

Kari Vaara

**TEOLLISUUSLAITOKSEN VALAISTUKSEN
KEHITTÄMINEN**

SSAB Europe Oy, Oulaisten tehdas

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2015**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Huhtikuu 2015	Tekijä/tekijät Kari Vaara
Koulutusohjelma Sähkötekniikka		
Työn nimi Teollisuuslaitoksen valaistuksen kehittäminen		
Työn ohjaaja Jari Halme	Sivumäärä 69+21	
Työelämäohjaaja Hannu Häkkilä		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin SSAB Europe Oy:n Oulaisten tehtaalle. Työn tavoitteena oli suunnitella tuotantohalleihin sopiva LED-valaistus ja arvioida kannattavuutta takaisinmaksuajan näkökulmasta.</p> <p>Nykyisen valaistuksen kehittämiskohteet selvitettiin mittaamalla ja mallintamalla. Tuloksista saatuja arvoja verrattiin standardissa määritettyihin arvoihin eri työalueille. LED-valaisin valintaa arvioitiin valaistusvaatimusten täyttymisen kannalta. Valintaan vaikuttivat myös valonlähteen ohjaus- ja huollettavuustekijät.</p> <p>LED-valaisimen teho määritettiin analyttisesti valmistajan ilmoittamista sähköisistä arvoista. Tulosten perusteella arvioitiin, että toteutettaessa LED-valaistus aiheuttaa muutoksia loistehon kompensointiin ja mahdollisesti yliaaltojen suodatuksen. Energiankulutuksen ja käyttökulujen laskelmassa huomioitiin valittu ohjaustapa sekä määritettiin sopiva valonlähteiden vaihtoväli.</p> <p>Valaistuksen ohjaustapa vaikuttaa valaistuksen tasaisuuteen, valonlähteiden vaihtoväliin ja käyttökuluihin. Tässä tapauksessa suositeltavin ohjaustapa on vakiovalo-ohjaus. Kustannustehokkuus edellyttää valaistuksen huoltosuunnitelman noudattamista.</p> <p>Tarkoilla arvoilla takaisinmaksuaika osoittautui epätarkaksi kannattavuuden mittariksi. Saatu arvo riippuu merkittävästi valaistuksen käyttöajasta, energianhinnasta ja muutostöiden kustannuksista. Lopputuloksena määritettiin näiden tekijöiden suhteelliset vaikutukset valaistushankinnan takaisinmaksu-aikaan. Osoittautui, että hankinta on energianhinnasta riippumatta kannattavaa tuotannon ollessa kahdessa vuorossa. Rajatusti kannattavaa myös nykyisessä tuotantotilanteessa.</p>		

Asiasanat

Energiatehokkuus, LED, takaisinmaksuaika, teollisuusvalaistus, valaistus

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Ylivieska	Date April 2015	Author Kari Vaara
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Developing of the lighting of a production plant		
Instructor Jari Halme		Pages 69+21
Supervisor Hannu Häkkinen		
<p>This thesis was commissioned by SSAB Europe Oy Oulainen Works. The aims were to plan a suitable LED lighting system for production environment and to evaluate the profitability from the perspective of payback time.</p> <p>The aspect of the current lighting system that needed developing were found out by measuring and by modeling. The findings were compared to the standard illumination values for different working areas. LED luminaire selection was rated on the basis of compliance with the standard illumination requirements. In addition, the lighting control and maintenance needs affected the luminaire selection.</p> <p>The power of the LED luminaire was determined analytically on the basis of the electrical values given by the manufacturer. Based on the results, if LED lighting is acquired it will change the needs of reactive power compensation and possibly affects the harmonic distortion filtering. In the calculation of energy consumption and usage cost the chosen control system was taken into account and the interval of changing the light source was determined.</p> <p>The lighting control system affects the illumination uniformity as well as the length of the interval of changing the light source and the usage costs. In this case the most suitable control system would be constant light control system. Cost-efficiency requires that the determined lighting maintenance plan is followed.</p> <p>It was found out that with specific values payback time is an inaccurate measure for profitability. The evaluated value significantly depends on the usage time, the energy price and the costs of lighting changes. Therefore payback time was defined with relative dependencies on the above-mentioned factors. The results proved that the purchase is profitable regardless of the energy price, if production works in two shifts or more. Currently the purchase is profitable only in a limited number of cases.</p>		

Key words

Energy efficiency, industrial lighting, LED, lighting, payback time

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ ABSTRACT SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	NYKYINEN VALAISTUS	4
	2.1 Valaistus	4
	2.2 Mittaukset	6
	2.2.1 Ongelmat ja kehittämiskohteet	9
	2.3 Mallinnus	10
	2.3.1 Huoltokertoimen määrittäminen	11
	2.3.2 Toteutuksen kuvaus	12
3	VALAISTUKSEN SUUNNITTELU	14
	3.1 Valaistusvaatimukset	14
	3.2 LED-valaisimen valinta	16
	3.3 Suunnittelun toteutus	21
	3.3.1 LED-valaistus kierreputkihallissa	24
	3.3.2 LED-valaistus kelahallissa	29
	3.3.3 LED-valaistus varusteluhallissa	32
4	LED-VALONLÄHTEIDEN OHJAUS JA SÄÄTÖ	35
5	LED-VALAISIMIEN HUOLTO JA VAIHDETTAVUUS	39
6	VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUS	42
	6.1 LED-valaisimen teho	43
	6.1.1 LED-valaistuksen loistehon kompensointi ja yliaaltojen suodatus	48
	6.2 LED-valaistusjärjestelmän energiankulutus	54
	6.2.1 Energiankulutuslaskelman tulokset	55
	6.3 LED-valaistuksen käyttökustannukset	58
	6.4 LED-valaistuksen takaisinmaksuaika	59
7	PÄÄTELMÄT	66

LÄHTEET

LIITTEET

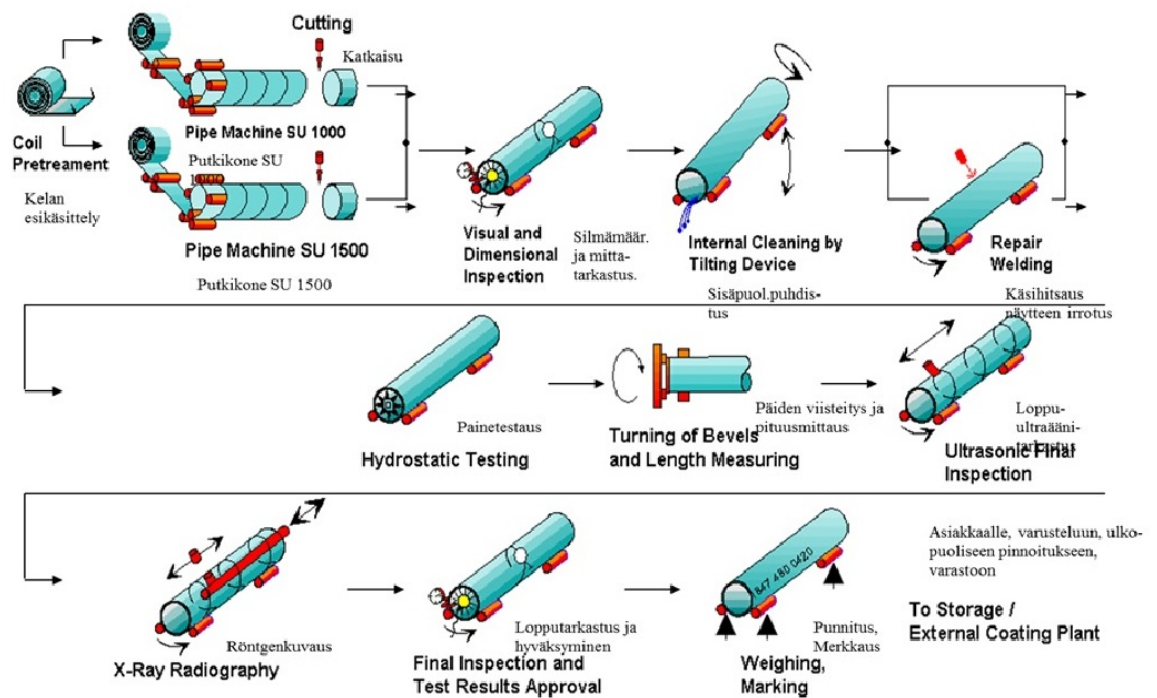
1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni tein SSAB Europe Oy:n Oulaisten tehtaan toimeksiannosta. Tarkoituksena oli selvittää LED-valaistuksen kannattavuutta korvattaessa nykyistä suurpaine-natriumpurkausvalaisimilla toteutettua valaistusta. Tavoitteena oli uuden valaistuksen suunnittelu, jonka pohjalta tuli määrittää LED-valaistuksen takaisinmaksuaika. Kokonaisuuteen sisältyi myös huollettavuus tekijät sekä LED-valaistuksen ohjausjärjestelmän pintapuolinen tarkastelu.

SSAB valmistaa Oulaisten tehtaalla kierresaumahitsattuja paalu- ja virtausputkia. Virtausputket voidaan pinnoittaa ulkopuolelta 3-kerrospinnoitteella. Paaluputkien varusteluun on kolme vaihtoehtoa: ponttilukot, kärjet sekä vahvikepannat. Oulaisten tehtaan tuotantokapasiteetti on 25 000 tonnia kierresaumahitsattuja putkia vuodessa, kun tuotanto on yhdessä vuorossa. Valmistettavien putkien ulkohalkaisijat vaihtelevat välillä 400...1250 mm, seinämävahvuudet välillä 6...22 mm sekä pituudet välillä 6...18 m. Paaluputket voidaan valmistaa suoraan jopa 38 metrisiksi ja tarvittaessa jatkaa 46 metrisiksi. Oulaisten tehtaalla toiminta on käynnistynyt vuonna 1977 kierreputkilinjan valmistuttua. Pinnoituslinja on ollut käytössä vuodesta 1985 ja varustelinja otettiin käyttöön vuonna 2010. Tehtaalla on myös ollut kaasuputken ja kartioputken valmistusta, mutta ne toiminnot on lopetettu.

Tehtaan tuotantoprosessi liittyi läheisesti valaistussuunnitteluun sekä tarvittavan ohjaustavan valintaan. Suunnittelun kohteina olivat kierreputki-, kela ja varusteluhallin työalueet. Pääasiassa kierresaumalinjan työalueet sijaitsevat kierreputkihallin puolella, osittain myös kelahallissa. Valaistuksen kannalta kriittisimmät työalueet ovat tarkastuspisteet ja putkikoneiden rajoittama alue kelahallissa. Siellä sijaitsevat myös kelojen esikäsittely ja säilytys. Lisäksi siellä on erillisiä varatyöalueita tuotantokapasiteetin

maksimi tilanteisiin. Näiden alueiden valaistuksen energiatehokkuuteen kiinnitettiin erityistä huomiota. Varusteluhallissa sijaitsevat työalueet liittyvät nimensä mukaisesti valmiiden putkien varusteluun. Tilassa sijaitsevat muun muassa tarvikevarasto, ponttien ja kärkien hitsausasemat. Tehtaan tuotantoprosessi kierresaumalinjan osalta selviää tarkemmin kuvion 1 prosessikaaviosta.



KUVIO 1. Kierresaumalinja (SSAB 2014.)

Opinnäytetyön aloitin vuoden 2014 toukokuussa. Ensimmäisessä vaiheessa käytiin läpi tehtaan nykyisen valaistuksen tila, joka mitattiin luksimittarilla. Tämän jälkeen tehtaan hallien pohjakuvien ja leikkauskuvien perusteella tein valaistuksesta mallinnuksen DIALux-ohjelmalla. Saatuja mittaus- ja mallinnustuloksia verrattiin sekä toisiinsa että valaistusstandardin asettamiin vaatimuksiin työkohteille. Näin sain vertailutulokset uuden valaistuksen suunnittelutyölle sekä johtopäätökset valaistuksen kehittämistarpeista.

Uudesta LED-valaistuksesta tein aluksi koeversiot kolmen eri valmistajan valaisimella, tarkoituksena oli löytää sopiva valaisin suunnittelukohteeseen. Tässä vaiheessa näkökulma oli erityisesti valaistusvaatimukset. Koeversiot toteutin vanhalla DIALux 4.11 versiolla. Lopulliset suunnitelmat tein DIALux evo 4 versiolla, koska uusi versio osaa laskea LED-valaistuksen värivaikutelman paremmin, jolloin saatiin valaistusta havainnollistavat kuvat todellisissa väreissä.

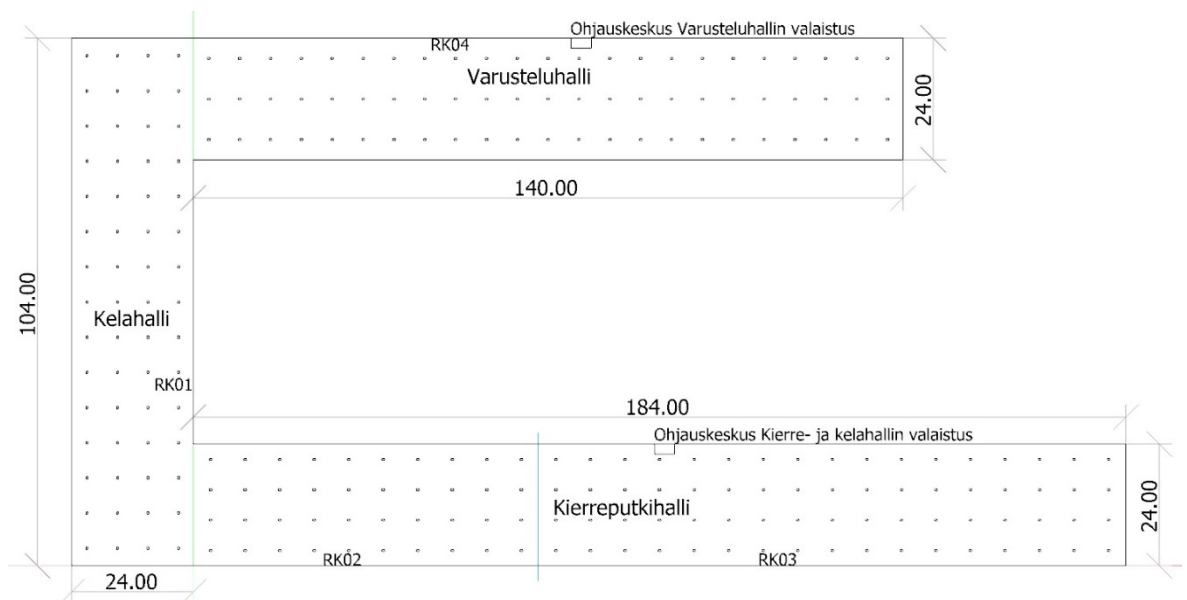
Suunnittelutyön ja siitä tehtyjen havaintojen jälkeen tarkennettiin LED-valaistukseen liittyviä ohjaus- ja huoltotekijöitä. Lopullisessa suunnitelmassa on otettu huomioon nämä tekijät.

Lopuksi määritellään valaistuksen energiatehokkuus. Sen käsittelyssä lähtötietona toimii standardi valaistuksen energiatehokkuudesta. Laskelman tarkoituksena oli arvioida energiankulutusta ja takaisinmaksuaikaa, joten energiatehokkuuden vertailulukua ei tässä määritetä. Laskelmassa määritetään ensin valaisimen kokonaisteho, jota tarkennetaan loistehon kompensoinnin vaikutuksilla. Sen jälkeen määritetään energiankulutus, johon liittyy olennaisesti valonlähteiden vaihtoväli ja ohjaus. Käyttökuluihin arvioidaan valaisimen huollon ja energiakulujen yhteisvaikutus. Tämän jälkeen lasketaan edellä esitettyjen tekijöiden yhteisvaikutuksena LED-valaistusjärjestelmän takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaika arvioidaan lopuksi myös energianhinnan ja muutostöiden aiheuttamien kustannusten kannalta.

2 NYKYINEN VALAISTUS

2.1 Valaistus

Tässä opinnäytetyössä on pääasiassa tarkasteltu Oulaisten tehtaan kolmen suurimman tuotantohallin yleisvalaistusta, niiden nykytilaa ja kehittämismahdollisuuksia taloudellinen näkökulma huomioiden. Tehtaan tuotantotilojen yleisvalaistuksessa pääasiallisesti käytetään suurpainenaatriumpurkausvalaisimia, joiden valonlähteenä käytetään HPS (high pressure sodium)-purkauslamppuja, teholtaan 400 W ja 250 W. Kierreputki-, kela- ja varusteluhallissa valaisimet ovat 400 W syväsiteilijöitä. Suuritehoiset purkauslamput ovat perusteltu ratkaisu hallien korkeudesta johtuen, hallikorkeudet ovat kelahallin reilun 12 metrin ja kierreputkihallin 9 metrin välillä. Kyseisten hallien ominaispiirteitä valaistuksen kannalta ovat laatikkomaisuus, ne ovat leveitä ja pitkiä avonaisia tiloja esimerkiksi kierreputkihalli on leveydeltään 24 metriä ja pituudeltaan 184 metriä. Merkittäviä varjostuksia syntyy vain putki- ja hitsauskoneiden, kelojen ja putkien sekä hallinostureiden läheisyydessä.



KUVIO 2. Oulaisten tehtaan pohjakuva ja valaisinsijoittelu

Kierreputkihallin valaistus on toteutettu 108 purkauslampulla, jotka on jaettu kahdelle ryhmäkeskukselle, RK02 ja RK03. Tuotantohallin päävalaistuksen osalta molempiin ryhmäkeskuksiin on liittynyt 8 valaistusryhmää, ryhmäkeskukseen RK02 on liittynyt yhteensä 48 kattovalaisinta ja ryhmäkeskukseen RK03 on liittynyt yhteensä 68 kattovalaisinta. Valaisinjakko on pituussuunnassa 6,4 metriä ja leveysuunnassa noin 6 metriä. Lisäksi kahden tarkastuspisteen kohdalle on lisätty kuviossa 2 poiketen 3 valaisinta parantamaan valaistusolosuhteita.

Kelahallin valaistus on toteutettu 60 purkausvalaisimella, ne ovat neljässä 15 valaisimen rivissä. Kierreputki- ja kelahallin valaistusta ohjataan samalta ohjauskeskukselta, jossa on nokkakytkimellä kolme asentoa ohjata valoja: 0, ½ ja 1. Asennot vastaavat ohjausta: valot pois, puolet päälle tai kaikki päälle.

Varusteluhallin valaistus on kolmessa 23 valaisimen rivissä eli yhteensä on 69 valaisinta. Varusteluhallissa on oma ohjauskeskuksensa lähes vastaavilla säätöominaisuuksilla kuin edellä mainitussa, ainoastaan ”puolet valoista palaa”-asento sijasta käytetään ”kolmasosa palaa”-asentoa. Ohjauksessa ei ole automatiikkaa, kuten liike- tai läsnäolotunnistimia tai kellokytkimiä, joten ohjaus on täysin käsikäyttöinen. Osittain automatiikan puute johtuu purkausvalaisimien sopimattomuudesta hetkelliseen säätävään käyttöön ja himmennykseen. Valaistuksen huoltotasona käytetään hallinostureita. Hallinostureissa ei ole erillistä valaistusta edes huoltokäytölle.

2.2 Mittaukset

Valaistuksen kehittämisen perustana on nykyinen valaistus. Tähän tarkoitukseen liittyen otettiin selvää nykyvalaistuksen energiankulutuksesta. Tehtaalta löytyi valmiiksi tilastoituna kulutuslukemia valaistuskeskukselta, mutta ne todettiin käyttökelvottomiksi, koska keskukseseen on kytketty valaistuksen lisäksi muun muassa lähdöt ilmastointikoneille. Nykyisen valaistuksen energiankulutus on arvioitu luvussa 6.1 laskennallisesti lamppujen tehon ja oletetun käyttöajan perusteella.

Yksi tärkeimmistä valon laatua kuvaavista suureista on valaistusvoimakkuus. Se kuvaa valaistusjärjestelmän tehokkuutta määrittelemällä pinnalle kohdistuvan valon määrän pinta-alayksikköä kohden. Valaistusvoimakkuuden tunnus on E ja yksikkö on luks (lx). Sitä käytetään arviointikriteerinä valaistussuosituksissa ja standardeissa eri toimintaympäristöjen valaistukselle. Valaistusvoimakkuudentasolla määritellään riittävä valaistus, joka takaa määrättyssä tilassa riittävät luminanssit näkötehtävän suorittamiselle. (ST-kortti 58.07, 2014.)

Silmä ei suoraan havaitse valaistusvoimakkuutta, vaan näköaistimus syntyy ympäristön pintojen luminansseista ja niiden eroista. Luminanssi tarkoittaa pintakirkkautta ja niiden erot aiheuttavat kontrastin. Liian pienet luminanssit tekevät valaistustilanteesta yksitoikkoisen ja heikentävät havaitsijan kykyä erottaa eri kohteita. Liian suuret luminanssit aiheuttavat häikäisyä ja heijastumisia, jotka häiritsevät havaitsijaa sekä heikentävät valaistuksen laatua. (ST-kortti 58.07, 2014.)

Valaistusvoimakkuuden mittaukset tehtiin kierreputkihallissa, kelahallissa ja varusteluhallissa. Lisäksi mielenkiinnon vuoksi mitattiin myös pinnoituslinjan valaistusolosuhteet, mutta kohteena se rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle sokkeloisesta tilan rakenteesta johtuen. Mittauslaitteena käytettiin mittausta edeltävällä viikolla kalibroitua luksimittaria, Wilnos MAVOLUX 5032C USB.

Mittausjärjestely toteutettiin tilojen ja valaistuksen yhdenmukaisuudesta johtuen otantamittauksena valaisinrivien kohdalta ja välistä, leveys- ja pituussuunnassa. Kussakin suunnassa kuljettiin 1,5 metrin mittausvälein, mittaus paikat valittiin tarkastelun helpottamiseksi numeroitujen hallirakenteiden pystypylväiden kohdalta ja niiden rajaamalta välillä. Mittauksen arvot luettiin käyttötason noin 80 cm korkeudessa. Mittauskorkeus ei ollut vakio suhteessa valaisimiin, koska tuotantotilan porrastuksesta johtuen käyttötason etäisyys valaisimiin nähden muuttuu. Tähän ei tarkemmin kiinnitetty huomiota, mutta se aiheuttaa hieman vaihtelua tuloksissa muiden tekijöiden ohella. Erillisiä mittausotoksia otettiin sammuneen ja päällä olevan lampun, hallinosturien sekä kierreputkihallin tarkastuspisteen kohdalla. Niiden lisäksi otettiin arvoja putkikoneiden läheisyydessä sekä varusteluhallin työpisteiltä.

Selkeästi muista poikkeavat tulokset saatiin nosturin alta. Huomattiin myös, että valaistusvoimakkuus nousee kaksinkertaiseksi suoraan valaisimen alla. Suurempia tuloksia saadaan myös mittauspisteissä, joiden käyttötaso on korkeammalla. Jotkin korkeammat ja matalammat arvot selittyvät myös lamppujen käyttöiän eroilla. Tämä on seurausta nykyisestä huoltokäytännöstä, jossa sammuneet valonlähteet vaihdetaan niin sanottuna yksittäisvaihtona. Sammunut lamppu aiheuttaa valaistusvoimakkuustason selkeän laskun lähiympäristössään, ero on havaittavissa jopa kolmen metrin päässä valonlähteestä lattiatasolla. Tuloksista voidaan tehdä päätelmä, että valaistus on hyvin epätasaista, arvot poikkeavat toisistaan riippuen valaisimen iästä ja kunnosta. Toisaalta mittauksen tavoite täytettiin, eli valaistuksen tila vastaa hyvin arkikokemusta, ja havainnoi valaistusta riittävällä tarkkuudella. Mittaustulokset löytyvät taulukoista 1 ja 2.

TAULUKKO 1. Valaistusvoimakkuuksia käyttötasolla kierreputkihallissa
leveysuuntaisesti

Pylväs 25	Pylväs 22	Pylväs 20	Pylväs 10 (nosturin alla)
370 lx	690 lx	454 lx	138 lx
415 lx	785 lx	522 lx	300 lx
475 lx	631 lx	1032 lx	433 lx
570 lx	583 lx	508 lx	300 lx
750 lx	690 lx	500 lx	260 lx
775 lx	841 lx	630 lx	440 lx
640 lx	755 lx	750 lx	700 lx
934 lx	750 lx		
1028 lx	980 lx		
740 lx	1280 lx		
822 lx	1150 lx		
816 lx	886 lx		
570 lx	873 lx		

TAULUKKO 2. Valaistusvoimakkuudet käyttötasolla kierreputkihallissa pituussuuntaisesti

rivi 1, pylväät:	väli 1, pylväät:	rivi 2, pylväät:	väli 2, pylväät:
25...23	25...23	22...19	7...4 (Tarkastuspiste)
1139 lx	900 lx	860 lx	1700 lx
866 lx	872 lx	740 lx	2000 lx
720 lx	730 lx	1693 lx	1886 lx
806 lx	690 lx	1500 lx	2100 lx
830 lx	729 lx	1538 lx	1850 lx
646 lx	656 lx	622 lx	1570 lx
615 lx	580 lx	1000 lx	1574 lx
784 lx	584 lx	608 lx	1400 lx
1020 lx	655 lx	755 lx	
811 lx	656 lx		
670 lx	599 lx		
761 lx	444 lx		

2.2.1 Ongelmat ja kehittämiskohteet

Tyypillisesti aamulla työvuoron alkaessa kaikki hallivalot laitetaan päälle vartijan toimesta ja pois kaikkien työvuorojen loppuessa iltavuorossa. Tällä hetkellä tuotanto on pääosin yhdessä vuorossa ja varusteluhallissa kolmessa vuorossa. Arjessa havaittu ongelma on, että joskus valot ovat jääneet palamaan kaikissa tuotantotiloissa iltaan asti, jolloin paikalla käynyt vartija on sammuttanut ne. Valaistuskäytön ongelmana on myös kelahallin valojen käyttäminen kulkuvaloina. Toisaalta myös pitkät tuotantotilat ja työalueiden

levittäytyminen laajalle alueelle, johtaa valojen turhaan käyttämiseen alueilla, joilla ei ole sillä hetkellä tuotantoa.

Kesäisin ukkosen aiheuttamat sähkökatkot ja erilaiset sähkön tasaisuuden häiriöt aiheuttavat valojen sammumisen, HPS-valaistuksen ongelma on tällöin hidas syttyminen. Ne vaativat uudelleen syttyäkseen valoa tuottavan kaasun jäähtymisen, missä saattaa kestää jopa 10 minuuttia.

Edellä on viitattu muutamiin ongelmiin, joiden pohjalta SSAB halusi selvittää LED-valaistuksen kannattavuutta verrattuna nykyiseen. LED-valojen etuja on nopea syttyminen ja säätömahdollisuus, tällöin oikealla ohjaustavalla päästään joustavaan ja helposti muunneltavaan valaistustilanteeseen. Nykyisin lähes kaikki LED-teollisuusvalaisinvalmistajat mainostavat vähintään 50 % säästöjä energiankulutuksessa.

2.3 Mallinnus

Nykyvalaistuksen valaistusvoimakkuudet voidaan myös arvioida DIALux-ohjelmalla, joka on valaisinvalmistajien rahoittama sekä tukema suunnitteluohjelma valaistus-suunnittelijoille. Mallinnukseen tarvitaan valaistusvoimakkuuksien määrittämiseksi tilan mitat, valaisinpositioiden koordinaatit määritetyssä tilassa ja käytetyn valaisimen valonjakotiedosto. Lisäksi tilalle tulee määrittää valaistuksen alenemakerroin, joka kuvaa valaistusjärjestelmän valon tuoton laskua ajan suhteen (ST-kortti 58.07, 2014).

Suunnittelijoiden yleisin menetelmä havainnoida valaistuksen nykytilaa on mittaaminen, koska useimmiten vanhan valaisimen valonjakotiedostoa ei ole saatavilla. Mittaaminen on myös ainut tapa saada todellinen kuva nykytilasta. Tässä työssä päädyttiin käyttämään molempia menetelmiä. Yksinkertaistetusta mallinnuksesta johtuva epätarkkuus voidaan

hyväksyä, kun käytössä on mitatut todelliset valaistusvoimakkuusarvot ja löydetään sopiva korvaava valaisin, mieluiten samalta valmistajalta.

Menetelmä on hyödyllinen, koska saadaan tehtyä vertailua todellisen ja laskennallisen valaistuksen välillä kyseisessä tilassa. Tuloksista voidaan päätellä, mitkä ovat valaistustilan erityispiirteet suhteessa yksinkertaistettuun mallinnukseen. Mihin esimerkiksi on syytä kohdentaa enemmän valaistusta ja missä nykyinen valaistus on ylimitoitettu. Tällöin voidaan käyttää vertailun tulosta perustana, kun suunnitellaan uutta valaistusta samaan tilaan.

2.3.1 Huoltokerroimen määrittäminen

Valaistuksen alenemakerroin MF, jota kutsutaan myös huoltokerroimeksi (maintenance factor), määritetään kansainvälisen valaistuskomission CIE (International Commission on Illumination) standardin 97:2005 avulla. Valaistuksen alenemakerroin lasketaan yhtälöllä:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF, \quad (1)$$

missä LLMF (lamp lumen maintenance factor) on lampun valovirran alenemakerroin, LMF (luminaire maintenance factor) on valaisimen huoltokerroin, LSF (lamp surveillance factor) on lampun elinikäkerroin ja RSMF (room surface maintenance factor) on huonetilan huoltokerroin. Nykyisellä huoltokäytännöllä lamput huolletaan ja vaihdetaan aina niiden sammussa, joten ryhmävaihtoa ei käytetä. Tällöin lampun elinikäkerroimelle LSF käytetään arvoa 1. Huonetilan huoltokerroimeen RSMF vaikuttaa olennaisesti huoltovälin pituus ja huoneen likaisuus, molemmat tekijät kerrointa alentavasti. Lisäksi eri valaistustavoille, kuten suoralle ja epäsuoralle valaistukselle on taulukoitu omat kertoimensa. Myös huoneen pintojen heijastussuhteet vaikuttavat kertoimeen. Tässä tapauksessa valaistus on toteutettu suoralla valaistuksella likaisessa tai keskilikaisessa tilassa noin neljän vuoden huoltovälillä, jolloin RSMF kerroin on 0,86. Oletetaan huoneen

pintojen heijastussuhteiksi katolle 0,7, seinille 0,5 ja lattialle 0,2. Näin ohjeistetaan ympäristöministeriön rakennusmääräyksessä D5, jos heijastuskertoimet eivät ole tiedossa.

Valaisimen huoltokertoimeen LMF vaikuttaa valaisimen kotelointiluokka, valaisimen puhdistusväli ja huoneen likaisuus. Nykyisten valaisimien kotelointiluokka on tuntematon, tosin siinä on ilmanpuhdistussuodatin, joten voidaan käyttää kertoimena 0,8. Lampun valovirran alenemakertoimena käytetään yleisesti HPS-purkauslamppuille 0,9. Edellä olevilla tiedoilla ja oletuksilla saadaan kaavalla 1 nykyvalaistukselle alenemakertoimeksi MF 0,62 kahden desimaalin tarkkuudella.

2.3.2 Toteutuksen kuvaus

Halleissa käytettävä valaisin on alkuperäinen I-Valon 400 W HPS, vanhimmat valaisimet ovat 70-luvun lopulta. Mallinnukseen on käytetty I-Valon vastaavaa nykyisessä tuoteluettelossa olevaa valaisinta, joka on myös 400 W HPS-valaisin. Nykyisen tilan mallinnus ja vertailu on toteutettu kierreputkihallin osalta. Siellä valopisteiden korkeus on 7,8 metriä ja valaisinten etäisyys toisistaan on 6,4 metriä. DIALux-ohjelma antaa laskelmatulokseksi nykyiselle valaistukselle käyttötasolla, joka on 0,8 metrin korkeudella lattiasta, keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi 754 luksia ja huippuarvoksi 1493 luksia, valaistuksen tasaisuudeksi 0,355. Ohjelman laskemat valaistusvoimakkuudet pitävät varsin hyvin paikkansa mittaustuloksiin nähden, kun on huomioitu nykyinen huoltoväli 4 vuotta ja sammuneen valaisimen välitön huolto. Tulokset myös antavat viitteitä huoltokertoimen oikeasta valinnasta.



KUVIO 3. Nykyisen valaistuksen DIALux-mallinnus kierreputkihallissa

3 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU

3.1 Valaistusvaatimukset

Valaistusta suunniteltaessa ensimmäinen huomioonotettava asia on valaistusvaatimukset kyseisessä tilassa. Sisätyötiloille valaistusvaatimukset määrittelee standardi SFS-EN 12464-1, joka asettaa vähimmäisvaatimukset ottaen huomioon normaalinäkökykyisen henkilön näkömukavuus ja näkötehokkuus tarpeet (ST-kortti 58.04, 2013). Standardi määrittelee myös eri työkohteille sovellettavat valaistusympäristön arvot; Valaistusvoimakkuudelle ennen huoltoa E_m ja valaistusvoimakkuuden tasaisuudelle U_0 , kiusahäikäisyydelle UGR_L ja värinotoistoindeksille R_a . Taulukossa 3. on esitetty Oulaisten tehtaaseen sovellettavien työkohteiden vaatimustasot.

TAULUKKO 3. Valaistusvaatimukset: Teollisuus ja käsityö – Metalliteollisuus ja metallin käsittely (SFS-EN 12464-1).

Tila, tehtävä tai toiminta	E_m [lx]	UGR_L	U_0	R_a
Vapaataonta	200	25	0,60	80
Muottilatominen	300	25	0,60	80
Hitsaus	300	25	0,60	80
Karkea ja tavanomainen konetyö: toleranssit $\geq 0,1\text{mm}$	300	22	0,60	80
Tarkkuuskonetyö, hiominen; toleranssit $< 0,1\text{ mm}$	500	19	0,70	80
Piirrotus, tarkastus	750	19	0,70	80
Langan ja putkien vetäminen; kylmämuokkaus	300	25	0,60	80
Levyntyöstö: paksuus $\geq 5\text{ mm}$	200	25	0,60	80
Ohutlevytyöstö: paksuus $< 5\text{ mm}$	300	22	0,60	80
Työkaluvalmistus; leikkuuvälineiden valmistus	750	19	0,70	80

Tila, tehtävä tai toiminta	Em [lx]	UGR _L	U _o	R _a
Kokoonpano:				
- karkea	200	25	0,60	80
- tavallinen	300	25	0,60	80
- hieno	500	22	0,60	80
- tarkkuustyö	700	19	0,70	80
Galvanointi	300	25	0,60	80
Pintakäsittely ja maalaus	750	25	0,70	80
Työkalujen, kaavaimien ja mallineiden valmistus, hienomekaniikka	1000	19	0,70	80

Tehtaan työalueista suurin osa on hitsausta tai tavanomaista konetyötä, joten vaatimusten täyttämiseksi riittää 300 luksin valaistusvoimakkuustaso yleisvalaistukselle. Lisäksi erikseen on huomioitava tarkastuspisteiden valaistustaso 750 luksia. Kelahallille soveltuva taso on 200 luksia, mikä on jatkuvasti käytössä olevalle varastointitilalle määritelty valaistusvoimakkuustaso (SFS-EN 12464-1). Kunkin työpisteen valaistuksen laatua on tarpeen mukaan parannettava, kuten lisävalaistusta lisäämällä.

Työpisteitä ja erilliskohteita valaistaessa on myös huomioitava riittävä valaistuksen tasaisuus. Suuret luminanssierot työalueella ja sen välittömässä läheisyydessä saattavat aiheuttaa silmän väsymistä ja epämukavuuden tunnetta. Työalueen lähiympäristö tulisi olla vähintään 0,5 metrin levyinen vyöhyke, jossa valaistus ei saa alittaa määrättyä valaistusvoimakkuuden tasoa. Tässä tapauksessa tarkastuspisteen (750 luksia) lähiympäristö ei saisi alittaa 500 luksin arvoa ja vastaava arvo hitsaustyöalueiden lähiympäristön osalta on 200 luksia (SFS-EN 12464-1.)

Valaistusvoimakkuustasoa voidaan laskea tai nostaa pätevin perustein portaittain standardissa määritetyllä asteikolla: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000. (SFS-EN 12464-1.)

3.2 LED-valaisimen valinta

Eri lamppu- ja valaisinvalmistajien paljous tekee sopivan valonlähteen valinnasta työlästä. Sen lisäksi LED-teknologia kehittyy vauhdilla, joka on havaittavissa valaisimen lyhyenä markkinoilla oloaikana, tämänkin työn aikana mallistot vaihtuivat. Valintaa vaikeuttaa vielä yleisesti EU:ssa hyväksytyyn LED-valo standardin puute. Tämä tarkoittaa etteivät eri valmistajien lamput, valaisimet sekä vaadittavat liitäntälaitteet välttämättä ole yhteensopivia keskenään. Valaisinta hankittaessa tulee yhteensopivuudet varmistaa valmistajalta erikseen, etenkin huoltoa silmällä pitäen. Lisäksi standardoimattomuus vaikeuttaa eri valaisimien vertailua, koska mittausmenetelmät ja niiden tuloksien esitystavat eivät ole vertailukelpoisia.

Valonlähteen valinta tulee perustua ensisijaisesti valon laadun vaatimuksiin, vasta sen jälkeen tulee kysymykseen energiansäästön tarpeet.

Valonlähteen sähkötehoa voidaan arvioida ennen niiden sovittamista DIALux-ohjelmaan, kun sovelletaan ympäristöministeriön rakennusmääräyksen D5 laskentaohjeita valaistukselle. Arvioinnissa hyödyllisiä valmistajan ilmoittamia tietoja ovat valovirta, valaistustehokkuus ja sähköteho. Valovirran yksikkö on luumen (lm) ja se ilmaisee valonlähteen valontuottotehon. Valaistustehokkuus on valovirran suhde sähkötehoon (lm/W). Valaistuksen kokonaissähköteho $P_{valaistus}$ [W/hum^2] huonepinta-alayksikköä kohden lasketaan yhtälöllä (YM 2012.):

$$P_{valaistus} = \frac{1}{\beta * \eta * \eta_{\phi}} E_i \quad (2)$$

Missä, β on valaistuksen alenemakerroin tilan likaisuuden mukaan, η on valaistushyötysuhde valaistustavan mukaan, η_{ϕ} on lamppujen valotehokkuus [lm/W] ja E_i on tilan valaistusvoimakkuus [lx]. Koska tilan koko, valaistusolosuhteet ja valaistustapa on

amat vanhassa ja uudessa valaistuksessa, saadaan uuden valaisimen kokonaistehon suhde vanhaan laskettua seuraavasti:

$$\frac{P_{uusi\ valaisin}}{P_{vanha\ valaisin}} = \frac{\eta_{\phi, vanha}}{\eta_{\phi, uusi}} * \frac{E_{uusi}}{E_{vanha}} \quad (3)$$

Nykyisin LED-valaisimien ja HPS-valaisimien valotehokkuus on lähellä toisiaan, noin 100 lm/W luokkaa. Täten uuden valaisimen teho on suoraan verrannollinen valaistusvoimakkuustasojen suhteeseen. Kun tavoite valaistusvoimakkuus on 300 luksia ja vanhan valaistuksen keskimääräinen valaistusvoimakkuus on 800 luksia, saadaan uuden valaisimen lampputehoksi 150 W, kun vanhan valaisimen lampputeho on 400 W. Edellä esitetty vertailu ei kuitenkaan ota huomioon kullekin valaisimelle yksilöllistä huoltokerrointa (alenemakerroin), joka on määritetty edellisessä luvussa suurpaineipurkauslampulle. Tällöin myös olosuhdetekijät jäävät huomiotta. Vertailua voi pitää ainoastaan suuntaa antavana ja vain ideaaliympäristöön sopivana. Lähempänä todellisia olosuhteita on lampputeholtaan 200 W LED-valaisin.

Valaisimen verkosta ottama teho eli näennäisteho S lasketaan seuraavasti:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (4)$$

$$P = U_N * I_N * \cos(\varphi) \quad (5)$$

$$S = U_N * I_N = \frac{P}{\cos(\varphi)} \quad (6)$$

Missä, P on valaisimen kokonaispätöteho ja Q on valaisimen loisteho, $\cos(\varphi)$ on valaisimen tehokerroin. Tehokerroin ilmoitetaan välillä 0...1 ja se kuvaa laitteen ottaman pätötehon suhdetta näennäistehoon eli sähkön siirron hyötysuhdetta. Näennäisteho koostuu siis reaalista, todellista työtä tuottavasta pätötehosta ja loistehosta, joka ei tuota työtä. Laitteiden syöttökaapeleiden kuormitus mitoitetaan näennäisteholla, siten voidaan todeta

että loisteho vähentää kaapelissa pätötehon siirtokapasiteettia. Loistehoa syntyy muun muassa kondensaattoreissa ja muuntajissa.

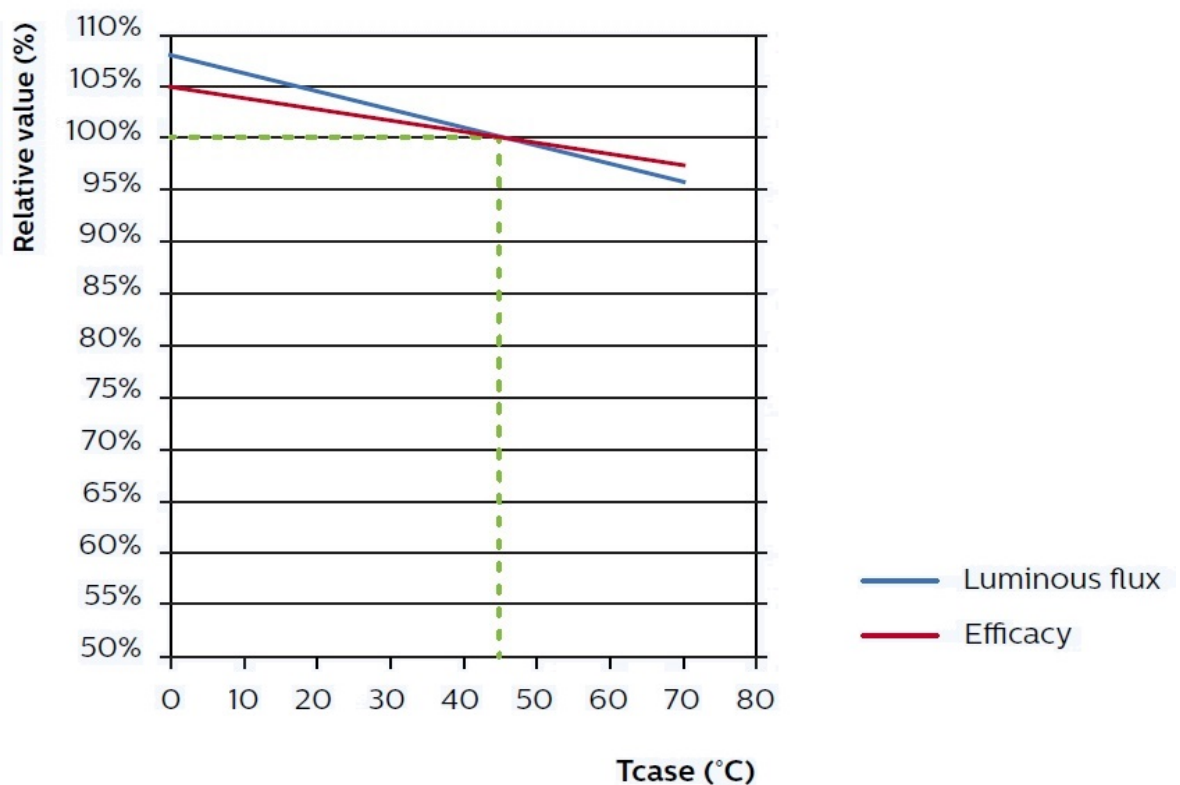
Pätöteho sisältää myös tehohäviöt, kuten lämpöhäviöt ja liitälaitteen häviöt. Laitteen hyötysuhde esimerkiksi valaisimen tapauksessa ilmoittaa sen valaistukseen käyttämän tehon suhteen siihen syötettävään pätötehoon. Tavallisesti valaisimen valmistajat eivät ilmoita sen hyötysuhdetta.

Yleensä valmistajat ilmoittavat tehokertoimen $\cos(\varphi)$, jolloin valaisimen verkosta ottama teho voidaan laskea eli mitoittaa syöttökaapelit. Ongelmana on nykyisin epäselvä valaisimen tehon ilmoitustapa, kun ei ilmoiteta onko se pätötehoa vai näennäistehoa. Jos se on pätötehoa, ei kerrota onko se kokonaispätöteho vai lampputeho. Liitälaitteen tehoa harvemmin mainitaan, mitä voi pitää puutteena varsinkin, jos valaisimen todellista näennäistehoa ei tiedetä. Laadukkaiden liitälaitteiden hyötysuhde on noin 0,9, jolloin häviöteho on noin 10 % pätötehosta. Kappaleessa 6.1 määritetään LED-valaisimen teho tarkemmin. Tässä yhteydessä valmistajan ilmoittamia tehon arvoja käsitellään lampputehona, mahdollinen virhe on siten positiivinen. Jos siis valmistajan ilmoittama arvo on kokonaispätöteho, silloin teho on todellisuudessa laskennallista pienempi.

Muita valonlähteen arviointikriteerejä ovat valaistusvoimakkuuden tasaisuus U_0 , värinistökykyä kuvaava R_a – indeksi ja kiusahäikäisyn UGR_L – arvo. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus ja kiusahäikäisy selviää vasta DIALux-ohjelmalla tehtävästä laskelmasta, värinistökyky on valmistajan ilmoitettava tuotetiedoissa.

Näiden lisäksi voidaan esimerkiksi vertailla eri valonlähteitä värilämpötilan mukaan, mikä kuvastaa sen tuottamaa värivaikutelmaa kelvin (K)-asteikolla: alle 3300 K on lämmin, 3300 K...5300 K on neutraali ja yli 5300 K on kylmä.

Valonlähteiden valmistajat toteuttavat tavallisesti IES (Illuminating Engineering Society) LM 80–08 julkaisun pohjalta mittaukset valonlähteelle. Se standardoi mittaus ja testimenetelmän LED-valonlähteen eliniän ja käyttöympäristön vaikutusten arvioimiseksi. Testauksen tulokset kertovat valovirran aleneman ja tehokkuuden suhteessa lämpötilaan ja käyttövirtaan sekä lämpötilan vaikutuksen hyötypolttoikään eli elinikään. Tyypillisesti suomalaisessa ja eurooppalaisessa markkinointi- ja tuote-esitteissä ei näistä seikoista mainita tai mittaustuloksia ei esitetä valaisimien yhteydessä. Tavallisesti elinikä ja väri ilmoitetaan vain referenssiympäristössä eli huoneenlämmössä 25 °C. Kuitenkin vastaavat tiedot saattavat löytyä, jos tuote on esimerkiksi amerikkalaisilla markkinoilla, missä laatutähden saaminen tuotteelle edellyttää standardissa määriteltyjen mittausten tulosten julkaisemista. (Dowling, 2008).



KUVIO 4. Valonlähteen piirilevyn lämpötilan vaikutus valonlähteen valovirtaan ja valotehokkuuteen (Philips, 2015).

Valaisimia vertailtaessa käytön ja energiankulutuksen kannalta tulevat kysymykseen sähkötehon ohella myös valonlähteen elinikä, valovirran alenema ja säädettävyys.

Tähän työhön liittyen rajataan tarkastelu vain kolmen valmistajan valaisimeen, jotka ominaisuuksiltaan tähän kohteeseen oletettavasti sopivat. Tarkastelun tarkoitus on kartoittaa LED-valojen kannattavuutta ja soveltuvuutta yleisesti, joten kaikkien valmistajien tuotteiden tarkastelu ei ole tarpeen. Riittävän markkinanäkökulman aikaan saamiseksi ja valaisin hankintoja silmällä pitäen on kuitenkin syytä tarkastella erikokoisten yritysten tuotteita. Tarkastelussa mukana olevat valmistajat ovat Philips, Aura Light ja Ecotale. Tässä työssä tehtävät vertailut ja mallinnukset eivät kerro valmistajien tuotteiden hyvydestä, vaan tulokset ovat yksilöllisiä ja siten vain tähän kohteeseen soveltuvia.

Philipsin tuotteista valittiin GentleSpace gen2, lampputeholtaan 140 W ja 205 W LED-moduulit. Valovirraksi niille ilmoitetaan 17 000 lm ja 25 000 lm. Värintoistokyvyksi annetaan vähintään 80 ja värilämpötilaksi on ilmoitettu 4000 K, valonlähteen käyttöikä on 70 000 tuntia, kun valovirran alenema on 30 % ja lampuista vähintään 50 % toteuttaa tason. (Philips, 2015.)

Aura Light:n mallistosta valittiin Lumidas SL 200 W, jonka valovirrat ovat 14 250 lm ja 19 000 lm. Värilämpötilaksi annetaan 5700 K ja värintoistokyvyksi 75. Käyttöikäksi annetaan 50 000 tuntia, kun valovirran alenema on 30 %. (Aura Light, 2012).

Ecotalen malleista valittiin HBL-200W, jolle valovirta on 20 000 lm. Käyttöikä on 50 000 tuntia ja värilämpötila on valittavissa välillä 4000 K...5500 K sekä värintoistokyky on määritetty välille 70...80.(Ecotale, 2015).

3.3 Suunnittelun toteutus

Suunnittelun lähtökohta on tuottaa vertailuarvoa nykyiseen valaistukseen nähden ja tuottaa malli mahdollisesta toteutuksesta. Suunnittelun tehtävä on myös tuottaa tietoa, josta saadaan näkemys toteutuksen teknisestä hyödyistä ja taloudellisesta kannattavuudesta. Se edellyttää sekä teknisten vaatimusten täyttämistä että kustannustehokkuutta. Lopullinen suunnittelutulos on aina optimointia näiden näkökulmien suhteen, kun käyttäjä haluaa hyvän valaistuksen energiatahokkaasti.

LED-valaistusjärjestelmien suunnittelussa on otettava huomioon sen korkeat perustamiskustannukset. Siitä johtuen täytyy optimoida valaisimien määrä ja sähköteho, kuitenkin niin, että valaistuksen laatukriteerit täytetään.

Valaistuksensuunnitteluohjelmalla voi kokeilla helposti eri valaisimia ja niiden määrän vaikutusta käyttöympäristön valaistukseen. Tässä työssä tarkastellaan valaisimien määrän vaikutusta siten, että ensin valaistus suunnitellaan samalla määrällä kuin nykyisin, minkä jälkeen valaisinrivien määrää vähennetään. Valaisimien määrää voi vähentää periaatteessa siihen asti, kun valaistusvaatimukset täytetään. Kuitenkin todellisessa käyttöympäristössä valovirran alenema vaikuttaa valaistukseen vaatimuksia nostavasti, siksi perusteltu huoltokertoimen ja huoltosuunnitelman määrittäminen on oleellista suunniteltaessa LED-valaistusta.

Valaistusta voi parantaa ottamalla huomioon valojen fyysisen suuntauksen ja valaisimen optiikan vaikutuksen, sisältäen myös niiden materiaalit. Optiikalla tai heijastinkuvulla saadaan valonlähteen valo jakautumaan joko leveämmälle tai kapeammalle alueelle, kapeampi valon jakautuminen johtaa parempaan valon suuntaukseen ja korkeampaan valaistusvoimakkuuteen halutulla alueella. Toisaalta valaistustilanteen tasaisuus kärsii valon suuntauksesta ja kapeammasta valonjakautumisesta. Yleisvalaistuksen osalta liian

kapea valon suuntaus on haitaksi, kun taas työaluekohtaisesti se on käyttökelpoinen vaihtoehto.

LED-valaistuksen huoltokerrointa määritettäessä tulee valita millä ohjaustavalla se toteutetaan, koska ohjaus vaikuttaa merkittävästi huoltokerroimen valintaan. Esimerkiksi valovirta hyötypolttoian lopussa on 70 % lähtöarvosta, kun ei käytetä vakiovalo-ohjausta tai muutakaan valovirran aleneman kompensointia, tällöin lampun alenemakerroin on 0,7. Kun taas vakiovalo-ohjauksella valovirta pidetään esimerkiksi 85 % maksimiarvosta, jolloin alenemakerroin on 0,85.

Toinen huomattava tekijä on lämpötilan kompensointi, kuten on todettu ohjeellisen käyttölämpötila-alueen ylittäminen kasvattaa valovirran alenemaa. Kaikki sähkölaitteet tuottavat myös lämpöä, käyttötarkoituksesta riippumatta. Lämmöntuotto on yksinkertaistetusti suoraan verrannollinen käytettävään virtaan, koska virta siirtää tehoa ja osa tehosta muuttuu aina lämmöksi. LED-valonlähdettä syöttävän virran alentaminen pienentää siis valonlähteelle ominaista lämmöntuottoa. Toimintaperiaate on sama kuin vakiovalo-ohjauksessa. Käytettävää virtaa pienentämällä saadaan sekä lämpötilan vaikutus että valovirran alenema kompensoitua, lisäksi toimenpide lisää lampun tehokkuutta. Vakiovalo-ohjausta käsitellään tarkemmin luvussa 4, LED-valonlähteiden ohjaus ja säätö.

Määritetty valaisimen huoltoväli vaikuttaa olennaisesti lampun puhtauteen, ja sitä kautta lämmönjohtumiskykyyn eli valaisimen jäähtymiseen. Se mitä CIE standardin mukaan määritetään puhtauden vaikutuksesta valaisimen valovirran alenemaan, ei suoraan päde LED-valaisimille. Koska se ottaa huomioon vain likaisuudesta aiheutuvan valon siirtymisen heikkenemisen valaisimesta huonetilaan. LED-valonlähteen valon siirtymiseen vaikuttaa myös lämpötila, joten sopivan kertoimen valinnassa tulee käyttää harkintaa. Tässäkin tulee huomioida valittu ohjaustapa.

Valitaan huoltoväliksi vuosi ja ohjaustavaksi vakiovalo-ohjaus, voidaan edellä mainituin perustein valita standardin taulukosta valaisimen huoltokertoimeksi 0,9 ja huonetilan huoltokertoimeksi 0,9. Tässä on huomiotu tarvittavat parannukset ilmanlaadun ja puhtauteen, jolloin tuotantotilan puhtautta voidaan pitää normaalina. Näillä valinnoilla LED-valaisimelle saadaan kaavalla 1 huoltokertoimeksi 0,69 kahden desimaalin tarkkuudella. LED-valaistuksen valovirran alenema voidaan myös jättää huomiotta huoltokerrointa määriteltäessä, jos ohjaus on toteutettu vakiovalo-ohjauksella. Siinä tapauksessa DIALux-ohjelmassa on määritettävä haluttu valovirran säätötaso eli himmennysarvo, joka on tässä tapauksessa 85 %. Tällöin valaistuksen huoltokerroin on 0,81.

Seuraavat vertailutulokset on tehty DIALuxin 4.11 versiolla ja huoltokertoimen arvona on käytetty standardin mukaista 0,8. Lopulliset valaistussuunnitelmat on tehty DIALux evo 4 versiolla, koska se on uusin versio ohjelmistosta ja ominaisuuksiltaan paremmin ottaa huomioon LED-valaistuksen erityispiirteet, kuten valonspektrin.



KUVIO 5. LED-valaistuksen valaistusvaikutelma kierreputkihallissa

3.3.1 LED-valaistus kierreputkihallissa

Kapea valokeila aiheuttaa valaistusvoimakkuustason epätasaisuutta, joten se on käyttökelpoinen ainoastaan tilanteessa, jossa vaaditaan suurempaa valaistusvoimakkuutta kohteelle. Näin ollen esimerkiksi tarkastuspisteen tapauksessa voidaan valita kapeamman valokeilan optiikka. Toisaalta koko tilaan on tarpeen taata riittävä tasaisuus, joten pääsääntöisesti valaistus on syytä toteuttaa leveämmällä valokeilalla. Optimi olisi tässä tapauksessa keskileveä valokeila, jolloin taataan sekä riittävä tasaisuus että valaistusvoimakkuuden taso.

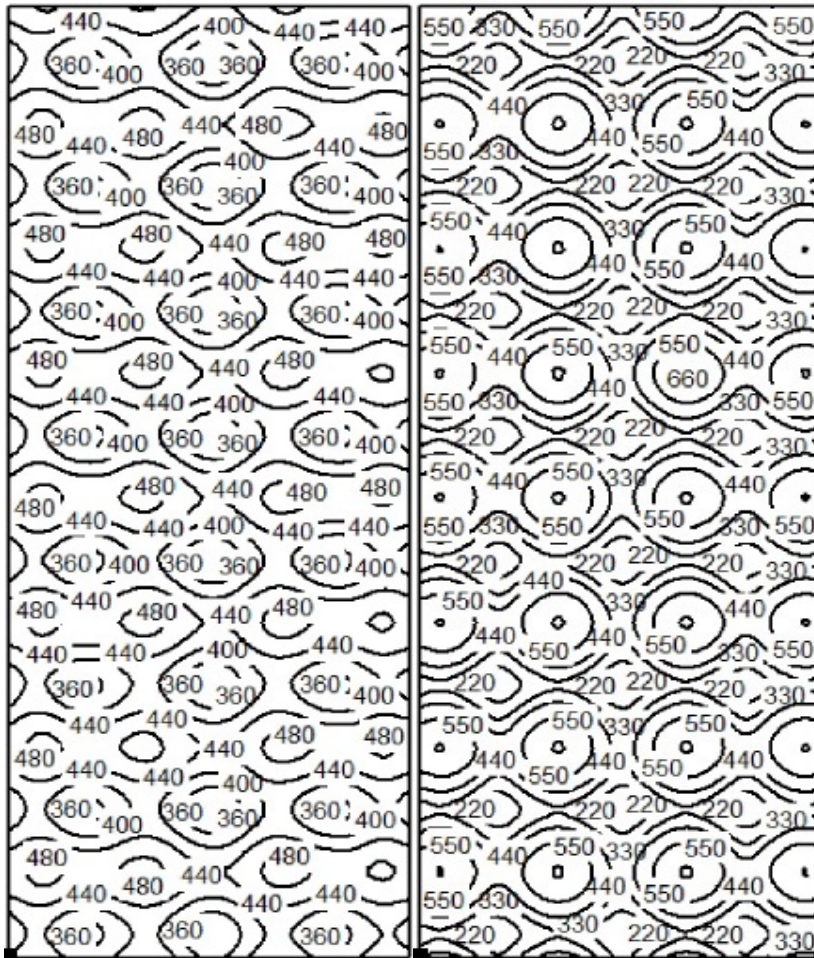
Aura Light:n valaisimissa 45gr ja 60gr tarkoittavat heijastinkuvun avautumiskulmaa. Philipsin valaisimissa HRO (high-rack), NB (kapea valokeila), MB (keskileveä valokeila) ja WB (leveä valokeila) tarkoittavat valaisimen optiikkaa.

TAULUKKO 4. LED-valaistus kierreputkihallissa

Valonlähde	Teho [W]	Kappale	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$U_o (E_{min} / E_m)$
Ecotalle HBL-200W	200	108	438	290	525	0,662
Aura Light 200W 60gr	200	108	415	218	502	0,524
Aura Light 200W 45gr	200	108	427	153	685	0,359
Aura Light 150W 60gr	150	108	304	209	361	0,687
Philips 205W HRO	205	108	537	252	851	0,469
Philips 205W NB	205	108	538	324	741	0,602
Philips 205W MB	205	108	526	354	613	0,673
Philips 205W WB	205	108	519	337	625	0,649
Philips 140W MB	140	108	358	241	417	0,673
Philips 205W MB	205	81	404	263	472	0,652
Aura Light 200W 60gr	200	81	322	84	462	0,262
Philips 205W MB	205	54	278	53	429	0,19

Havaitaan myös, että määriteltyyn 300 luksin tasoon päästään jopa kahdella valaisinrivillä eli 54 valonlähteellä, tällöin on erityisesti kiinnitettävä huomiota

riittävään kulkuvalaistukseen hallin seinien läheisyydessä, jossa valaistusvoimakkuustaso laskee voimakkaasti. Myös työaluevalaistukset vaativat tarkempaa tarkastelua etenkin varjonmuodostuksen kannalta, sillä vähemmän valonlähteitä johtaa väistämättä suurempiin varjostuksiin sekä muodonannon heikkenemiseen, tämä on nähtävissä teräväreunaisina varjostuksina, jota tehostaa myös LED-valojen kirkkaus.

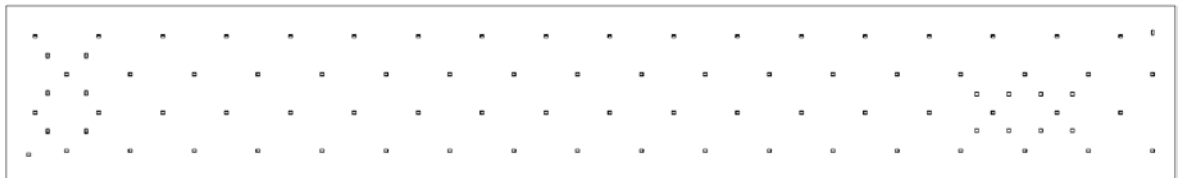


KUVIO 6. Isolux-käyrät käyttötasolla

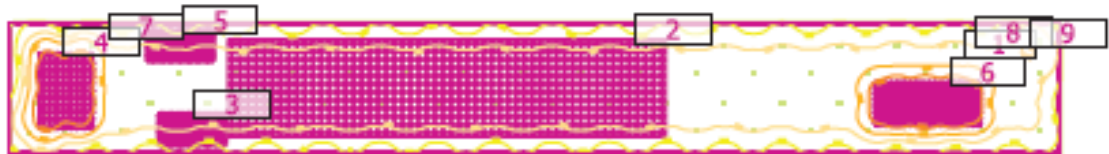
Isolux-käyrät kuvaavat valaistusvoimakkuustasoja samalla periaatteella kuin maastonkorkeuskäyrät maastonmuotoja. Kuviossa 4 on Aura Light:n 200 W valaisimen tuottaman valaistuksen isolux-käyrät, vasemmalla 60 asteen avauskulmalla ja oikealla 40

asteen avauskulmalla olevat heijastinkuvut. Tuloksista havaitaan heijastinkuvun avautumiskulman vaikutus valaistustilanteeseen, kapeammalla kulmalla saadaan parempi kohdevalaistus.

Lopulliset suunnittelutulokset käyvät ilmi kuviosta 5 ja taulukosta 5. Siinä yleisvalaistus on toteutettu neljällä valaisinrivillä, joista kaksi on 19 valaisimen riviä ja kaksi 18 valaisimen riviä. Yleisvalaistus on suunniteltu Philipsin keskileveän optiikan valaisimella. Silmämääräiselle tarkastuspisteelle on lisätty 6 kappaletta kapean optiikan valaisinta ja lopputarkastukseen 8 kappaletta. Näin päästään standardissa määritettyihin tuloksiin, kun valaistus on suunniteltu vakiovalo-ohjauksella, jolloin huoltokertoimen arvona on käytetty 0,69. Kierreputkihallin valaistus on lähes optimaalisella tasolla kuvion 5 tapauksessa, jossa valaisimia on yhteensä 88 kappaletta. Malli on yksi ratkaisuehdotus mahdollisesta toteutuksesta. Valaisimien symmetrisellä sijoituksella päästään parempaan valaistuksen tasaisuuteen kuin nykyisellä toteutuksella, jossa valaisimet ovat samassa linjassa. Valaisinten symmetriat ja sijoitukset löytyvät liitteestä 2. Laskentatulokset käyvät ilmi taulukosta 5.



KUVIO 5. Kierreputkihallin valaisin pisteet



KUVIO 6. Kierreputkihallin valaistuksen laskenta-alueet

TAULUKKO 5. Kierreputkihallin valaistuslaskelman tulokset

Käyttötaso							
Pinta	Tulos	Keskiarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.	
9 Käyttötaso 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	383 (300)	119	1150	0.311	0.103	
EN 12464-1							
1 Lopputarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	809	400	1200	0.494	0.333	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	212	127	316	0.599	0.402	
	Mallinnus	0.26	0.18	0.39	/	/	
2 Rullaradat	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	364	239	403	0.657	0.593	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	115	70	136	0.609	0.515	
	Mallinnus	0.32	0.20	0.44	/	/	
3 Korjaushitsaus 2	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	322	174	403	0.540	0.432	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	106	75	130	0.708	0.577	
	Mallinnus	0.33	0.21	0.52	/	/	
4 Sauman tarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	957	700	1166	0.731	0.600	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	227	174	275	0.767	0.633	
	Mallinnus	0.24	0.18	0.35	/	/	
5 Korjaushitsaus 1	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	324	174	404	0.537	0.431	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	104	71	130	0.683	0.546	
	Mallinnus	0.32	0.20	0.52	/	/	
6 Lopputarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	1062	842	1201	0.793	0.701	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	246	184	319	0.748	0.577	
	Mallinnus	0.23	0.18	0.30	/	/	
7 Silmäm.tarkastus	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	669	254	1134	0.380	0.224	
	Ympäriävä alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	389	211	778	0.542	0.271
	Tausta-alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	364	177	1131	0.486	0.156
8 Lopputarkastus	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	712	304	1149	0.427	0.265	
	Ympäriävä alue 2	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	562	278	1138	0.495	0.244
	Tausta-alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	363	177	1017	0.488	0.174

Ohjauksen kannalta tulee huomioida etenkin tarkastuspisteiden lisävalaistuksen himmentäminen silloin, kun työvaihe ei vaadi valaistuksen maksimitasoa. Suunnittelussa on myös tuotettu ratkaisuehdotus tilanneohjauksesta muun muassa kulkuvalokäytöstä, jolloin ohjataan seinien vierustan valot päälle 50 % himmennettynä. Tällöin voidaan nykyiset loisteputkin toteutetut kulkuvalot hallin seiniltä poistaa tarpeettomina.



KUVIO 7. Valaistusvaikutelma kulkuvalokäytöstä kierreputkihallissa

3.3.2 LED-valaistus kelahallissa

Valaistusvoimakkuudelle on määritelty 100 luksin taso varastotilassa, kuitenkin tilassa tulee olla 200 luksin taso, jos se on jatkuvasti käytössä. Lisäksi kelahallia käytetään kulkukäytävänä ja ajoneuvon kuormanpurkualueena, jolloin tulee huomioida kulkukäytävälle määritelty 100 luksin taso seuraavin erityisvaatimuksin: valaistusvoimakkuus lasketaan lattiatasolla, R_a ja UGR määritetään kuten viereisellä alueella, 150 luksin taso mikäli reitillä on ajoneuvoja, ulos- ja sisäänkäynnille tulee muodostaa sopeutusvyöhyke jyrkän valaistusvoimakkuuseron välttämiseksi, ajoneuvon kuljettajan ja jalankulkijan häikäisyn välttämiseen tulee kiinnittää huomiota. (SFS-EN 12464-1, 2010.)

TAULUKKO 6. Valaistusvoimakkuudet käyttötasolla

Valonlähde	Teho	Kappale	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$U_o (E_{min} / E_m)$
Philips 205W MB	205	60	490	285	565	0,581
Philips 205W MB	205	30	259	119	325	0,458

TAULUKKO 7. Valaistusvoimakkuudet lattiatasolla

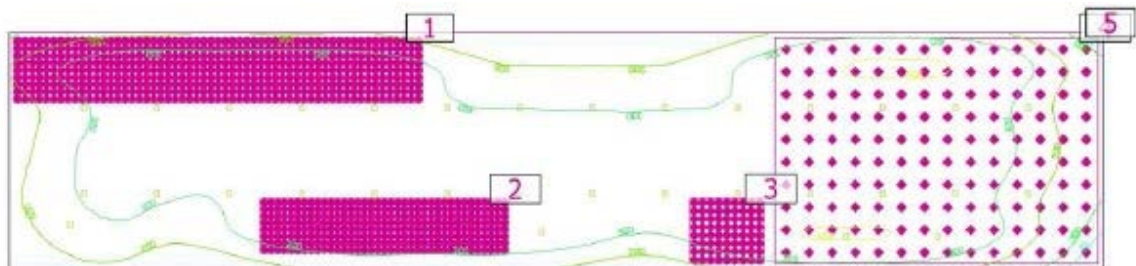
Valonlähde	Teho	Kappale	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$U_o (E_{min} / E_m)$
Philips 205W MB	205	60	477	274	562	0,575
Philips 205W MB	205	30	249	121	322	0,485

Kelahallin tapauksessa päästään riittävään valaistusvoimakkuuden tasoon, valitaan sitten valaisimien määräksi 60 tai 30. Ensimmäinen vastaa nykyistä asennusta, jolloin valaisimet ovat 4 rivissä koko hallin mitalla ja jälkimmäinen vastaa 2 rivin asennusta. Työtilalle määritetyt valaistusvaatimukset täytetään, mutta erityistä huomiota tulee kiinnittää putkikoneiden läheisyydessä, jotka sijaitsevat pääosin kelahallin puolella. Tähän tarkoitukseen voidaan asentaa lisävalaistusta, kuten myös kelahallin väliaikaisille työpisteille tulee taata riittävä valaistusvoimakkuuden taso. Erillisillä työalueilla työtehtävät ovat hitsaukseen rinnastettavia, jolloin optiikalla saadaan kapeampi

valonjakautuminen, mikä riittää tehostamaan valaistusta. Valaistuksen parantaminen on mahdollista myös lisävalaistuksella, jolloin ohjauksella tulee mahdollistaa ylimääräisten valojen sammuttaminen, kun ne ovat tarpeettomia.

TAULUKKO 8. Kelahallin valaistuksen laskentatulokset lopullisessa suunnitelmassa

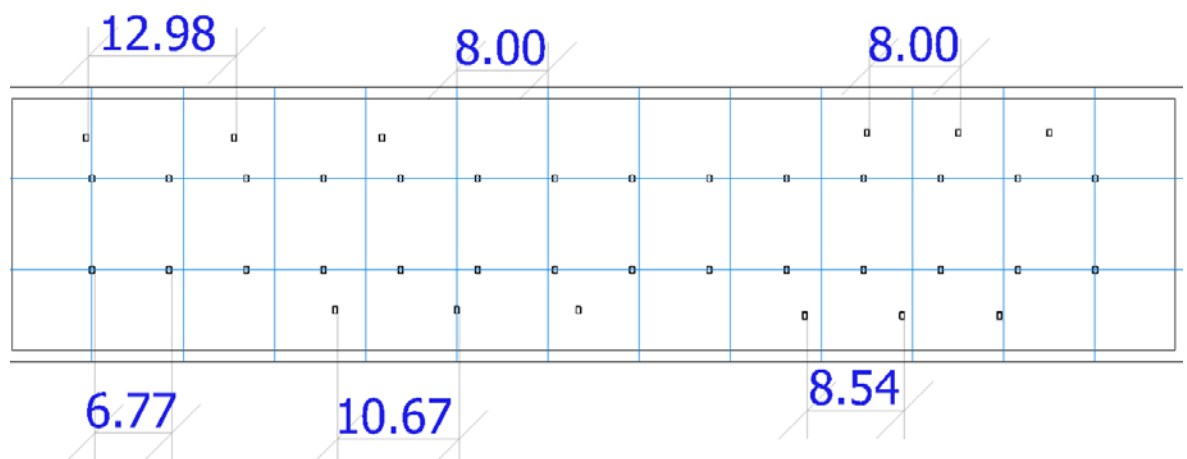
Käyttötaso						
Pinta	Tulos	Keskiarvo	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.
5 Käyttötaso 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	314	49	532	0.156	0.092
EN 12464-1						
1 Varatyöpiste 1	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	339	116	441	0.342	0.263
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	103	61	139	0.592	0.439
	Mallinnus	0.30	0.20	0.52	/	/
2 Varatyöpiste 2	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	415	269	500	0.648	0.538
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	119	96	143	0.807	0.671
	Mallinnus	0.29	0.23	0.36	/	/
3 Esikäsiittely	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	358	214	480	0.598	0.446
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	108	93	118	0.861	0.788
	Mallinnus	0.30	0.24	0.44	/	/
4 Putkikonetyöalue	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	343	68	554	0.198	0.123
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	106	41	146	0.387	0.281
	Mallinnus	0.31	0.24	0.60	/	/



KUVIO 8. Kelahallin valaistuksen laskenta-alueet

Kelahallin valaistussuunnitelma on toteutettu 85 % vakiovalo-ohjauksella ja vallitsevat olosuhteet ovat muutenkin yhtenevät kierreputkihallin kanssa. Valaisimet ovat kahdessa 14 valaisimen rivissä, minkä lisäksi on lisätty työaluevalaistukseen yhteensä 13 kappaletta

valaisimia. Kuten taulukko 8 osoittaa, kelaussa on edellytykset tehostaa valon säätöä ja saada siten energiansäästöä. Valaisimien määrää ei juuri voi laskea, koska silloin valaistuksen ominaisuudet laskee kriittisen alhaiseksi. Ongelmaksi muodostuu etenkin valaistusvaatimukset lastauspurkualueella, varatyöalueilla ja kulkukäytävällä muuttuvissa tuotantotilanteissa. Esimerkiksi hallinosturilla kelausta siirrettäessä täytyy turvallisuuden takia valaistusvoimakkuus olla tilassa suurempi kuin kulkemiseen käytettäessä, lisäksi nosturin aiheuttamat varjostukset on pystyttävä kompensoimaan. Valaistus on siten syytä mitoittaa tilassa suurimpaan mahdolliseen tarpeeseen. Valaistuksen ylimitoitusta on helpointa säätää läsnäolotunnistimien ja himmennuksen yhdistelmällä, tällöin ohjaus on vaivatonta eikä aiheuta käyttäjälle ylimääräisiä rasitteita. Nosturin varjostusta voidaan kompensoida myös asentamalla siihen valaisimet.



KUVIO 9. Kelaussin valaisinsijoittelu (etäisyydet metreinä)

3.3.3 LED-valaistus varusteluhallissa

Varusteluhallissa on nykyisin valonlähteet kolmessa rivissä, jolloin yhteismäärä on 69. LED-valaistuksella täytetään valaistuskriteerit myös 2 rivin tapauksessa, tosin tasaisuus on rajallinen. Valaistusvoimakkuuteen sallitaan koko tilan kannalta alempikin arvo, koska kuitenkin koko tila ei ole tuotannollisesti käytössä.

Tilanteessa, jossa valaistus on toteutettu kahdella rivillä valaisimia, valaistusvaikutelman muutokset ovat kelahalliin verrattuna samankaltaiset. Valaistusvoimakkuus alenee voimakkaasti seinien läheisyydessä ja muodonanto on heikompi kuin kolmen tai useamman rivistön tapauksessa. Tällöin voidaan tilannetta parantaa sekä suuntaamalla että lisäämällä valaisimia, missä työntehtävän suorittamisen kannalta vaatimustaso kasvaa. Vaihtoehtoisesti valaisinrivien paikkaa voi siirtää lähemmäs seinien vierustaa, jolloin seinien lähetyvillä olevat työpisteet tulevat paremmin valaistuiksi. Silloin hallin keskialueen valaistusvoimakkuustaso laskee, mikä tässä tapauksessa ei ole ongelma, koska keskialue ei ole työkäytössä muuten kuin väliaikaisvarastona. Varastoalueelle vaadittu 200 luksin taso tulee täytettyä.

TAULUKKO 9. LED-valaistus varusteluhallissa

Valonlähde	Teho	Kappale	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$U_o (E_{min} / E_m)$
Philips 205W MB	205	69	440	257	491	0,585
Philips 205W MB	205	46	304	133	363	0,438

Varusteluhallin yleisvalaistus on lopullisessa suunnitelmassa toteutettu 46 valaisimella, jotka ovat kahdessa rivissä. Työalueille on tarve taata korkeampi valaistuksen taso, joten niihin on lisätty yhteensä 10 kappaletta HRO-optiikan valaisinta. Varusteluhallin yleisvalaistuksesta saadaan huomattavan tasainen (taulukko 10.), jolloin muodonanto on riittävä. Ilman lisävalaisimia valaistusvoimakkuuden taso on noin 200 luksia koko hallin mitalla. Todettakoon, että tulokset eivät ota huomioon varjoja eri kohteiden lähellä, joten

todellisuudessa tasaisuus ei yhtä hyvä kuin mallinnettuna. Varusteluhallissa suurimmat varjonmuodostajat ovat kelahallinpuoleisessa päässä olevat varastohyllyt, joten oikea valaisinten sijoittelu hyllyjen väliin on ensiarvoisen tärkeää. Valaistuksen hallinnan ja ohjauksen kannalta tilassa ei ole merkittäviä ongelmia.

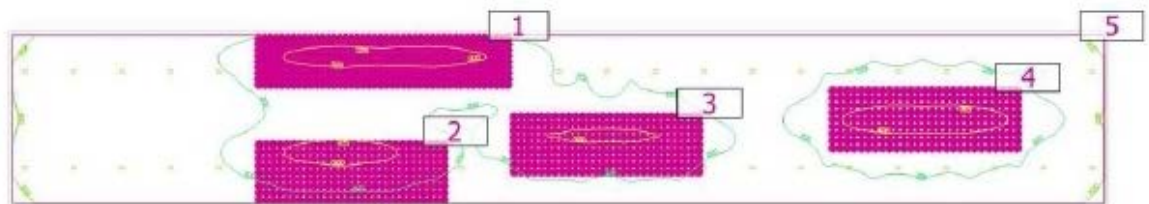
TAULUKKO 10. Varusteluhallin valaistuksen laskentatulokset

Käyttötaso

Pinta	Tulos	Keskiarvo	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.
5 Varusteluhalli	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	321	167	645	0.520	0.259

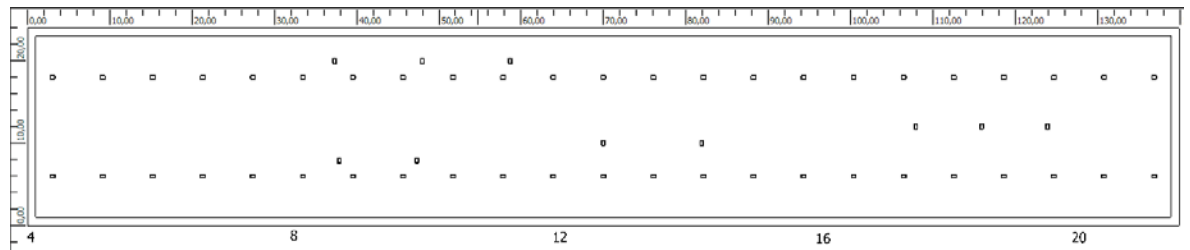
EN 12464-1

1 Kärjen hitsaus 1	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	466	316	627	0.678	0.504
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	132	104	181	0.788	0.575
	Mallinnus	0.28	0.20	0.39	/	/
2 Kärjen hitsaus 2	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	408	244	671	0.598	0.364
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	121	99	179	0.818	0.553
	Mallinnus	0.30	0.20	0.43	/	/
3 Ponttien hitsaus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	409	289	544	0.707	0.531
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	124	90	176	0.726	0.511
	Mallinnus	0.30	0.22	0.43	/	/
4 Ponttien silloitus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	454	326	662	0.718	0.492
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	139	107	189	0.770	0.566
	Mallinnus	0.31	0.24	0.34	/	/



KUVIO 10. Varusteluhallin valaistuksen laskenta-alueet

Toisin kuin muissa tiloissa, varusteluhallissa on kierreputkihallin puoleisella seinällä ikkunat. Vaikkei tässä tarkastelussa ole päivänvalon vaikutusta otettu huomioon, voidaan todeta sen vaikuttavan valaistustilanteeseen positiivisesti. Tällöin voidaan ikkunoiden puoleiset valaisimet varustaa valaistusvoimakkuustunnistimilla jolloin valaistuksen taso pysyy vakioituna ja energiaa säästyy. Säästöjä saadaan myös, kun varustetaan varastotila läsnäolotunnistimen ja himmentimen yhdistelmällä, kuten kelahallin tapauksessa.



KUVIO 11. Varusteluhallin valaisinsijoittelu

4 LED-VALONLÄHTEIDEN OHJAUS JA SÄÄTÖ

LED-valojen ohjausjärjestelmään kuuluvat valonlähde, liitäntälaitte ja ohjainyksikkö. LED-valonlähde vaatii aina toimiakseen liitäntälaitteen, joka yksinkertaisimmillaan on vastus ja yleisimmillään hakkuri. Hakkuri rajoittaa virran valonlähteelle sopivaksi, useimmiten muuntaen vaihtosähkön (AC) tasasähköksi (DC), täten sitä kutsutaan myös erityisominaisuuksin muuntajaksi. Toiminta perustuu tavallisesta rautasydämisestä muuntajasta poiketen ferriittisydämeen ja elektroniikkaan. Sen etuina ovat pieni koko, keveys ja hyvä hyötysuhde.(ST-kortti 57.52,2008.)

LED-tekniikan nopean kehittymisen myötä liitäntälaitteet ja ohjaimet pystyvät paremmin tukemaan ja hyödyntämään ohjauksessa LED-valojen tyypillisiä ominaisuuksia, kuten kirkkauden, värin ja värilämpötilan säätöä. Liitäntälaitetta valittaessa tulee ottaa huomioon, LED-valojen määrä ja sähköiset arvot, yliteho ja katkokset virhetilanteissa, napajännite ja lämpötilan kompensointi, halutut kirkkaus ja väriarvot. (ST-kortti 57.52, 2008.)

Kaikkien järjestelmän osien tulee olla yhteensopivia, tämä asettaa rajoituksia erityisesti markkinoilta erikseen hankittaville komponenteille, koska yleistä LED-valojen standardia ei ole vielä olemassa. Tästä johtuen valmistajat tyypillisesti valmistavat komponentteja vain omiin valonlähteisiin, liitäntälaitteisiin tai ohjaimiin. Esimerkiksi toiset liitäntälaitteet voivat sisältää säätöyksikön eri parametreille ja toiset taas toimivat erillisen ohjauksen kautta kytkien valon päälle - pois. (ST-kortti 57.52, 2008.)

Riippuen valmistajasta ohjain ei ole aina pakollinen, kun se on integroitu liitäntälaitteeseen. Niissä tapauksissa, joissa ohjain tarvitaan toteuttamaan haluttu säätöominaisuus, liitäntälaitte toimii rajapintana ohjaimen ja valonlähteen välillä. Liitäntälaitteeseen voidaan kytkeä erilaisia ympäristöä havainnoivia antureita, kuten

lämpötila ja päivänvalo. Näillä voidaan estää niin sähkön liikakulutusta kuin valonlähteiden ylikuumentumista. Toiminto on kaksisuuntaista siten, että komponentit niin sanotusti keskustelevat keskenään, liitäntälaitte lähettää ohjaimelle tietoa vallitsevan olosuhteen muutoksista ja ohjain antaa tarvittaessa komentokäskyn liitäntälaitteelle kasvattaa tai laskea valonlähteen valovirtaa (ST-kortti 57.52, 2008).

Ohjaimen yleisiä ominaisuuksia ovat valon sytyttäminen ja sammuttaminen. Lisäksi LED-valojen ohjauksessa toivottavaa on kirkkauden ja värin säätö. Ohjauksesta saadaan monimutkaisissakin kohteissa toimiva sopivin väylätekniikkaan perustuvien sovelluksien. Näitä järjestelmiä ovat esimerkiksi DALI, LON ja TCP/IP (ST-kortti 57.52, 2008).

Väyläsovelluksille ominaista on järjestelmän helppo hallittavuus, valaistustilannetta voidaan muuttaa halutulla tavalla näyttöpäätteen käyttöliittymästä. DALI:ssa (Digital Addressable Lighting Interface) voidaan esimäärittää valaistustilanteita erilaisiin kohteisiin ja vaatimuksiin. Tavallisesti niitä käytetään toimisto ja liiketiloissa, joissa käyttö on vaihtuvaa ja hetkellistä, toisin kuin teollisuudessa.

Standardi määrittelee teollisuustilan poissaolokertoimeksi nollan, mikä käytännössä tarkoittaa ohjattavuudella saatavia säästöjä mitättömiksi. Kuitenkin esimerkiksi Oulaisten tehtaalla tuotannon huipputilanteissa osa työvaiheista voidaan tehdä kelahallin varatyöpisteillä, joita ovat muun muassa putken katkaisu ja viisteytys, tällöin valaistuksen nopea vaihtaminen on hyödyksi.

DALI-järjestelmän ja muiden väylätekniikoiden ominaisuuksiin kuuluu myös muunneltavuus. Valaistustilannetta ja hallintavien valaisinten parametreja voidaan muuttaa ilman uusia hankalia kaapeliasennuksia tehdasympäristössä. Tällöin tarvitaan vain käyttöliittymässä tehtävä ohjelmointi. Järjestelmänä DALI on yksinkertainen ja hallinnaltaan helposti opittavissa, jopa ilman syvällisempää tietämystä itse järjestelmästä. Väyläsovellusten ominaisuuksiin kuuluvat tavallisesti myös liitettävyyden muihin kiinteistön

ohjausjärjestelmiin, kuten KNX:ään. Tällöin etenkin LED-valaistusjärjestelmässä etuna on esimerkiksi valaistuksen ja ilmastoinnin yhtäaikainen automaattinen ohjaus, mikä on hyödyllistä LEDin lämmönhallinnan kannalta. Niistä voidaan tehdä myös etäohjattavia ja luettavia, kun ne kytketään tehtaan lähiverkkoon. Tavallisin hallintalaite on seinällä oleva painikeohjain ja kiinteästi sijoitettu tietokonepäätte.

Yleisin ohjausratkaisu on vakiovalo-ohjaus, jonka tarkoitus on pitää LED-valojen valovirta vakiona koko eliniän. Kun LED-valoille sallitaan tyypillisesti 30 % valovirran alenemaksi ennen vaihtoa uuteen, se kompensoidaan syöttämällä LED-valonlähdettä pienemmällä teholla käyttöiän alussa ja kasvattamalla tehoa valovirran alentuessa.

LED-valonlähteen tehon säätöön käytettävä liitäntälaitte sisältää tavallisesti diodi- tai tyristorisillan, mikä pilkkoo vaihtovirran, siksi elektroniikkapiiriä kutsutaan yleisesti hakkuriksi. Tavallisesti sähkö myös pyritään tasaamaan kela-kondensaattori yhdistelmällä. Kun pilkotun virran jaksonaika on riittävän lyhyt eli taajuus on suuri, ihmissilmä ei huomaa eroa. Huonolla ohjauksella ja liitäntälaitteella kyseinen toiminto saattaa näkyä, jolloin puhutaan niin sanotusta välkynnästä, joka saattaa luoda ärsykeitä ja terveydellistä haittaa havaitsijassa. Ongelmasta saattaa aiheutua stroboskooppinen ilmiö, mikä tarkoittaa, että liikkuva etenkin pyörivä kappale saattaa näyttää havaitsijasta pysyvän paikallaan. Tällainen ongelma on erityinen turvallisuusriski ja sitä on syytä välttää. Hakkurin vaikutusta sähkön laatuun tarkennetaan luvussa 6.1.1.

Valituista valaisimista ainoastaan Philipsin mallissa on ilmoitettu DALI-rajapinnasta liitäntälaitteella. Myös Ecotale ja Aura Light valmistavat tuotteita, joissa on DALI-yhteensopiva liitäntälaitte, joten on mahdollista, että sen liittäminen onnistuu erikseen pyydettyä. Toisaalta Philips on myös ainut valmistaja, joka ilmoittaa himmennettävyyden ja vakiovalovirta-ohjauksen mahdollisuudesta. Philips valmistaa myös muita DALI-järjestelmän osia, joten yhteensopivuus on etu tässä suhteessa. Valittavissa on myös langattomaan tiedonsiirtoon perustuva ohjausjärjestelmä. Myös itsenäisesti toimiva

vakiovalo-ohjaimella varustettu valaisin on valittavissa, se voidaan varustaa läsnäolotunnistimella, jolloin erillistä ohjauspiiriä ei tarvita.

5 LED-VALAISIMIEN HUOLTO JA VAIHDETTAVUUS

LED-valaisimien suunnittelussa on huolehdittava järjestelmän osien korvattavuudesta uusilla osilla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että toteutusta suunniteltaessa on tehtävä tarkka huoltosuunnitelma ja hankittava järjestelmän toimittajalta tietoa laitteiden korvattavuudesta. Kaikissa tapauksissa edes valmistaja ei pysty takamaan korvaavia tuotteita. Tällöin on hankittava riittävä varasto vaihtoa vaativille tuotteille. (ST-kortti 57.52, 2008.)

Valmistajat yleensä antavat ennustetun eliniän järjestelmän osille, siten huoltosuunnitelma voidaan toteuttaa. On kuitenkin huomattava, että käyttöiän ennusteet ovat tehty valmistajan ilmoittamassa vertailuympäristössä, eikä ne vastaa todellista käyttökohdetta. Mittaussimulaatioihin eri valmistajat käyttävät eri menetelmiä, yleisesti hyväksytyä standardia ei ole olemassa. Näin ollen huoltosuunnitelma on tapauskohtainen ja riippuu paljon käyttöympäristöstä. Järjestelmän käyttöiän ja määritellyn valaistusvoimakkuustason edellytys on, että huoltosuunnitelmaa noudatetaan täsmällisesti, koskien esimerkiksi valaisinten puhdistamista.

Valmistajan ilmoittamaa käyttöympäristön lämpötilaa tulisi pyrkiä noudattamaan esimerkiksi ilmastointia parantamalla. Kuten Oulaisten tehtaassa tapauksessa voidaan vähentää hitsauspölyn haittoja, kun käytetään hitsauksen yhteydessä paikallista poistoimuria. Silloinkin valaisimien puhdistaminen tulisi tehdä vuosittain, esimerkiksi puhaltamalla paineilmalla. Huoltosuunnitelmassa tulisi ottaa huomioon myös käyttöympäristön lämpötilan vaikutus käyttöikänsä mahdollisen lämpötilan ylityksen tapauksessa. Oulaisten tehtaalla katon lämpötila on noin 19 celsiusta, kun ulkoilman lämpötila on nollassa. Työntekijöiden kokemukseräisen arvion mukaan, kesäaikaan lämpötila saattaa olla parikymmentäkin astetta normaalia huoneen lämpötilaa korkeampi eli noin 45 astetta. Lisäksi muun muassa hitsauspölystä johtuva ongelma on ympäristön

likaisuus, mikä kasvattaa valaisimen suojaustason vaatimuksia, esimerkiksi valaisimen suojaustaso IP65 on sopiva.

On myös huomioitava, että esimerkiksi valaistussuunnitteluohjelmistolla tehtävät tulokset eivät ole aina vertailukelpoisia keskenään, LED-valaisimille ei ole asetettu tiettyä huoltokerrointa standardissa, joten riippuu suunnittelijasta millaisia oletuksia sen suhteen tehdään. Huoltokertoimen suhteen tehtävät oletukset, mikä vaikuttaa huoltoväliin, pitää ilmoittaa valaistussuunnitelmassa. (Alppilux, 2015).

LED-järjestelmän osaa vaihdettaessa, on korvaavan tuotteen oltava ominaisuuksiltaan samanlainen ja mieluiten identtistä valmistuserää. Eri valmistuserien tuotteissa saattaa olla värieroja. Jotta vältetään vastaavat ongelmat kuin nykyisessä valaistuksessa, sammuneen valonlähteen korvaavan tuotteen kirkkautta on pystyttävä säätämään siten, ettei valaistusvaikutelma oleellisesti muutu. Tavallisesti se hoidetaan ohjauksen avulla. (ST-kortti 57.52, 2008.) Huoltoa tai vaihtoa vaativia valonlähteitä saattaa olla useitakin heti käyttöönsä alussa, erilaisista valmistusvirheistä johtuen. Siksi olisikin hyvä kokeilla pienempää erää valaisimia soveltuvuuden varmistamiseksi.

Tarkastelussa olevista valaisimista vain Philips ilmoittaa vaihdettavuuden uuteen LED-valonlähteeseen, tarkoittaen että vanha runko voidaan säilyttää ja hankkia uusi valoelementti. Muiden valaisimien osien vaihdettavuudesta on hankala tehdä arviota, koska tietoja ei ole esitteissä annettu. Tosin Philipsin lisäksi Aura Light valmistaa myös liitäntälaitteita. Ecotalen tuotteesta ilmoitetaan huollettavuuden kannalta valonlähteen valmistaja, joka on Bridgelux. Suositeltava käyttöympäristön lämpötila on enimmillään +50 celsiusta Aura Light:n ja Ecotalen valaisimilla, kun taas Philipsillä se on +45. Valaisimet ovat suojausluokaltaan IP65, paitsi Ecotalen valaisin on IP54.

Merkittävin ero syntyy eliniässä, joka on Philipsille 70 000 tuntia ja muille 50 000 tuntia. Philips myös antaa valaisimen liitäntälaitteelle vikaherkkyydeksi 10 %, kun ajanjakso on

100 000 tuntia. Huollettavuuden kannalta kyseeseen tulee valonlähteiden lisäksi liitäntälaitteet, anturit ja ohjainyksiköt. Philips on tässä tapauksessa vertailukelpoisiin, kun halutaan pitkäjänteistä toimitusvarmuutta valaisimille ja oheislaitteille, kuten DALI-järjestelmälle.

Tässä työssä huoltoväliksi on määritetty vuosi, tuotantotilan likaisuudesta johtuen. Huoltoväli voidaan pidentää kahteen vuoteen, jos tehdään tarvittavat parannukset ilmanlaatuun. Näin valaisimien käyttöikä pysynee ennustetuissa rajoissa, mikä vaikuttaa olennaisesti valonlähteiden vaihtoväliin. Vaihtoväliksi määritetään 50 000 tuntia, mikä vastaa vähintään kahdeksaa käyttövuotta. Vaihtoväli kasvaa vuosittaisen käyttöajan lyhentyessä, tätä tarkastellaan tarkemmin energiankulutusarvion yhteydessä luvussa 6.2.1.

6 VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUS

Sisävalaistuksen energiankulutuksen laskentamenetelmä määritetään SFS-EN standardissa 15193: Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. Siinä annetaan myös laskentaohjeet valaistuksen energiatehokkuus-indikaattorin eli LENI-luvun laskemiseksi, mikä ilmoittaa valaistuksen energiankulutuksen vuodessa pinta-alayksikköä kohti. (SFS-EN 15193, 2008).

$$LENI = W/A [kWh/(m^2 \times vuosi)] \quad (7)$$

$$W = W_L + W_P [kWh/vuosi] \quad (8)$$

Missä, W on valaistuksen kokonaiskulutus, W_L on valaistuksen kulutus päällä ollessa ja W_P on valaistuksen lepokulutus, A on rakennuksen valaistava pinta-ala. Standardi esittää kaksi menetelmää LENI-luvun laskemiseen: pikalaskenta ja tarkkalaskenta. Pikalaskentamenetelmässä valaistuksen lepokulutukselle annetaan arvo $6 kWh/m^2$, joka käsittää sekä ohjausjärjestelmän valmiustilan kulutuksen $5 kWh/m^2$ että turvavalaisuksen akuston latauksen kulutuksen $1 kWh/m^2$. Valaistuksen käyttöaikaiseen kulutukseen tulee huomioida lamppujen ja liitäntälaitteiden kulutus sekä tehonsiirron häviöt. Toisin sanoen, valaistuksen kokonaiskulutus lasketaan koko järjestelmän verkosta ottamalla teholla eli näennäisteholla. (SFS-EN 15193, 2008).

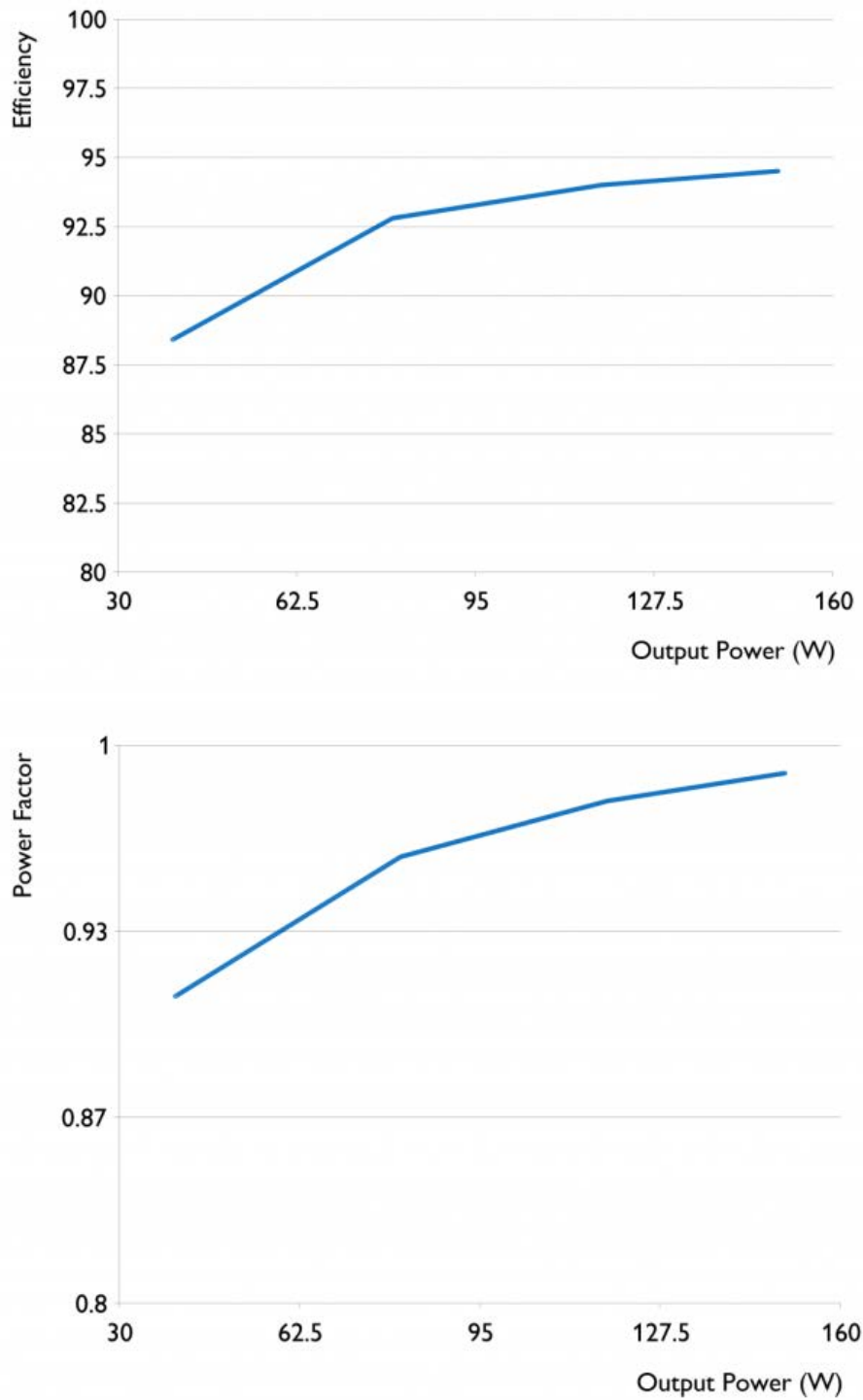
Tarkassa laskentamenetelmässä valaistuksen tehonkulutus voidaan laskea vuosi, päivä tai tunti kohtaisesti. Lisäksi rakennuksen toiminnalliset osat, jotka poikkeavat toisistaan, kuten käytön ja säädön osalta voidaan laskea erikseen. Tällöin kyseiset valaistustilanteet lasketaan kokonaiskulutukseen summana. (SFS-EN 15193, 2008).

$$W_{todellinen} = \sum(W_{valaistustilanne\ 1} + W_{valaistustilanne\ 2} \dots) \quad (9)$$

6.1 LED-valaisimen teho

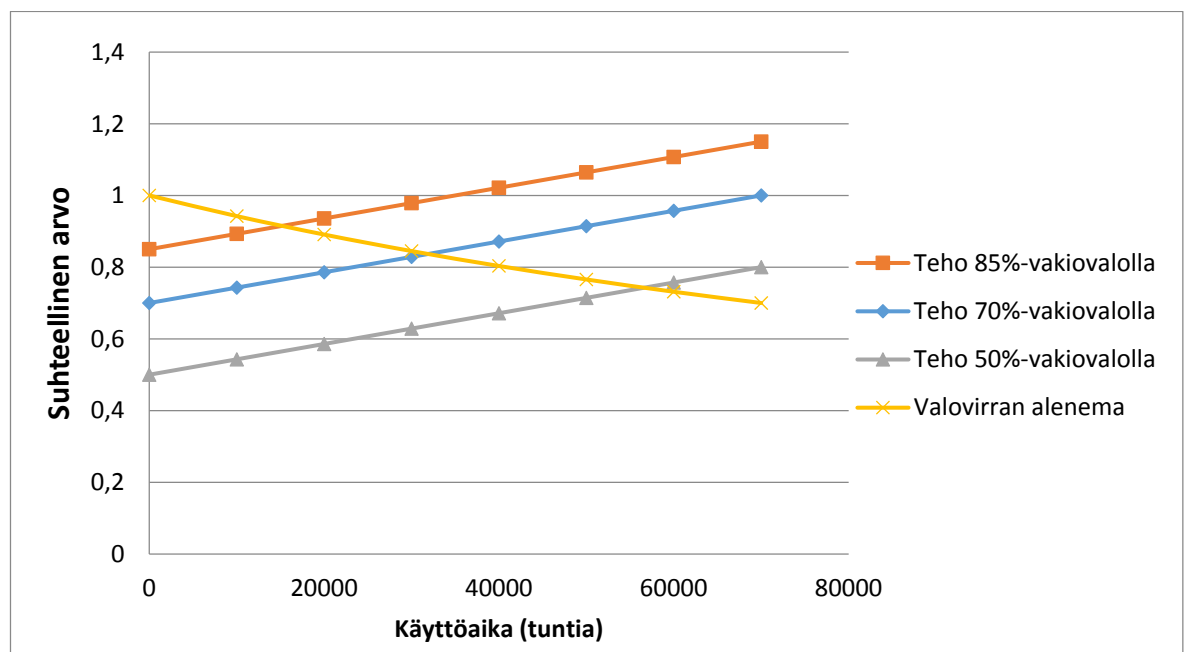
Ennen energiankulutuksen määrittämistä tulee kysymykseen LED-valaisimen teho, kuinka se kehittyy ajan kuluessa käytettäessä vakiovalo-ohjausta. Kuten todettua, valaisimen verkosta ottama teho koostuu lampun ja liitäntälaitteen tehosta sekä tehonsiirron häviöistä. Näihin liittyen tarvitaan tiedot liitäntälaitteesta, kun lampun teho jo lähtökohtaisesti tiedetään.

Tässä tarkastellaan vain Philipsin valaisimen tehonkulutusta, koska valmistajalta olivat tarvittavat tiedot saatavissa sekä lopullinen suunnitelma toteutettiin kyseisen valmistajan valaisimella. Philipsin GentleSpace gen2 valaisimessa käytetään valmistajan omaa liitäntälaitetta tyypiltään Xitanium 150W 0.2-0.7A 300V TD 230V iXt, joita on kaksi kappaletta per valaisin. Liitäntälaitteelle annetaan tuote-esitteessä tiedot laitteen tehokertoimen ja tehokkuuden (hyötysuhteen) suhteesta valonlähteitä syöttävään tehoon.



KUVIO 12. Liitäntälaitteen tehokkuus ja tehokerroin tehon funktiona (Philips, 2015).

Vakiovalo-ohjauksen tapauksessa tulee huomioida lisäksi valovirran alenema, jonka vaikutuksesta teho kasvaa käyttöiän aikana. Esimerkiksi, kun ylläpidettävä valaistustaso on säädetty 70 %, tällöin uuden valaisimen syöttöteho on 70 % nimellisestä ja käyttöiän lopussa syöttöteho on nimellinen. Ikääntyessä valovirta alenee lineaarisesti kuvion 13 kaltaisesti, kun ei oteta huomioon lämpötilan vaikutusta valovirran alenemaan. Täten tehon kasvua voidaan pitää lineaarisena ja tehon kasvu voidaan sovittaa valittuun valaistustasoon, mikä on tässä tapauksessa 85 %. Yksinkertaistamisen vuoksi ja tietojen puuttuessa jätetään myös huomiotta valonlähteen tehokkuuden paraneminen valovirtaa himmennettäessä. Saadaan siis tehon alkuarvoksi 85 % nimellisestä ja loppuarvoksi 115 % nimellisestä, kun ikääntyminen oletetaan vakioksi.



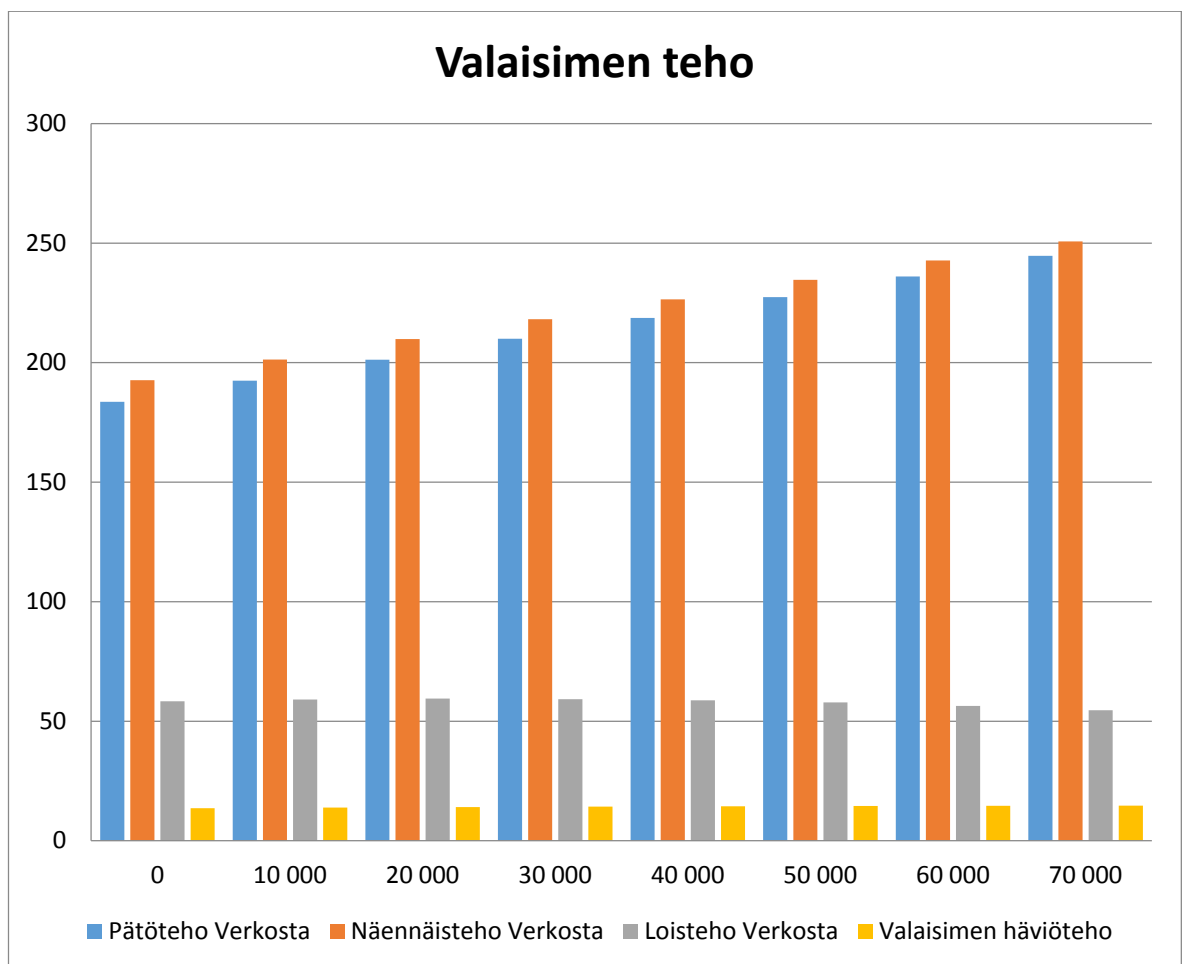
KUVIO 13. Valonlähteen teho ajan funktiona vakiovalo-ohjauksella

Edellä mainittujen tekijöiden avulla saadaan laskettua valaisimen kokonaisteho eli näennäisteho $S(t)$ käyttöiän hetkellä t , kun valonlähteiden päteho $P(t)$ muuttuu käyttöiän

suhteen kuvion 13 kaltaisesti ja liitäntälaitteen tehokkuus $\mu(P)$ ja tehokerroin $\cos(\varphi)(P)$ muuttuvat pätötehon suhteen kuviosta 12.

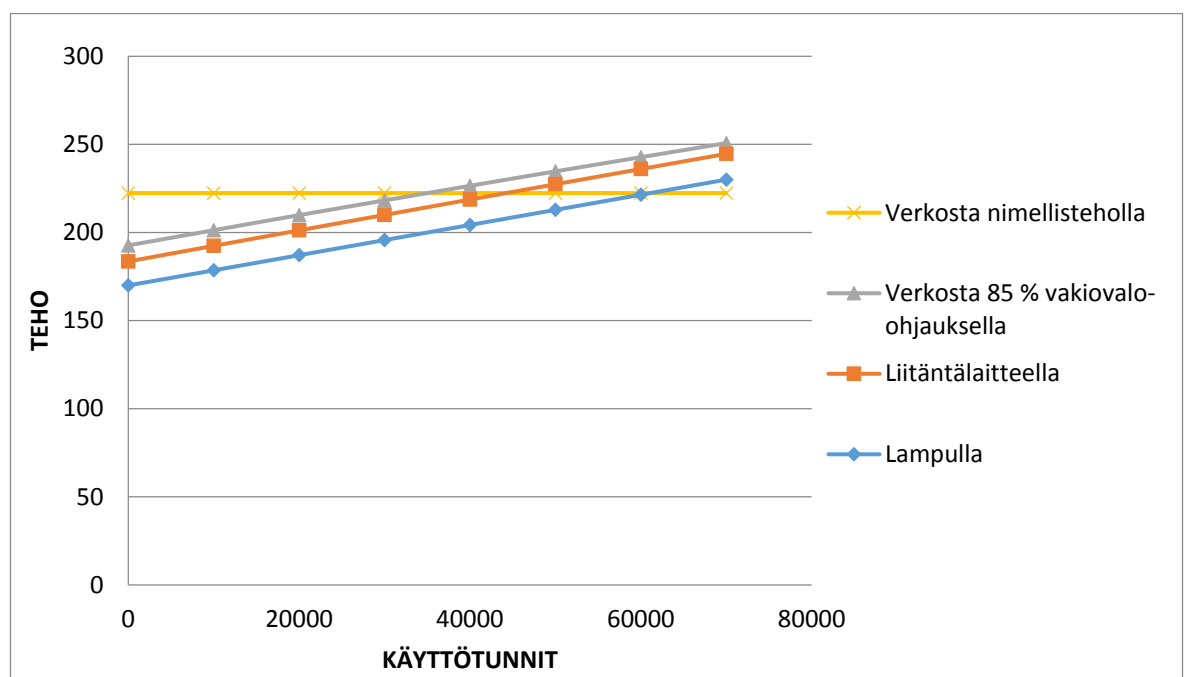
$$S(t) = \frac{P(t)}{\cos(\varphi)(P) * \mu(P)} \quad (10)$$

Näin saadaan esimerkiksi uuden valaisimen näennäistehoksi 192 VA, kun lampun pätöteho on 170 W, tehokkuus on 0,926 ja tehokerroin on 0,953.



KUVIO 14. LED-valaisimen tehon osat käyttöajan suhteen

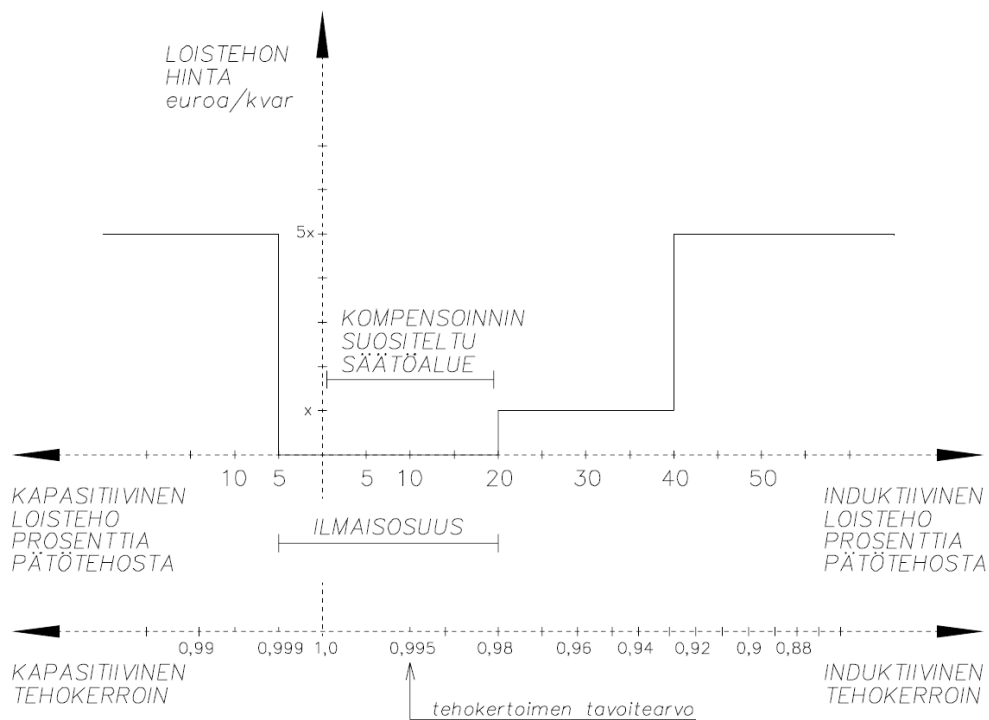
Ilman vakiovalo-ohjausta valaisinta syötetään jatkuvasti vakioteholla, tällöin esimerkiksi nimellisteholla (lampputeholla) 200 W valaisimen näennäisteho on noin 222 VA. Valaisimen loisteho ja häviöt liitännälaitteella pysyvät lähes samana koko käyttöiän aikana. Kuviosta 15 havaitaan kuitenkin liitännälaitteen tehokkuuden kasvu, kun syöttöteho kasvaa. Energiankulutus lasketaan lopulta vain pätötehon avulla. On kuitenkin hyödyllistä tietää muun muassa kaapeleiden mitoitus silmälläpitäen, millaista kuormitusta LED-valaistus tuottaa.



KUVIO 15. LED-valaisimen teho ajan funktiona vakioteholla ja vakiovalo-ohjauksella

6.1.1 LED-valaistuksen loistehon kompensointi ja yliaaltojen suodatus

Suurteollisuuden sähkösovimukset sisältävät pätötehon huippukulutuksen lisäksi loistehomaksun, hinnoitteluperusteena on tarve ohjata sähköliittymän käyttäjä kompensoimaan loistehon tarpeensa verkossaan. Näin jakeluverkkoyhtiölle ei aiheutuisi lisäkustannuksia kompensointitarpeen lisäämisestä tai siirtojohtojen vahvistamisesta, mitkä ovat tyypillisiä loistehosiirron seurauksia. Hinnoittelussa loisteholle tavallisesti hyväksytään ilmaisosuudeksi 20 % pätötehon huippuarvosta, jakeluverkkoyhtiöstä riippuen se painotetaan yleensä induktiiviselle tehokerroimelle. Induktiivinen tehokerroin kuvastaa käyttäjän loistehon tarvetta jakeluverkosta, kun taas kapasitiivinen tuottaa loistehoa verkkoon. (Tampereen Sähköverkko Oy 2012).



KUVIO 16. Loistehon hinnoitteluperiaate (Tampereen Sähköverkko Oy 2012.)

Oulaisten tehtaan alueella jakeluverkkoyhtiönä on Elenia Oy. Hinnoitteluna on loisteholle 4,36 €/kvar, vastaavasti pätöteholle hinnoittelu on 1,99 €/kW. Ilmaisosuus loisteholle on Elenian verkon alueella 16 % mitatusta pätötehosta. Esimerkiksi tehokertoimella 0,9 ja 50 kW pätötehollla loisteho on noin 25 kVar. Ilmaisosuus on tällöin 8 kVar, joten loistehon kustannus on 74,12 € pätötehon kustannuksien ollessa 99,5 €

Loistehosta syntyy merkittäviä lisäkustannuksia verrattuna tavalliseen pätötehon tarpeeseen. Tästä johtuen Oulaisten tehtaalla on kompensointi toteutettu säädettävillä kompensointiparistoilla sekä kiinteillä kompensointikondensaattoreilla. Tehtaan tyypillisissä sähkökäytöissä kuormat, kuten moottorit muuntajat ja purkauslamput, ovat induktiivisia eli tehokerroin on induktiivinen. Näin ollen kompensointiin käytetään kapasitiivista loistehoa tuottavia kondensaattoreita, jolloin tehokerroin tasapainottuu mahdollisimman lähelle arvoa 1.

Valaistuksen osalta loistehon kompensointiin on käytössä kiinteästi mitoitettut kondensaattorit eli kompensointi on mitoitettu johonkin jännitteen ja virran arvoon. Purkauslamppujen kuormituksesta johtuen loistehon tarve on tyypillisesti vakio ja kuorma on suhteellisen pieni, jolloin säädettävyys ei ole välttämätöntä. Kompensointi on toteutettu ryhmäkohtaisesti. Koko verkon loistehokuorma kompensoidaan keskitetysti pääkeskuksella.

LED-valaistusta toteutettaessa kompensointitarve muuttuu. LED-valaisimessa virranrajoittimena käytettävän hakkurin kuorma on sen toimintaperiaatteesta johtuen epätasaisista eli kuorman ottama virta poikkeaa sinimuotoisesta. Virta on kuitenkin lähes samassa vaiheessa jännitteen kanssa. Tehokerroin korjatuissa hakkureissa virran muoto on kuitenkin hyvin lähellä sinimuotoista, tästä kertoo hyvä tehokerroin ($>0,9$). Seurauksena on, ettei tavallista erottelua kapasitiivisen tai induktiivisen loistehon suhteen voida tehdä. (Gobbi 2009.)

Hakkurit tuottavat verkkoon myös harmonisia yliaaltoja. Yliaallot ovat syöttävän verkon taajuuden moninkertojen taajuisia sinimuotoisia jännitteen vaihteluita. Ne summautuvat syöttöjännitteeseen, jolloin sinimuotoinen 50 hertsin taajuinen jännite säröytyy. Siten verkkojännitteen tehollisarvo kasvaa. Vakio arvoille mitoitetun kondensaattorin rinnankytkentä yliaaltolähteen kanssa saattaa aiheuttaa yliaaltojen vahvistumista, jolloin kondensaattorit voivat vaurioitua. Tällöin yliaallot voidaan joutua suodattamaan. (Gobbi 2009.)

Tarkemmat tiedot valaisimien liitäntälaitteen yliaalloista löytyy valmistajan tuotesitteestä. Esimerkiksi Philipsin liitäntälaitteen harmoninen kokonaissärö (THD) on pienempi kuin 20 % (Philips 2015).

THD määritellään seuraavalla yhtälöllä:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1}, \quad (11)$$

mikä ilmaisee harmonisten yliaaltojen tehollisarvon suhdetta syöttöjännitteen perusaallon tehollisarvoon, joka on tavallisesti 230 V. Kun kuorma on pieni eli virta on suhteellisen pieni, suurikin kokonaissärö aiheuttaa vain pienen muutoksen virran tehollisarvoon. (Arrillaga, Watson 2003).

Esimerkiksi tässä tarkastelussa LED-valaisimen kokonaiskuorma on noin 220 VA ja syöttöjännitteen ollessa 230 V, virta on vain 0,96 A. Tarkemmin syventymättä harmonisen kokonaissärön vaikutuksista kuorman virtaan voidaan suhteellisesti arvioida, että kokonaissärö aiheuttaa maksimissaan vain 0,2 A muutoksen virran tehollisarvoon yhdellä valaisimella.

Yksittäisten valaisimien yliaallot eivät siis ole kovin merkittäviä, mutta ryhmä- tai pääkeskuksella kokonaissärön merkitys kasvaa, kun syötettävä kuorma kasvaa. Kokonaisuudessaan yliaaltojen suodatusta tulisi tarkastella toteutuksen yhteydessä tarkemmin. Jakeluverkkoyhtiö myös edellyttää ilmoitusta merkittävien yliaaltokuormien lisäyksestä sähkön käyttäjän liittymäpisteessä.

Seuraavassa havainnollistetaan loistehon muutosta yksinkertaistetusti, joten jätetään huomioimatta virran ja jännitteen yliaaltoluonteisuus.

Kompensoinnin loistehon tarve lasketaan seuraavasti:

$$Q = \frac{P \cdot (\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2))}{\eta} \text{ [kVar]}, \quad (12)$$

missä P [kW] on valaistuksen pätöteho ja η on valaistuksen hyötysuhde, φ_1 on vaihekulma ennen kompensointia ja φ_2 on vaihekulma kompensoinnin jälkeen. Vaihekulmien tangenttien erotus voidaan korvata taulukosta 11 saatavalla kertoimella:

$$\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2) = k \text{ [kVar/kW]} \quad (13)$$

TAULUKKO 11. Kertoimen k valintataulukko, tehokerroin $\cos(\varphi_1)$ on ennen kompensointia ja tehokerroin $\cos(\varphi_2)$ on kompensoinnin jälkeen. (ST 52.15 2014).

$\cos(\varphi_1)$	$\cos(\varphi_2)$	
	1	0,98
0,9	0,48	0,28
0,96	0,29	0,09

TAULUKKO 12. Laskennalliset tulokset loistehon tarpeesta

	HPS	LED	LED/HPS
Pätöteho(kW)	119	40	0,33
Loisteho(kVar):			
cos(φ)=1	57,15	11,50	0,20
cos(φ)=0,98	33,34	3,57	0,11

Jos kompensointia ei vähennetä LED-valaistuksen toteutuksen yhteydessä, vaikuttaa se tehokerrointa huonontavasti. LED-valaistus tuottaa taulukon 12 mukaan loistehoa 11,5 kVar ja kondensaattorit kapasitiivista loistehoa 57,15 kVar HPS-valaistuksen mitoituksen mukaan. Yhteenlaskettu loisteho on siis 68,65 – 44,65 kVar, riippuen siitä onko LED-valaistuksen loisteho kapasitiivista vai induktiivista. Kompensoimattomana LED-valaistus tuottaa loistehoa 11,5 kVar, mikä on noin puolet vähemmän kuin HPS-valaistuksen loisteho 21,81 kVar kompensoitaessa 0,98 tehokertoimeen. Yleensä moottorikäyttöjen tehokertoimen kompensointi mitoitetaan arvoon 0,98, jolloin vältetään moottorin ns. itseheräämis-ongelmalta (ST 52.15 2014). Ilman kondensaattoreita myös vältetään yliaaltojen vahvistumiselta ja resonanssi-ilmiöiltä.

Kompensointi voidaan siis perustellusti poistaa valaistusryhmien osalta, jos pääkeskuksen säädettävissä kompensointiparistoissa on säätövaraa LED-valaistuksen aiheuttamalle loiskuormalle ja riittävästä yliaaltojen suodatukselta on varmistuttu. Muussa tapauksessa joudutaan hankkimaan korvaava kompensointilaitteisto, joko ryhmäkeskuksille tai vahvistamaan keskitettyä kompensointia pääkeskuksella. Uudelle kompensointilaitteistolle tulee asettaa vaatimukseksi yliaaltosuodatus ja säädettävyys, LED-valaistuksen kuorman vaihteluista johtuen. Käytännössä vaatimukset rajaavat vaihtoehdot vain aktiivisuodattimiin, jotka kykenevät myös loistehon kompensointiin. Työn rajauksesta johtuen erilaiset ratkaisuvaihtoehdot ja kustannukset jätettiin työn ulkopuolelle jatkoselvitystä vaativiksi.

Laskuissa on arvioitu HPS-valaistuksessa virranrajoittimena käytettävän kuristimen pätötehohäviöiksi noin 90 W per valaisin, vastaa siis noin 18 % koko valaisimen tehosta, mikä suuruudeltaan vastaa tavallisen HPS-valaisimen ominaisuuksia. LED-valaistuksen hyötysuhteeksi arvioidaan kuvion 7 mukaisesti 94 %. Pätötehona on käytetty suunnittelualan valaistuksen kokonaispätötehoa.

Pienjänniteverkossa (< 1000 V) kompensointikondensaattorien pätötehohäviöt ovat suuruudeltaan noin 0,5 W/kVar eli merkityksettömät suhteessa koko valaistuksen pätötehoon (ABB). Kompensoinnista aiheutuvat häviöt voidaan siis jättää huomiotta energiankulutustarkasteluista. Myöskin tässä yhteydessä tarkastellut loistehon kulutukset eivät lopulta pääse jakeluverkkoon kompensoinnista johtuen, kun oletetaan kompensoinnin riittävän kuten nykytilanteessa.

6.2 LED-valaistusjärjestelmän energiankulutus

Energiankulutuksen laskemiseksi voidaan käyttää SFS-EN standardin 15193 ohjeita. Toisaalta tällöin joudutaan valitsemaan erilaisia kertoimia kuten läsnäolokerroin ja poissaolokerroin, lisäksi siinä on määritetty ohjeet päivänvalon vaikutuksen laskemiseksi siinä tapauksessa, kun päivänvaloa on saatavilla. (SFS-EN 15193, 2008.)

Tässä kohteessa suurin osa tiloista on suljettuja päivänvalolta, ainoastaan varusteluhallin yhdellä seinällä on normaalilla katselukorkeudella ikkunat. Tästä syystä päivänvalon huomioonottaminen ei ole välttämätöntä suuntaa antavan arvion tekemiseksi. Kuitenkin edellä mainitut läsnäolo ja poissaolokertoimet ovat sinänsä käyttökelpoisia, mutta standardi määrittää teollisuuslaitokselle läsnäolokertoimeksi 1, mikä tarkoittaa ettei poissaolokerroin voi olla kovin paljon nollaa suurempi. Eli mikä tahansa ohjaustapa valitaankin, se ei standardin mukaan tuo energiansäästöjä merkittävästi.

Energiankulutus W lasketaan pätöteho P kertaa käytetty aika t :

$$W = P * t \quad (14)$$

Tarkoittaa, että lasketaan tehon kuvaajan pinta-ala nolla-akseliin nähden valitulla ajanjaksolla. Matemaattisesti tämä ilmaistaan seuraavasti:

$$W(t) = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt \quad (15)$$

Energiankulutus on siis määrätty integraali pätötehon kuvaajasta valitun ajanjakson $dt = t_2 - t_1$ yli. Näin ollen voidaan laskea tietyn vuoden ennustettu energiankulutus, kun valitaan ajanjaksoksi vuosittainen käyttöaika ja jaetaan tehon kuvaajan muodostama pinta-ala vuosilohkoiksi.

6.2.1 Energiankulutuslaskelman tulokset

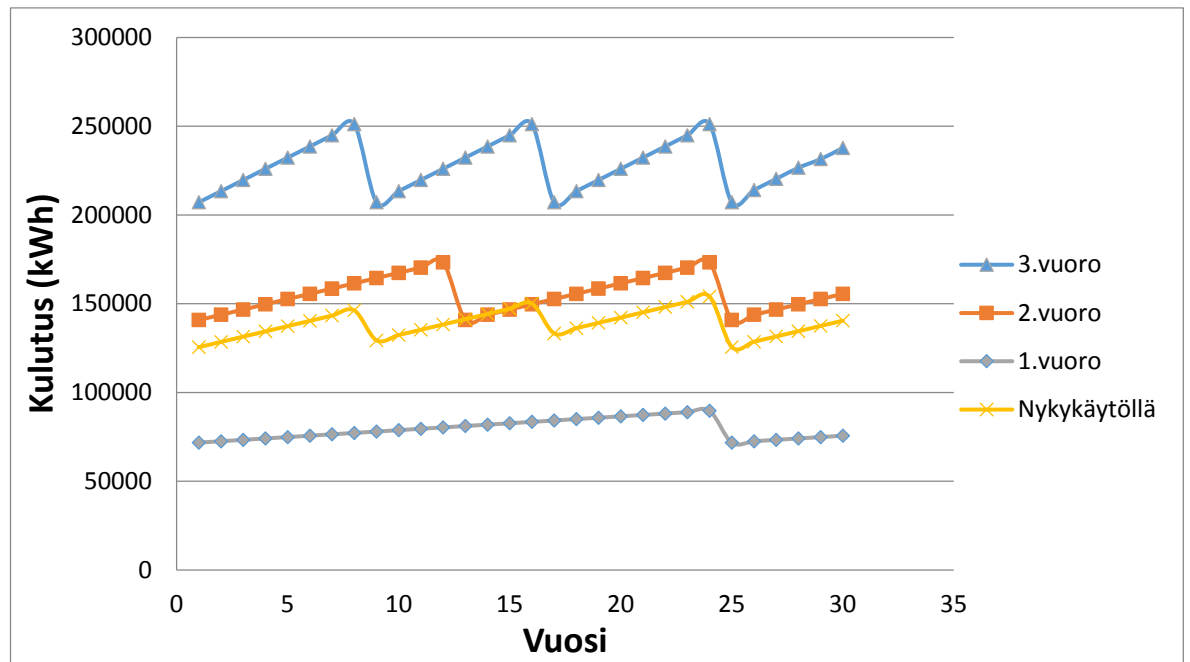
Tässä työssä tehdyn valaistussuunnitelman pohjalta jaetaan valaistusjärjestelmä toiminnallisiin osiin, eri ohjaustavan mukaan. Kaikissa osissa käytetään 85 % vakiovalo-ohjausta ja himmennettynä valovirta on 50 % nimellisestä. Himmennyskäytölle oletetaan käyttöajaksi 25 % kokonaisajasta, joten suurin osa ajasta käytetään 85 % vakiovalotasoa.

Kierreputkihalli koostuu neljästä yleisvalaistusryhmästä sekä silmämääräisen- ja lopputarkastuksen lisävalaistusryhmistä. Valaistusryhmät eivät tässä yhteydessä tarkoita välttämättä todellisia sähkönsyötön ryhmyksiä vaan ilmaisevat toiminnallisia kokonaisuuksia, kuitenkin vastaavaan ryhmittelyyn tulisi pyrkiä. Näistä tarkastuspisteiden valaistusta tulisi ohjata läsnäolotunnistin-himmennys yhdistelmällä, koska työalueiden käyttö ei ole kokoaikaista. Lisäksi laskuissa huomioidaan kulkuvalokäyttö valaistusryhmille seinän vieressä normaalin työajan ulkopuolella, mikä tarkoittaa kahden tunnin lisäystä käyttöaikaan.

Kelahalli jaetaan viiteen kokonaisuuteen; varatyöpisteet, esikäsittely, putkikoneet, varastotila ja käytävä. Esikäsittelyn ja putkikoneiden valaistus toimivat yhtäaikaaisesti. Himmennyskäyttöä sovelletaan vain varastotilan ja käytävän valaistukseen. Käytävä-alue käsittää kelahallin alkaen putkikoneilta ja päättyen varusteluhallin puoleiseen päätyyn. Varastotila tarkoittaa varusteluhallin puoleisessa päädyssä olevaa varastohyllyaluetta, jossa läsnäolo ei ole jatkuvaa. Varatyöpisteiden käyttö on jaksettu kymmeneen päivään kuukaudessa normaalina työaikana.

Varusteluhallin valaistus on kolmessa kokonaisuudessa: varastotila, yleisvalaistus ja työaluevalaistus. Käytännössä yleisvalaistuksen ja työaluevalaistuksen käyttö on kokoaikaista, joten himmennyskäyttö ei ole mahdollista työalueilla. Varastotilassa voidaan käyttää valittua 50 % himmennystasoa, kun tilassa ei ole toimintaa.

Kuviossa 17 on neljä eri tulosta koko valaistuksen energiankulutukselle, sisältäen siis valonlähteet, liitäntälaitteet ja tehohäviöt. Tuloksissa erottava tekijä on käyttöaika, kun tuotanto on esimerkiksi yhdessä tai kahdessa vuorossa. Laskelmassa on huomioitu valonlähteiden vaihtoväli, mikä on noin 50 000 tuntia. Valonlähteiden vaihto näkyy energiankulutuksen putoamisena. Yksityiskohtaisemmat tulokset löytyvät liitteestä 6.



KUVIO 17. LED-valaistuksen vuosittainen energiankulutus eri tuotantotilanteissa

Nykyisen tuotannon kaltaisesta laskelmasta kolmessa vuorossa ovat varusteluhalli ja kelahallin käytävän puoleinen osa. Muu tuotantolaitos on yhdessä vuorossa. Kolmivuorotyössä valonlähteiden vaihtoväli ajoittuu noin 8 vuoteen, kun taas yhdessä vuorossa noin 24 vuoteen.

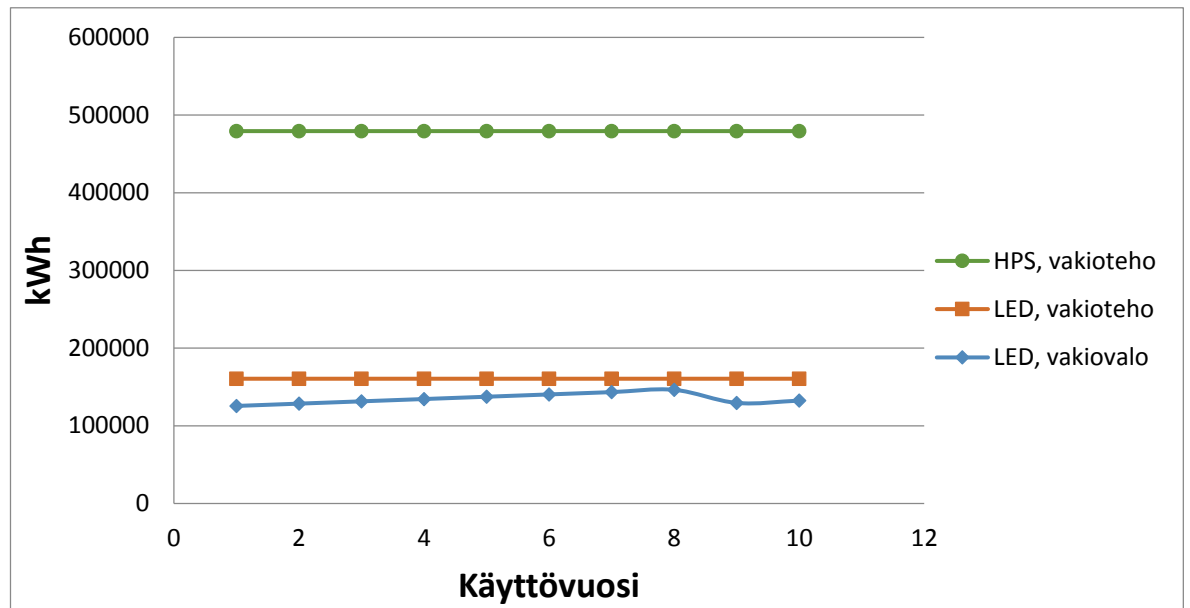
Vakiovalo-ohjauksen vaikutus energiankulutukseen käy ilmi kuviosta 18. Siinä on myös havainnollistettu LED-valaistuksen pienempi energiankulutus suhteessa vanhaan valaistukseen. Havaitaan, että vakiovalo-ohjaus ei tuo merkittäviä energiansäästöjä

suhteessa normaaliin käyttöön, jossa valonlähteitä syötetään valmistajan ilmoittamalla nimellisteholla. Lisäksi vakiovalokäytössä valaisimen teho ylittää käyttöiän lopussa nimellisarvon, mikä on mahdollista liitäntälaitteelle ja valonlähteelle sallituissa virran ja jännitteen säätörajoissa. Valaisimen osien elinikä lyhenee, kun lämpökuorma kasvaa nimellistehon ylityksen vaikutuksesta. Tämä voi olla kriittistä etenkin liitäntälaitteen herkälle elektroniikalle, siksi valonlähteen vaihtoväli tulisi olla sellainen, ettei nimellistehon ylittävä käyttöjakso ole pitkä. Tässä ratkaisussa käytettävässä Philipsin liitäntälaitteessa elinikä on määritetty 100 000 tuntiin maksimissaan 60 °C käyttöympäristössä, joten lämpenemisen aiheuttamaa haittaa voidaan pitää vähäisenä.

Vanhan valaisimen suuri energiankulutus selittyy kaksinkertaisella lampputeholla LED-valaisimeen verrattuna. Lisäksi vanhan valaisimen tehohäviöt virranrajoittimessa ovat suuremmat. Laskelmassa on oletettu näiden häviöiden olevan noin 90 W valaisinta kohden, todelliset arvot tulisi selvittää mittaamalla. Kuristin häviöiden osuutta voidaan pitää varsin merkittävänä, koska 90 W häviöt vastaavat lähes 20 % lisäystä HPS-valaisimen kulutukseen.

TAULUKKO 13. Energiankulutuksessa saatavat säästöt LED-valaisimella

Energiankulutus (kWh/vuosi)	1.vuoro	2.vuoro	3.vuoro
HPS	310086	558155	744206
LED ka.	79306	155280	227929
Säästö	230780	402875	516277
Säästö (€/vuosi)	23 078,00 €	40 287,45 €	51 627,69 €



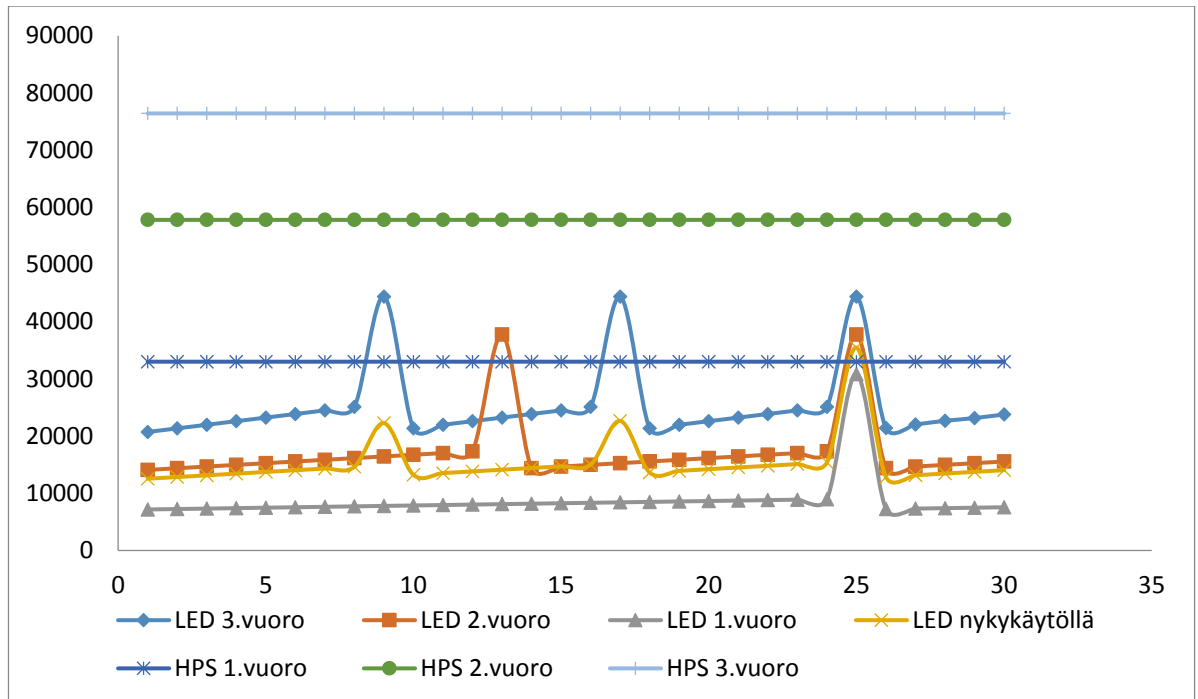
KUVIO 18. Valaistuksen vuosittainen energiankulutus LED- ja HPS-valaistuksella eri käyttötavoilla

6.3 LED-valaistuksen käyttökustannukset

LED-valaistusjärjestelmän käyttökustannukset ovat suurimmaksi osaksi energiakustannuksia. Huoltoa ei yleisesti pidetä kovin merkittävänä kustannusten aiheuttajana LED-valonlähteiden pitkästä käyttöiästä johtuen. Huolto koostuu sekä valonlähteiden vaihdosta että määräaikaista huoltotoimenpiteistä. Kuitenkin valittu valaisin vaikuttaa merkittävästi syntyviin huoltokustannuksiin, riippuen siitä voidaanko valonlähteitä vaihtaa vai pitääkö koko valaisin uusia. Nykyisillä markkinahinnoilla on suositeltavampaa pyrkiä valitsemaan valaisin, joka on huoltovarma ja pienin kustannuksin uusittavissa.

Philipsin valaisimessa käytettävä valonlähde on Fortimo LED Line 1ft 2000lm 840 1R HV2, joita siinä on 16 kappaletta. Yksittäisen valonlähteen hinta on noin 8 €/kpl, eli yhden

valaisimen uusiminen maksaa noin 128 € ilman työn hintaa, mikä on huomattavasti vähemmän kuin uuden valaisimen hankintahinta. Kuviossa 19 on esitetty LED-valaistusjärjestelmän käyttökustannukset ajan funktiona, siinä on siis energiakustannukset korjattuna huoltokustannuksilla. Energianhintana on käytetty 0,1 €/kWh, mikä vastaa tämän hetken markkinahintaa teollisuuskäytössä. Käyttökulut on laskettu liitteessä 6.



KUVIO 19. Valaistuksen vuosittainen käyttökustannus LED- ja HPS-valaistuksella eri tuotantotilanteissa (€/vuosi)

6.4 LED-valaistuksen takaisinmaksuaika

LED-valaistusjärjestelmän elinkaarikustannuksiin vaikuttavat alkuinvestoinnin hinta, energian vuosikustannukset ja huoltokustannukset. Alkuinvestointi koostuu suurimmaksi osaksi LED-valonlähteiden hankinnasta, jonka lisäksi tulee myös muutoksesta aiheutuvat

kustannukset kuten asennustyökustannukset. Energiakustannukseen vaikuttavat sekä energianhinta että energiankulutus.

Takaisinmaksuaika voidaan määrittää, kun lasketaan se aika milloin kokonaiskustannukset ovat yhtäsuuret:

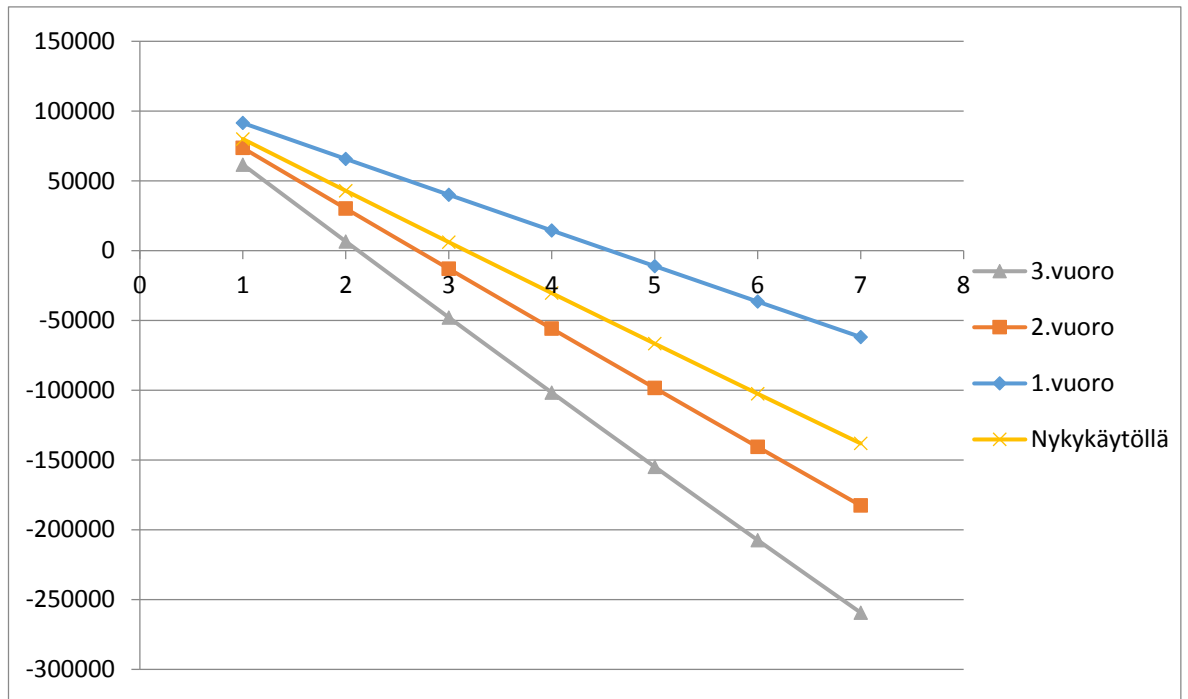
$$LED_{investointi}(\text{€}) + LED_{kulut}(\text{€/vuosi}) * aika = HPS_{investointi}(\text{€}) + HPS_{kulut}(\text{€/vuosi}) * aika \quad (16)$$

$$Takaisinmaksuaika(\text{vuosi}) = \frac{LED_{investointi}(\text{€}) - HPS_{investointi}(\text{€})}{HPS_{vuosikulut}(\text{€/vuosi}) - LED_{vuosikulut}(\text{€/vuosi})} \quad (17)$$

Takaisinmaksuaika on siis LED- ja HPS-valaistuksen investointien erotus ja sen suhde energian vuosikustannusten erotukseen.

HPS-järjestelmän investointi on periaatteessa vain uusien purkauslamppujen hinta kertaa lamppujen määrä. Vuosikustannukset pitävät sisällään vuosihuollon ja sähkön vuosikustannukset. LED-valaistukselle huoltokustannukset voidaan jättää huomiotta, kun laskenta ajanjaksona käytetään LED-valonlähteen vaihdon aikaväliä. Tällöin vuosihuoltoon liittyvät kustannukset ovat vain kesän huoltoseisakin aikana tehtävät valaisimien puhdistukset, joka lasketaan tuntihintana valaisinta kohden, ne syntyvät sekä uudessa että vanhassa valaistuksessa. Kuitenkin HPS-valaistuksen tapauksessa on otettava huomioon vuosittaiset muut huoltokustannukset, esim. kuristimien ja lampun kantojen vaihto. Lisäksi LED-valonlähteiden vaihtovälin aikana HPS-valaistus joudutaan uusimaan useaan kertaan, tässä määräävä tekijä on lampun elinikä. Vanhan valaistuksen uusimiskustannukset huomioidaan tässä tapauksessa huoltokuluissa, koska vanhan valaistuksen tarkkaa käyttöikää ei tiedetä, mutta vuosittainen huoltokustannus tiedetään. Tästä syystä myös HPS-lamppujen investointikulut jätetään huomioimatta, ne arvioidaan käyttökokemusten perusteella huoltokuluissa.

Edellä esitetyillä huomioilla valaistuksen takaisinmaksuaika lasketaan niissä tapauksissa, mitkä on esitetty energiankulutus arviossa. Laskelma on toteutettu taulukkolaskentaohjelmalla erotusmenetelmällä, eli takaisinmaksuaika on siis nollassa leikkauspiste.

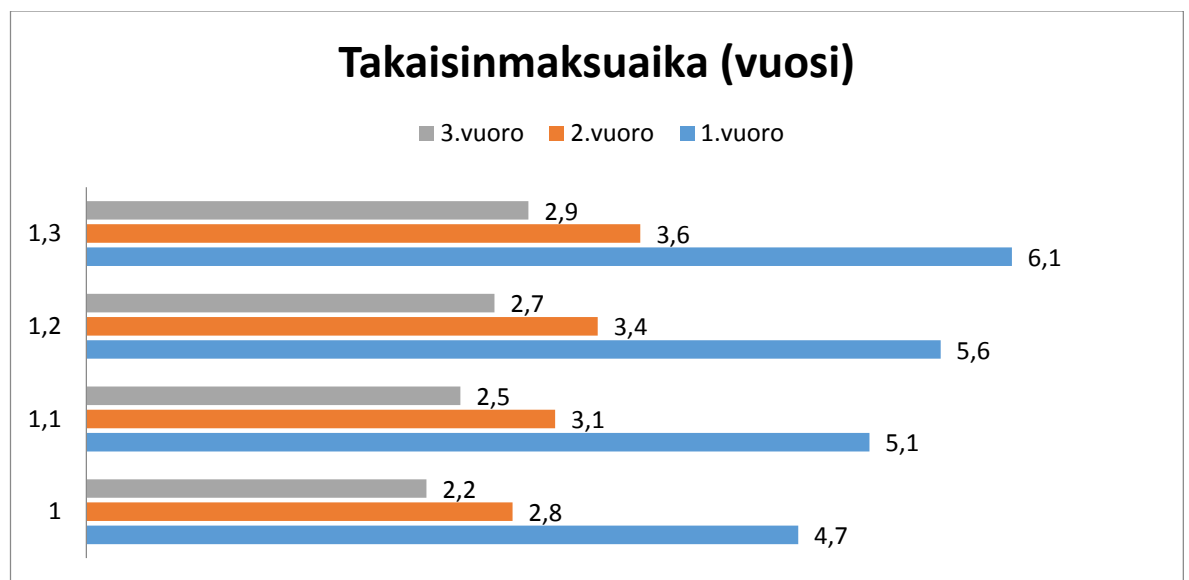


KUVIO 20. Alkuinvestoinnin ja energiansäästöjen erotus käyttöajan kertymän suhteen (takaisinmaksuaika luettavissa nolla-tason leikkauspisteestä)

Vaikka hankintakustannuksia ei tämän tarkemmin voida esittää, voidaan päätellä että alkuinvestoinnin hinta vaikuttaa merkittävästi takaisinmaksu-aikaan. Huomattava ero syntyy myös käyttöajan muutoksesta. Käyttökuluissa on vertailtu HPS-valaistuksen suhdetta LED-valaistukseen käyttöajan ollessa yhtäsuuri.

Kuvion 20 takaisinmaksuajan arviossa ei ole huomioitu valaistuksen muutoksesta aiheutuvia lisäkustannuksia. Toteutuksen yhteydessä urakointi kannattaa kilpailuttaa,

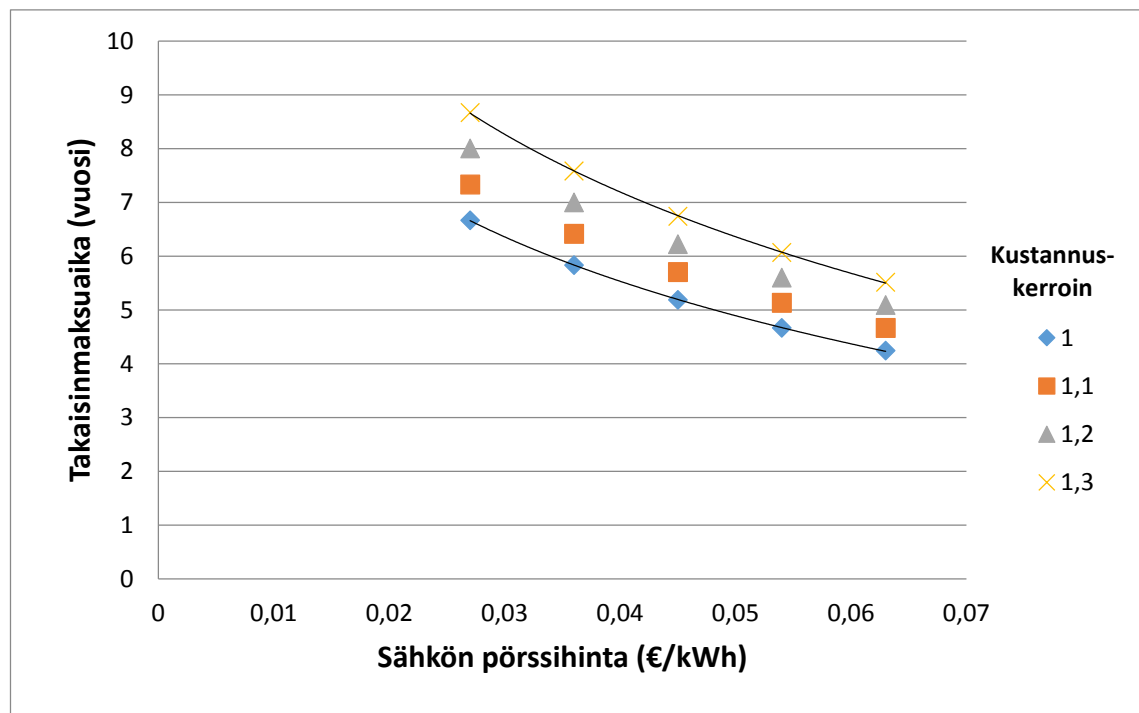
tällöin saadaan selville asennuskustannukset. Kuviossa 21 on määritetty takaisinmaksuaika eri lisäkustannuskertoimilla. Kerroin 1 vastaa pelkkää valaisinhankintaa, jolloin asennuskustannukset ovat nolla euroa. Kasvava kustannuskerroin ilmaisee lisäkustannuksen aiheuttaman kasvuprosentin. Esimerkiksi kerroimella 1,2 lisäkustannukset ovat 20 % valaisinhankintahinnasta. Yksinkertaisesti valitulla kustannuskertoimella kerrotaan valaisinhankintahinta. Näin siis voidaan toteutusta harkittaessa arvioida sen kannattavuutta, kun tiedetään asennuskustannukset saatujen tarjousten perusteella. 30 % lisäkustannukset vastaa noin 36 000 € lisäystä investointihintaan.



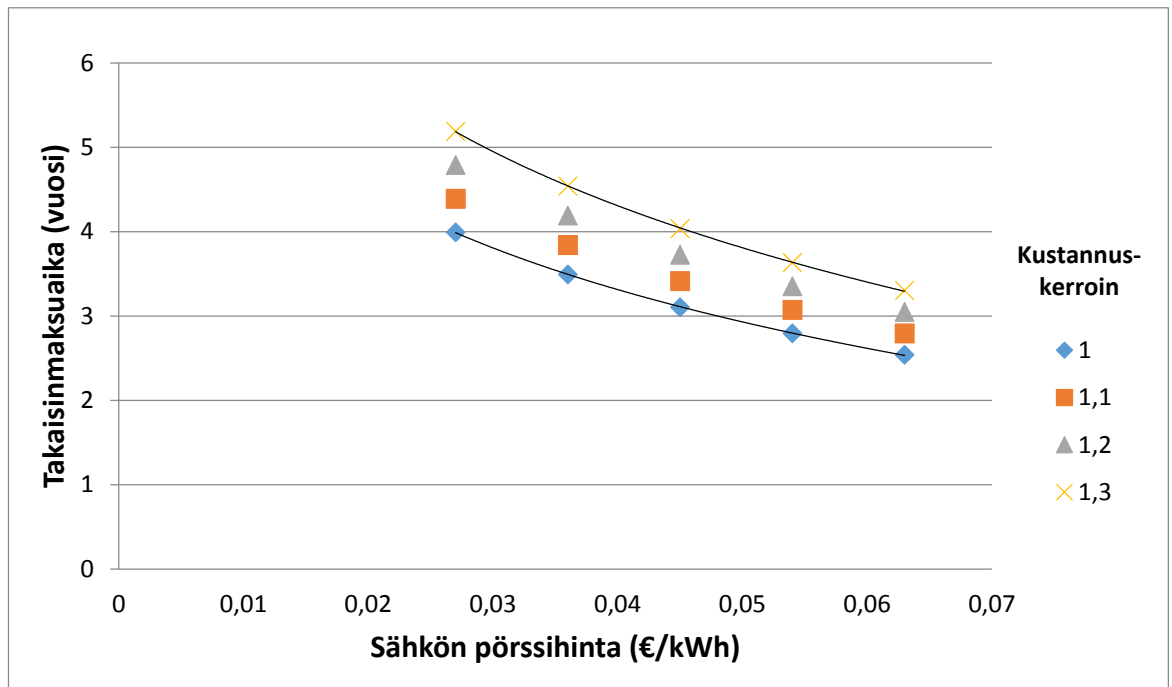
KUVIO 21. Takaisinmaksuaika asennus- ja muutuskustannusten lisäyksellä eri tuotantotilanteissa

Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa myös energianhinta. Laskutetusta sähkömaksusta energian osuus on noin 60 %. Edellisissä laskelmissa energianhintana on käytetty huhtikuussa 2014 maksettua hintaa, joka oli noin 0,054 €/kWh. Teho- ja siirtomaksu mukaan laskettuna yhteishinta oli keväällä 2014 keskimäärin noin 0,1 €/kWh. Maaliskuussa 2015 sähkön

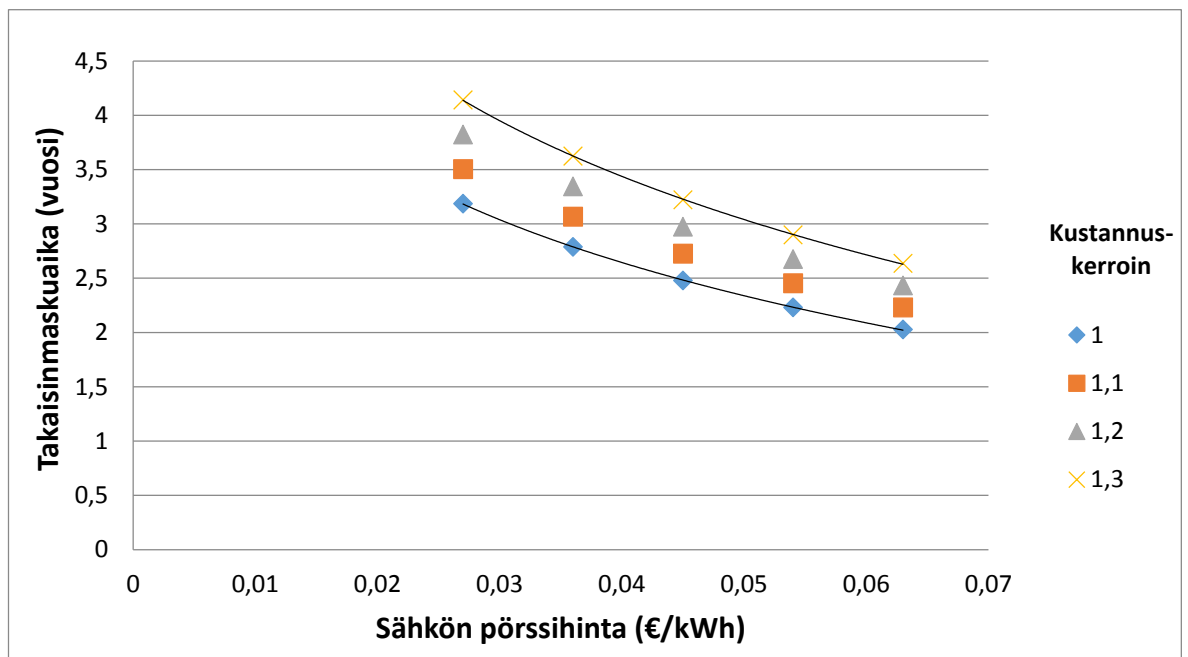
pörssihinta on huomattavasti alhaisempi (noin 0,03 €/kWh), joten on tarpeellista arvioida kannattavuutta myös suhteessa energianhintaan. Koska energianhinta saattaa vaihdella paljonkin eri kuukausien välillä, tarkan arvion tekeminen on mahdotonta. Hetkellisen pörssihinnan vaihtelu ei ole merkityksellistä energian kuukausittaisen laskutuksen kannalta, siksi kuvioissa 22, 23 ja 24 esitetty energianhinta tarkoittaa keskimääräistä hintaa. Tällöin voidaan sen vaikutuksia takaisinmaksuaikaan arvioida differentiaalisesti, mikä käytännössä tarkoittaa matriisin muodostamista valituista muuttujista. Tässä tapauksessa muuttujat ovat energianhinta ja kuviossa 21 esitetty kustannuskerroin. Sähkön kokonaishinnan vaihteluväli valitaan välille 70 – 110 %, mikä vastaa energianhinnassa 0,027 – 0,063 €/kWh. Yhteisvaikutus takaisinmaksuaikaan voidaan laskea yhtälön 17 mukaisesti, eli kustannuskerroin jaetaan energianhinnan muutoksella. Saadulla kertoimella kerrotaan takaisinmaksuajan alkuarvo, joka saadaan kuvioista 21 kertoimella 1. Matriisiryhmä ja tarkemmat tulokset eri tuotantotilanteissa löytyvät liitteestä 7.



KUVIO 22. Takaisinmaksuaika, kun tuotanto on yhdessä vuorossa



KUVIO 23. Takaisinmaksuaika, kun tuotanto on kahdessa vuorossa



KUVIO 24. Takaisinmaksuaika, kun tuotanto on kolmessa vuorossa

Kuvioiden 22–24 pohjalta voidaan arvioida valaistushankinnan kannattavuutta vallitsevassa markkinatilanteessa. Laskelmat on tehty LED-valaistuksen keskimääräisellä teholla käyttöään aikana, joten todellisuudessa takaisinmaksuaika on hieman lyhyempi. Virheen suuruus ei ole kovin suuri. Voidaan kuitenkin todeta, ettei valaistushankinta ole kovin kannattavaa tuotannon ollessa yhdessä vuorossa. Poikkeuksena tilanne, jossa sähkön hinta on nykyistä merkittävästi suurempi sekä asennus- ja muutostyökustannukset pysyvät alhaisina. Kahden ja kolmen vuoron tapauksessa valaistushankinta on suositeltavaa, koska takaisinmaksuaika pysyy alle viiden vuoden lisäkustannusten määrämällä alueella riippumatta sähkön hinnan suuruudesta.

Tässä laskelmassa ei ole otettu huomioon valaistuksenohjausjärjestelmän lepokulutusta tai turvavalaistuksen latausta. Tähän ratkaisuun turvavalaistus ei sisälly, eikä lepokulutusta tarvitse ottaa huomioon, kun käytön aikana valonlähteet ovat aina päällä eikä valmiustilassa. Kyseessä oleva valinta johtuu Philipsin lampulle määritetystä maksimissaan kahdeksasta sytytyskerrasta vuorokaudessa, joten ne eivät sovellu hetkelliseen sammutus-sytytyskäyttöön.

7 PÄÄTELMÄT

LED-valaistusta suunniteltaessa pyrkimyksenä on energiansäästö ja sitä kautta käyttökulujen pienentäminen. Taloudellisen kannattavuuden mittarina käytetään takaisinmaksuaikaa. Valaistushankinnoissa sen raja-arvona käytetään yleisesti viittä vuotta, mitä lyhyempi sitä parempi. Tästä näkökulmasta LED-valaistuksen hankinta on Oulaisten tehtaalla jo nykyisin kannattavaa. Varsinkin, kun tulevaisuudessa tuotanto siirtynee kahteen vuoroon koko tehtaalla, jolloin valaistushankinnan kannattavuus paranee.

LED-teknologia kehittyy kuitenkin vauhdilla, joten on oletettavaa että niiden tehokkuus tulee paranemaan entisestään, toisaalta uusi teknologia maksaa enemmän. Nykyisen LED-teknologian, joka on tulossa tiensä päähän ainakin piirilevyjen lämmönsiirtokyvyn kannalta, hinnat tulevat laskemaan nykyisestä. Teknisestä näkökulmasta LED-valaistuksen hankinta Oulaisten tehtaalla on mahdollista, eikä tuotantotilan lämpötilan muutokset vaikuttane merkittävästi valonlähteen elinikään, kun valitaan sopiva valaistuksen ohjaustapa.

Eri ohjaustavoista suositeltavin on vakiovalo-ohjaus, se pitää valaistuksen tasaisena koko käyttöiän, mikä on etenkin nykyiseen valaistukseen verrattuna merkittävä parannus. Lisäksi voidaan harkita DALI-ohjauksen toteuttamista siinä tapauksessa, kun halutaan kytkeä valaistus muuhun kiinteistöautomaatiojärjestelmään. Tällaisia ei tehtaalla kuitenkaan ole nykyisin, joten mikäli se ei kuulu suunnitelmiin, ei DALI ole välttämätön. Ohjausjärjestelmästä ei ole syytä tehdä monimutkaista, koska tuotantotilan käyttö on varsin ennustettavaa eikä se ole alttiina merkittäville muutoksille. Näin ollen yksinkertainen ohjausjärjestelmä tuo kustannussäästöjä niin asennukseen kuin käyttöönkin. Tähän tarkoitukseen soveltuu itsenäinen tai langaton järjestelmä. Valitaan mikä tahansa ohjaustapa, se tulee sisältämään käyttöönottovaiheessa jonkin verran ohjelmointia, jossa vähintäänkin esimääritetään ylläpidettävä valaistusvoimakkuustaso eli valaisimen tuottama

valovirta. Silloin olisi syytä konsultoida alan asiantuntijaa ellei sellaista yrityksen henkilöstöstä löydy. Muuten asennukset on mahdollista toteuttaa oman henkilöstön voimin mikäli niin halutaan.

Toteutettaessa olisi syytä tehdä tarkka huoltosuunnitelma, kun tiedetään asennus- ja ohjaustapa sekä käyttöön liittyvät tekijät, kuten tuotantotilanne ja tilauskannan odotus. Asennuksen yhteydessä tehonkulutus mittarointia olisi myös tarkennettava vähintään ryhmäkohtaiseksi, näin voitaisiin seurata kulutusta tarkemmin ja huoltosuunnitelman seuraaminen helpottuu, kun tiedetään tarkat kulutuslukemat ja niiden ennusteet suhteessa valonlähteen vaihtoväliin. Muita muutoksia aiheutuu tietysti kaapeli ja johdin asennuksiin, mutta myös loistehon ja yliaaltojen kompensointiin.

Kompensoinnin muutoksia voidaan pitää edellä mainituista muutostekijöistä merkittävimpana, koska ne vaativat uudet laitehankinnat. Tyypillisesti nykyaikaisiin kompensointilaitteistoihin sisältyy tehon ja sen muuttujien mittausta, mikä pienentää osaltaan muutuskustannuksia. Valaistusasennuksen aiheuttamista muutoksista on hankala tehdä taloudellista arviota, käytännössä todellinen hinta määräytyy vasta toteutuksen yhteydessä urakkatarjousten pohjalta. Mainitun puutteen johdosta muutostyökustannukset on arvioitu suhteellisesti, jolloin SSAB pystyy ennen hankintapäätöstä arvioimaan todellista kannattavuutta.

Investoinnin lainanhoito- ja korkokuluja ei ole huomioitu taloudellisessa arviossa, en kokenut sitä kovin merkityksellisenä nykyisen korkotason ollessa matala. SSAB:n rahoitusratkaisut eivät ole toteutuksen kannalta kovin oleellisia, ainoastaan yrityksen taholta tullut investointikatto saattaisi rajoittaa toteutusta. Valaistussuunnitelman pohjalta tehtiin alustava budjettitarjouspyyntö tukkuliikkeelle valaisinhankinnasta, jonka pohjalta arvioitiin investoinnin suuruus, todettiin valaistushankinnan pysyvän määritellyissä rajoissa. Tiedot ovat luottamuksellisia, joten tarkempia tietoja ei siksi kerrota tässä julkisessa esityksessä

Sähkön hinta on merkittävä osatekijä hankinnan takaisinmaksuajassa. Sen ennustettavuudesta on kuitenkin mahdoton tehdä arviota yksinkertaistetusti, toisaalta se ei ole tarpeen, jos takaisinmaksuaika on lyhyt. LED-valaistuksella tehon kulutus yli puolittuu aiemmasta, joten energianhinnan merkitys tasoittuu. Mitä vähemmän on kulutusta, sitä vähemmän on tappioita esimerkiksi energianhinnan noususta. Takaisinmaksuajan voidaan siis todeta lyhenevän energianhinnan noustessa. Käyttäjän kannalta energianhinnan nousu ei tietenkään ole suotavaa, vaikka se tekisi jotkin hankinnat kannattavammiksi.

Hankintapäätöstä tehtäessä voidaan käyttää apuna kuvioita 22 – 24, joissa esitetään takaisinmaksuajan riippuvuus energianhinnasta ja hankinnan kokonaishinnasta. On myös huomattava, että tässä työssä tehty takaisinmaksuajan arvio on yksilöllinen ja vain tähän kohteeseen soveltuva. Tätä työtä voi käyttää pohjana myös muiden kohteiden LED-valaistushankintoja arvioidessa, kuitenkin jokainen kohde vaatii aina siihen kohteeseen soveltuvan valaistussuunnitelman. Tässä työssä ei ole laskettu muihin kohteisiin vertailukelpoista valaistuksen LENI-lukua, koska siihen tulisi huomioida myös tämän työn ulkopuolelle rajattu valaistus.

On myös huomattava, että tässä työssä tehty valaistussuunnitelma laskee valaistusvoimakkuustasoa nykyisestä, joissakin kohteissa merkittävästi. Työntekijästä saattaa tällöin tuntua, että valaistus olisi heikompi kuin ennen. Muutokseen sopeutuminen on yksilöllistä, kuten on valaistuskokemuskin. Suunniteltu valaistus täyttää kuitenkin standardissa määritetyt arvot, osittain jopa ylittää. Erityisesti on kiinnitetty huomiota työpisteiden valaistusvaatimusten täyttämiseksi. Yksilöllisistä tarpeista riippuen, valaistusta voidaan lisätä työpisteillä vaikuttamatta valaistushankinnan kannattavuuteen. LED-valaistus myös parantaa tuotantotilan väriominaisuuksia, jolloin värit toistuvat luonnollisemmin kuin nykyisessä punertavassa valaistusvaikutelmassa. Lisäksi valaistusvoimakkuus on lähes vakio koko käyttäiän ja koko tilan valaistuksessa on pyritty tasaisuuteen, joten valaistuksen epätasaisuus ei häiritse havaitsijaa.

Kokonaisuudessaan tämä opinnäytetyö aiheena oli laajempi ja haastavampi kuin lähtökohtaisesti odotin, tästä johtuen työn alussa tehty suunnitelma huomioitavista asioista oli osin puutteellinen. Työn aikana pääsin tutustumaan eri valaistusratkaisuihin teollisuusympäristössä sekä vanhaan purkauslampuilla toteutettuun että uuteen LEDeillä toteutettuun. Työn aikana tuli paljon uusia asioita ilmi, joita en osannut odottaa. Yhden asian sai ratkaistua niin uusi tuli esille, pahimmillaan tämä johti alkuperäisen valaistussuunnitelman korjauksiin. Tästä johtuen koen työn kehittäneen erityisesti omaa ammattitaitoa asioiden havainnoimisessa ja niiden valmistelussa, unohtamatta kehittyntä ymmärrystä valaistustekniikasta tai sähkötekniikasta yleensä. Monet koulussa käsitellyt ja opitut asiat hahmottuivat vasta ymmärryksen tasolle työn edetessä. Valaistussuunnitteluun en saanut konsultaatiota, joka olisi tietysti ollut työn etenemisen kannalta suotavaa. Toisaalta koen, että vapaus olla luova antoi mahdollisuuden tutkia aihetta tarkemmin. Tästä johtuen työ rakentuu osittain oman ymmärryksen kehittymistä kuvaten, valitun rakenteen toivon helpottavan myös valaistustekniikasta tietämätöntä lukijaa. Työssä sain korvaamatonta apua Oulaisten tehtaan sähkökäytönjohtajalta Hannu Häkkilältä mittauksissa ja tehtaan lähtötietojen selvittelyssä, kuten valaistuksen ongelmakohdista.

LÄHTEET

ABB Oy. Kompensointiparistot. Www-dokumentti. Saatavissa:
[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT209.nsf/VerityDisplay/DEE904E4BD8A5EF8C1256FCE003F09BA/\\$File/1SCC011008C1801.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT209.nsf/VerityDisplay/DEE904E4BD8A5EF8C1256FCE003F09BA/$File/1SCC011008C1801.pdf). Luettu 15.3.2015.

Alppilux. 2015. Valaistusopas. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.alppilux.fi/fi/direktiivit-ja-maaraykset/direktiivit-ja-maaraykset>. Luettu 25.1.15

Arrillaga, Jos. Watson, Neville R. 2003. Power system harmonics. Second edition. Chichester: John Wiley & Sons.

Aura Light Finland. 2012. LumiDas-SL. Www-dokumentti. Saatavissa:
http://www.auralight.fi/wp-content/uploads/2012/10/SuperHighBay_fi.pdf. Luettu 4.3.2015.

CIE 97. Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems. 2005. Wien: COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE.

Dowling, K. 2008. Lumen Maintenance IESNA LM 80 2008. SSL Committee. Www-dokumentti. Saatavissa: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lm80-webcast_10-30-08.pdf. Luettu 4.3.2015.

Ecotale. 2015. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ecotale.fi/tuotteet/hbl-200w-cw/>. Luettu 4.3.2015.

Goppi, Alan. 2009. Understanding power factor and input current harmonics in switched mode power supplies. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.ospmag.com/files/pdf/whitepaper/Power-Factor-and-Input.pdf>. Luettu: 16.3.2015

Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips). 2015. Fortimo LED line 1 ft 2000 lm 1R HV1. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.lighting.philips.co.uk/subsites/oem/commercial/releases/2013/07/fortimo-led-line-high-flux.wpd>. Luettu 4.3.2015

Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips). 2015. Fortimo LED line 1 ft 2000 lm 1R HV2. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.lighting.philips.co.uk/subsites/oem/commercial/releases/2013/07/line-gen2.wpd>. Luettu 4.3.2015

Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips). 2015. GentleSpace gen2. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lighting.philips.com/main/prof/indoor-luminaires/high-bay-and-low-bay/high-bay/gentlespace-gen2.html>. Luettu 4.3.2015

Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips). 2015. Xitanium 150W 0.2-0.7A 300V TD 230V iXt. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lighting.philips.co.uk/subsites/oem/download/xitanium/Xitanium-150W-0.2-0.7A-300V-TD-230V-iXt.pdf>. Luettu 4.3.2015

SFS-EN 15193. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. 2008. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. 2010. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SSAB Europe Oy. 2014. Oulainen Works presentation.

Sähkötieto ry. 2008. ST kortti 57.52. LED-valaistusjärjestelmät.

Sähkötieto ry. 2013. ST kortti 58.04. Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen.

Sähkötieto ry. 2014. ST kortti 58.07. Valaistuksen laadun arviointi ja mittaus.

Sähkötieto ry. 2014. ST kortti 52.15. Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa.

Tampereen Sähköverkko Oy. 2012. Loistehon hinnoittelu ja kompensointi. Www-dokumentti. Saatavissa: https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittyminen/TSV-urakoitsijalle/Documents/Loistehon%20hinnoittelu-%20ja%20kompensointiohje%20TSV_01-12-2012_internet.pdf. Luettu: 16.3.2015

Ympäristöministeriön Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon-tarpeen laskenta. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>. Luettu 4.3.2015

Nykyisen valaistuksen mallinnuksen valaistustekniset tulokset kierreputkihallista

KierrePutki

11.2.2015

DIALux

Kierreputkihalli / Kierreputkihalli vanha / Pintojen tuloksien yhteenveto

Kierreputkihalli vanha / Pintojen tuloksien yhteenveto



Yleistä

Pinta	Tulos	Keskiarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.
3 Tarkastus vanha	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx] Korkeuspoikkeama: 1.000 m	872	477	1570	0.547	0.304
	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx] Korkeuspoikkeama: 1.000 m	871	477	1569	0.548	0.304
	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	869	548	1412	0.631	0.388
	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	869	548	1412	0.631	0.388
	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	871	530	1403	0.608	0.378
	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	871	530	1403	0.608	0.378

Häikäisyn arviointi

Pinta	Tulos	Min.	Maks.	Raja-arvo
3 Tarkastus vanha	UGR	<10	22	<10

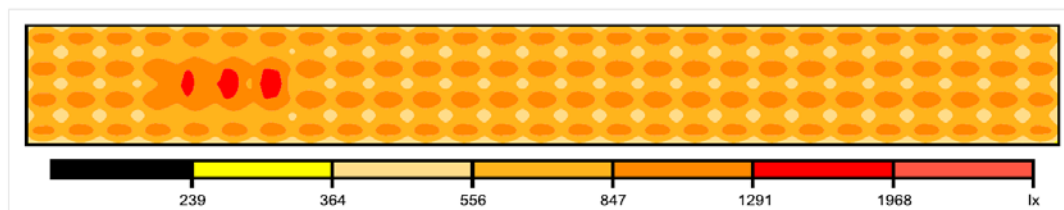
KierrePutki

11.2.2015

Kierreputkihalli / Kierreputkihalli vanha / Kerros 1 / Kierreputkihalli / Käyttötaso 2 / Väärävärit/Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

DIALux

Käyttötaso 2 / Väärävärit/Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)



Mittakaava: 1 : 1000

Kohtisuora valaistusvoimakkuus (Pinta)
Keskiarvo (todellinen): 754 lx, Min.: 268 lx, Maks.: 1493 lx, Min./keskim.: 0.355, Min./ maks.: 0.180,

Kierreputkihalli / Tilan yhteenveto

Tilan korkeus: 9.300 m, Käyttötason korkeus: 0.800 m, Reuna-alue: 0.000 m
Heijastussuhteet: Katto 70.0%, Seinät 50.0%, Lattia 20.0%, Alenemakerroin: 0.62

Käyttötaso

Pinta	Tulos	Keskiarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.
1 Käyttötaso 2	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	754 (300)	268	1493	0.355	0.180

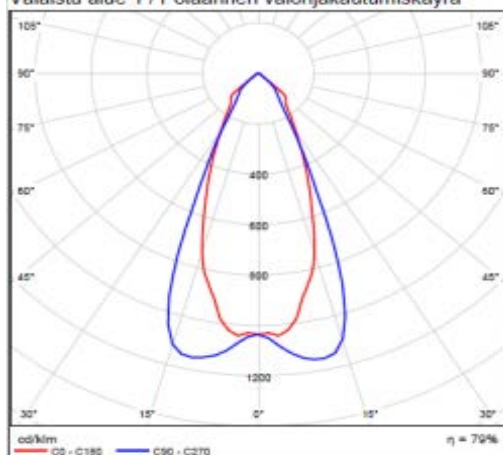
Nykyisen valaistuksen mallinnuksessa käytetty valaisin

I-Valo 6243 V2 ST Super 1xNAV-T 400 SUPER 4Y / Valaisintietoarkki (1xNAV-T 400 SUPER 4Y)



Käyttötehoaste: 79,05%
Lampun valovirta: 56500 lm
Valaisimen valovirta: 44663 lm
Teho: 450,0 W
Valoteho: 99,3 lm/W

Valaistu alue 1 / Polaarinen valonjakautumiskäyrä



Ta 60°C
IP64
Paino, kg 18,0

Rakenne
- Suljettu ja painekoestettu, yhdistelmäsuodattimella varustettu valaisin
- Runko ja valaisinosa epoksoitua alumiinia, väri harmaa (RAL 7040)
- Suojalasi karkaistua lasia
- Valaisimen pölykehä ehkäisee lasin ulkopinnan likaantumista ja toimii erinomaisena häikäisy-suojana. Pölykehä siihen kiinnitettynä lasineen on helppo avata pikasalvoilla lampunvaihtoa varten
- Kompensoitu

Asennus
- Valaisin toimitetaan valaisinkohtaisine kiinnityskiskoineen, joka kiinnitetään asennusalustaan
- Valaisinosa työnnetään kiskoon ja lukitaan palkoilleen.
Kiinnityskiskossa on myös reiät eri kiinnikkeille

Kytkeäntä
- Kytkeäntärasia -o- 5 x 2,5 mm2 tai 1,5 m johto ja pistotulppa

Tarvikkeet
- Viirakiinnitys 6076
- Piiskakiinnitys 6078
- Vajerikiinnike 6079
- Seinä- ja palkkiikiinnike 6091

Lisätiedot
- Suurta mekaanista lujuutta vaativiin olosuhteisiin voidaan lasi korvata paksummalla 10 mm:n karkaistulla lasilla ja tarvittaessa vielä suojaverkolla, esim. hiekkapuhaltimotilat
- Tarvittaessa valaisimen lasinkehä voidaan varustaa PTFE-kalvoilla (teffon), jolloin suojalasin mahdollisesti rikkoutuessa lasinsirpaleet eivät pääse prosessiin, esim. elintarviketeollisuudessa
- Valaisin voidaan toimittaa pikasätyttimellä varustettuna, joka mahdollistaa kuumen purkaustampun välittömän jälleensytyttymisen

LED-valaisimien sijoitukset kierreputkihallin tarkastuspisteillä

KierrePutki

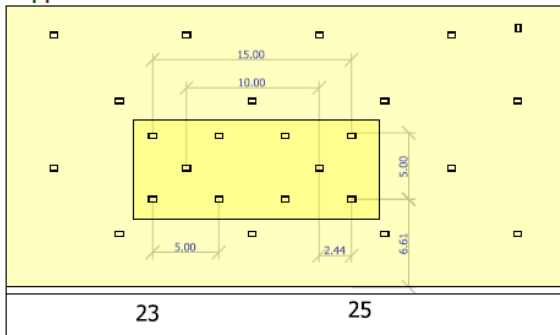
11.2.2015

DIALux

Kierreputkihalli uusi / Kierreputkihalli uusi / Näkymät

Kierreputkihalli uusi / Näkymät

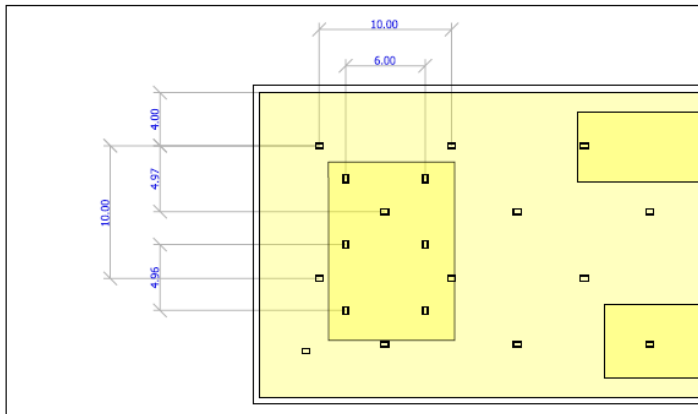
Lopputarkastus



Mittakaava: 1 : 500

Valaisinpositiot

Saumantarkastus valaistus



Mittakaava: 1 : 500

Valaisimien symmetriat

LED-valaistus mallinnuksen näkymät kierreputkihallissa



LED-valaistussuunnitelman tulokset kulkuvalokäytöstä kierreputkihallissa

KierrePutki

11.2.2015

DIALux

Kierreputkihalli uusi / Kierreputkihalli uusi / Kerros 1 / Tila 1 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464/Kulkukäyttö

Tila 1 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464/Kulkukäyttö



EN 12464-1

Pinta	Tulos	Keskiarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.	
1 Lopputarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	63 (50)	18	161	0.286	0.112	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	28 (50)	17	40	0.607	0.425	
	Mallinnus	0.45 (0.60)	0.22	0.96	/	/	
2 Rullaradat	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	88 (50)	18	180	0.205	0.100	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	30 (50)	17	40	0.567	0.425	
	Mallinnus	0.35 (0.60)	0.13	0.95	/	/	
3 Korjaushitsaus 2	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	130 (50)	80	180	0.615	0.444	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	37 (50)	23	41	0.622	0.561	
	Mallinnus	0.28 (0.60)	0.13	0.46	/	/	
4 Sauman tarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	82 (50)	18	217	0.220	0.083	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	32 (50)	17	57	0.531	0.298	
	Mallinnus	0.39 (0.60)	0.18	0.96	/	/	
5 Korjaushitsaus 1	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	136 (50)	83	180	0.610	0.461	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	36 (50)	23	41	0.639	0.561	
	Mallinnus	0.26 (0.60)	0.13	0.46	/	/	
6 Lopputarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	63 (50)	18	169	0.286	0.107	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	27 (50)	17	40	0.630	0.425	
	Mallinnus	0.44 (0.60)	0.19	0.96	/	/	
7 Silmäm.tarkastus	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	90 (300)	22	207	0.244	0.106	
	Ympäröivä alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	116 (200)	20	208	0.172	0.096
	Tausta-alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	92 (67)	29	204	0.315	0.142
8 Lopputarkastus	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	72 (300)	23	160	0.319	0.144	
	Ympäröivä alue 2	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	101 (200)	23	173	0.228	0.133
	Tausta-alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	94 (67)	29	204	0.309	0.142

LED-valaistussuunnitelman tulokset kierreputkihallin yleisvalaistuksesta

KierrePutki

11.2.2015

DIALux

Kierreputkihalli uusi / Kierreputkihalli uusi / Kerros 1 / Tila 1 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464/Käyttötaso vakio

Tila 1 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464/Käyttötaso vakio



EN 12464-1

Pinta	Tulos	Keskiarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.	
1 Lopputarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	381 (50)	334	401	0.877	0.833	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	121 (50)	86	136	0.711	0.632	
	Mallinnus	0.32 (0.60)	0.22	0.40	/	/	
2 Rullaradat	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	363 (50)	239	403	0.658	0.593	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	115 (50)	70	136	0.609	0.515	
	Mallinnus	0.32 (0.60)	0.20	0.44	/	/	
3 Korjaushitsaus 2	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	318 (50)	171	398	0.538	0.430	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	102 (50)	71	126	0.696	0.563	
	Mallinnus	0.32 (0.60)	0.20	0.51	/	/	
4 Sauman tarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	385 (50)	315	528	0.818	0.597	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	121 (50)	89	152	0.736	0.586	
	Mallinnus	0.31 (0.60)	0.23	0.40	/	/	
5 Korjaushitsaus 1	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	319 (50)	170	396	0.533	0.429	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	99 (50)	69	125	0.697	0.552	
	Mallinnus	0.31 (0.60)	0.20	0.51	/	/	
6 Lopputarkastus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	382 (50)	335	403	0.877	0.831	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	121 (50)	87	136	0.719	0.640	
	Mallinnus	0.32 (0.60)	0.22	0.40	/	/	
7 Silmäm.tarkastus	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	359 (300)	183	502	0.510	0.365	
	Ympäröivä alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	297 (200)	163	442	0.549	0.369
	Tausta-alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	320 (67)	157	463	0.491	0.339
8 Lopputarkastus	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	373 (300)	285	391	0.764	0.729	
	Ympäröivä alue 2	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	352 (200)	260	401	0.739	0.648
	Tausta-alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	318 (67)	157	463	0.494	0.339

LED-valaistussuunnitelman tulokset kierreputkihallista, kun koko valaistus on käytössä

KierrePutki

11.2.2015

DIALux

Kierreputkihalli uusi / Kierreputkihalli uusi / Kerros 1 / Tila 1 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464/Täysvalaistus

Tila 1 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464/Täysvalaistus

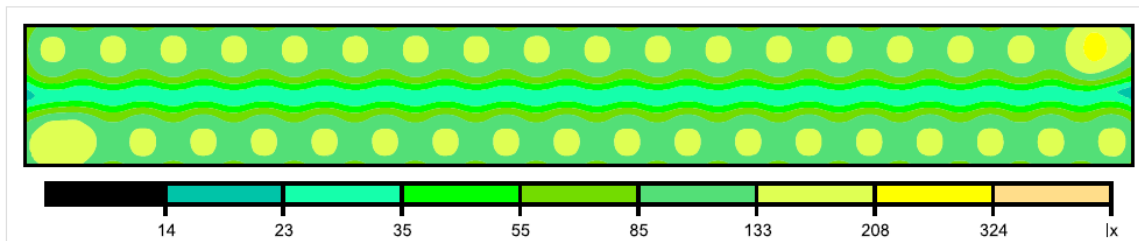


EN 12464-1

Pinta	Tulos	Keskiarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.	
1 Lopputarkastus	Horizontaali valaistusvoimakkuus [lx]	809 (50)	400	1200	0.494	0.333	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	212 (50)	127	316	0.599	0.402	
	Mallinnus	0.26 (0.60)	0.18	0.39	/	/	
2 Rullaradat	Horizontaali valaistusvoimakkuus [lx]	364 (50)	239	403	0.657	0.593	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	115 (50)	70	136	0.609	0.515	
	Mallinnus	0.32 (0.60)	0.20	0.44	/	/	
3 Korjaushitsaus 2	Horizontaali valaistusvoimakkuus [lx]	322 (50)	174	403	0.540	0.432	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	106 (50)	75	130	0.708	0.577	
	Mallinnus	0.33 (0.60)	0.21	0.52	/	/	
4 Sauman tarkastus	Horizontaali valaistusvoimakkuus [lx]	957 (50)	700	1166	0.731	0.600	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	227 (50)	174	275	0.767	0.633	
	Mallinnus	0.24 (0.60)	0.18	0.35	/	/	
5 Korjaushitsaus 1	Horizontaali valaistusvoimakkuus [lx]	324 (50)	174	404	0.537	0.431	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	104 (50)	71	130	0.683	0.546	
	Mallinnus	0.32 (0.60)	0.20	0.52	/	/	
6 Lopputarkastus	Horizontaali valaistusvoimakkuus [lx]	1062 (50)	842	1201	0.793	0.701	
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	246 (50)	184	319	0.748	0.577	
	Mallinnus	0.23 (0.60)	0.18	0.30	/	/	
7 Silmäm.tarkastus	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	669 (300)	254	1134	0.380	0.224	
	Ympäröivä alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	389 (200)	211	778	0.542	0.271
	Tausta-alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	364 (67)	177	1131	0.486	0.156
8 Lopputarkastus	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	712 (300)	304	1149	0.427	0.265	
	Ympäröivä alue 2	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	562 (200)	278	1138	0.495	0.244
	Tausta-alue 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	363 (67)	177	1017	0.488	0.174

LED-valaistussuunnitelman tulokset kierreputkihallin käyttötason valaistusvoimakkuudesta
väärväreinä, havainnollistaa valaistuksen tasaisuutta.

Käyttötaso 1 / Väärävärit/Kulkukäyttö/Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

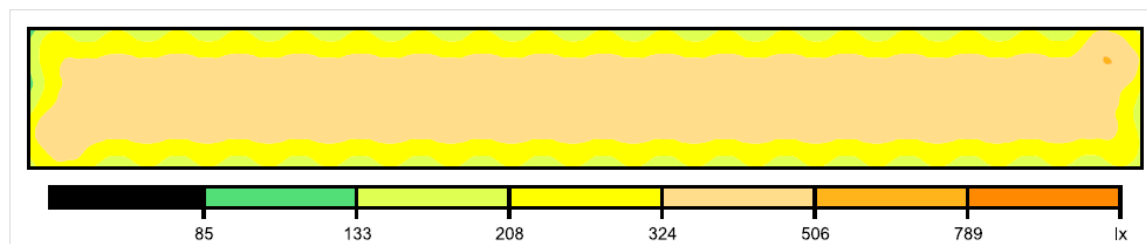


Mittakaava: 1 : 1000

Kohtisuora valaistusvoimakkuus (Pinta)

Keskiarvo (todellinen): 95 lx, Min.: 17 lx, Maks.: 240 lx, Min./keskim.: 0.179, Min./ maks.: 0.071,

Käyttötaso 1 / Väärävärit/Käyttötaso vakio/Kohtisuora valaistusvoimakkuus
(sopeutuva)

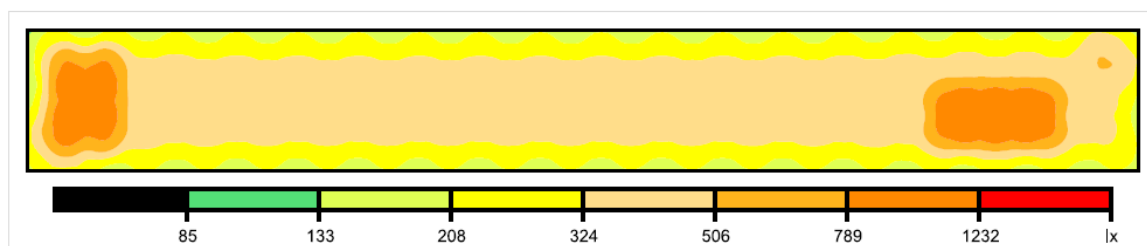


Mittakaava: 1 : 1000

Kohtisuora valaistusvoimakkuus (Pinta)

Keskiarvo (todellinen): 320 lx, Min.: 103 lx, Maks.: 514 lx, Min./keskim.: 0.322, Min./ maks.: 0.200,

Käyttötaso 1 / Väärävärit/Täysvalaistus/Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)



Mittakaava: 1 : 1000

Kohtisuora valaistusvoimakkuus (Pinta)

Keskiarvo (todellinen): 383 lx, Min.: 119 lx, Maks.: 1150 lx, Min./keskim.: 0.311, Min./ maks.: 0.103,

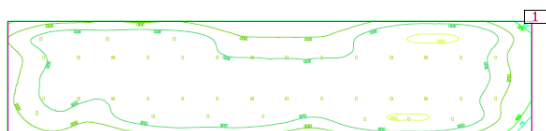
Kelahalli

9.2.2015

DIALux

Kelahalli / Rakennus 2 / Kerros 1 / Tila 1 / Tilan yhteenveto

Tila 1 / Tilan yhteenveto



Tilan korkeus: 11.500 m, Käyttötason korkeus: 0.800 m, Reuna-alue: 0.000 m
Heijastussuhteet: Katto 70.0%, Seinät 50.0%, Lattia 20.0%, Alenemakerroin: 0.69

Käyttötaso

Pinta	Tulos	Keskisarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.
1 Käyttötaso 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	314 (200)	49	532	0.156	0.092



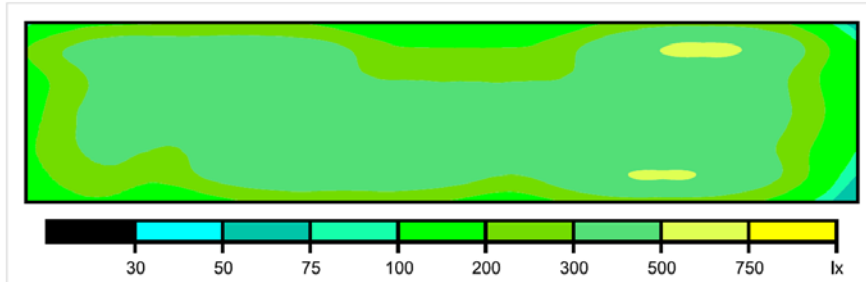
Kelahalli

9.2.2015

DIALux

Kelahalli / Rakennus 2 / Kerros 1 / Tila 1 / Käyttötaso 1 / Väärävarit/Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

Käyttötaso 1 / Väärävarit/Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)



Kohtisuora valaistusvoimakkuus (Pinta)

Keskisarvo (todellinen): 314 lx, Min.: 49 lx, Maks.: 532 lx, Min./keskim.: 0.156, Min./ maks.: 0.092,

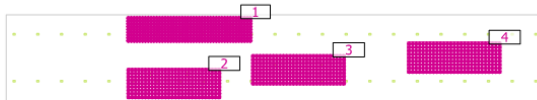
Varusteluhalli UUSI

14.2.2015

DIALux

Ympäristö 1 / Rakennus 2 / Kerros 1 / Varusteluhalli / Tuloksien yhteenveto, EN 12464

Varusteluhalli / Tuloksien yhteenveto, EN 12464



EN 12464-1

Pinta	Tulos	Keskiarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./ maks.
1 Kärjen hitsaus 1	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	466 (50)	316	627	0.678	0.504
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	132 (50)	104	181	0.788	0.575
	Mallinnus	0.28 (0.60)	0.20	0.39	/	/
2 Kärjen hitsaus 2	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	408 (50)	244	671	0.598	0.364
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	121 (50)	99	179	0.818	0.553
	Mallinnus	0.30 (0.60)	0.20	0.43	/	/
3 Ponttien hitsaus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	409 (50)	289	544	0.707	0.531
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	124 (50)	90	176	0.726	0.511
	Mallinnus	0.30 (0.60)	0.22	0.43	/	/
4 Ponttien silloitus	Horisontaali valaistusvoimakkuus [lx]	454 (50)	326	662	0.718	0.492
	Sylinterivalaistusvoimakkuus [lx]	139 (50)	107	189	0.770	0.566
	Mallinnus	0.31 (0.60)	0.24	0.34	/	/

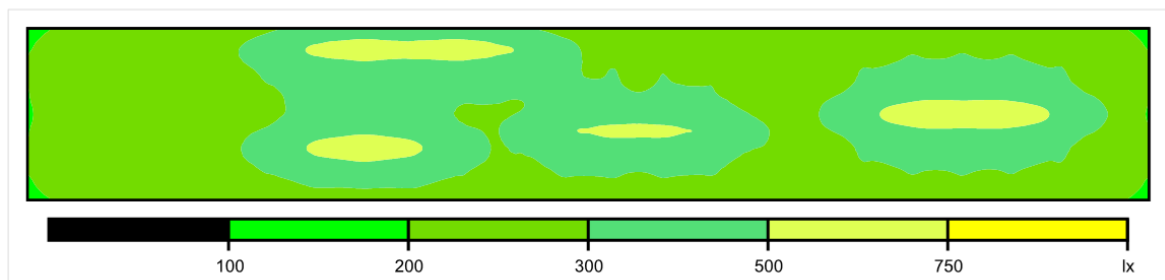
Varusteluhalli UUSI

14.2.2015

DIALux

Ympäristö 1 / Rakennus 2 / Kerros 1 / Varusteluhalli / Varusteluhalli / Väärävärit/Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

Varusteluhalli / Väärävärit/Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

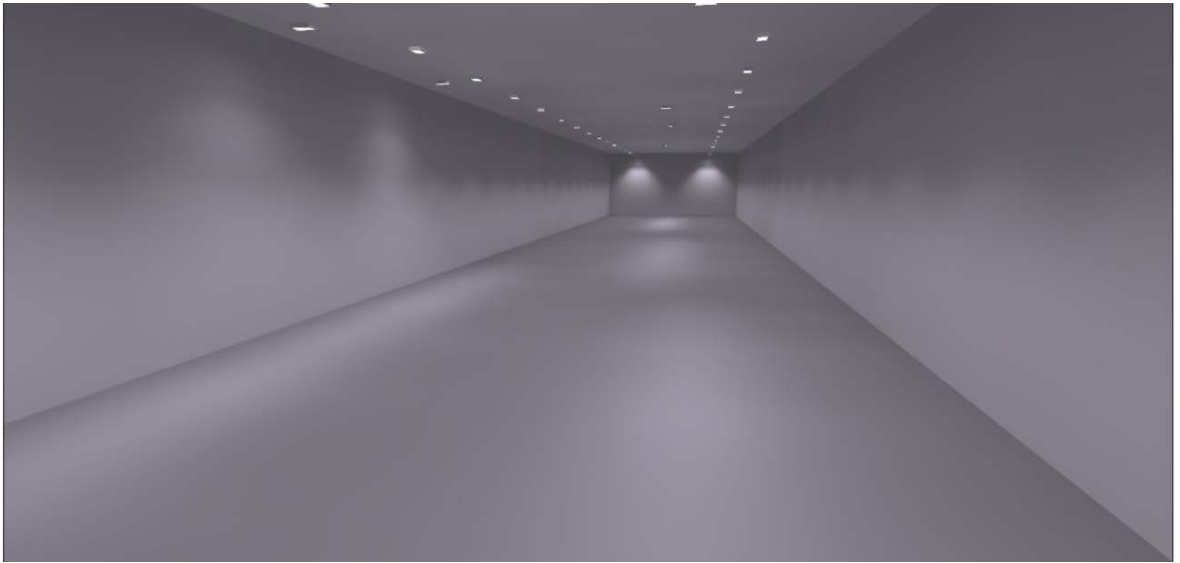


Mittakaava: 1 : 750

Kohtisuora valaistusvoimakkuus (Pinta)

Keskiarvo (todellinen): 321 lx, Min.: 167 lx, Maks.: 645 lx, Min./keskim.: 0.520, Min./ maks.: 0.259.

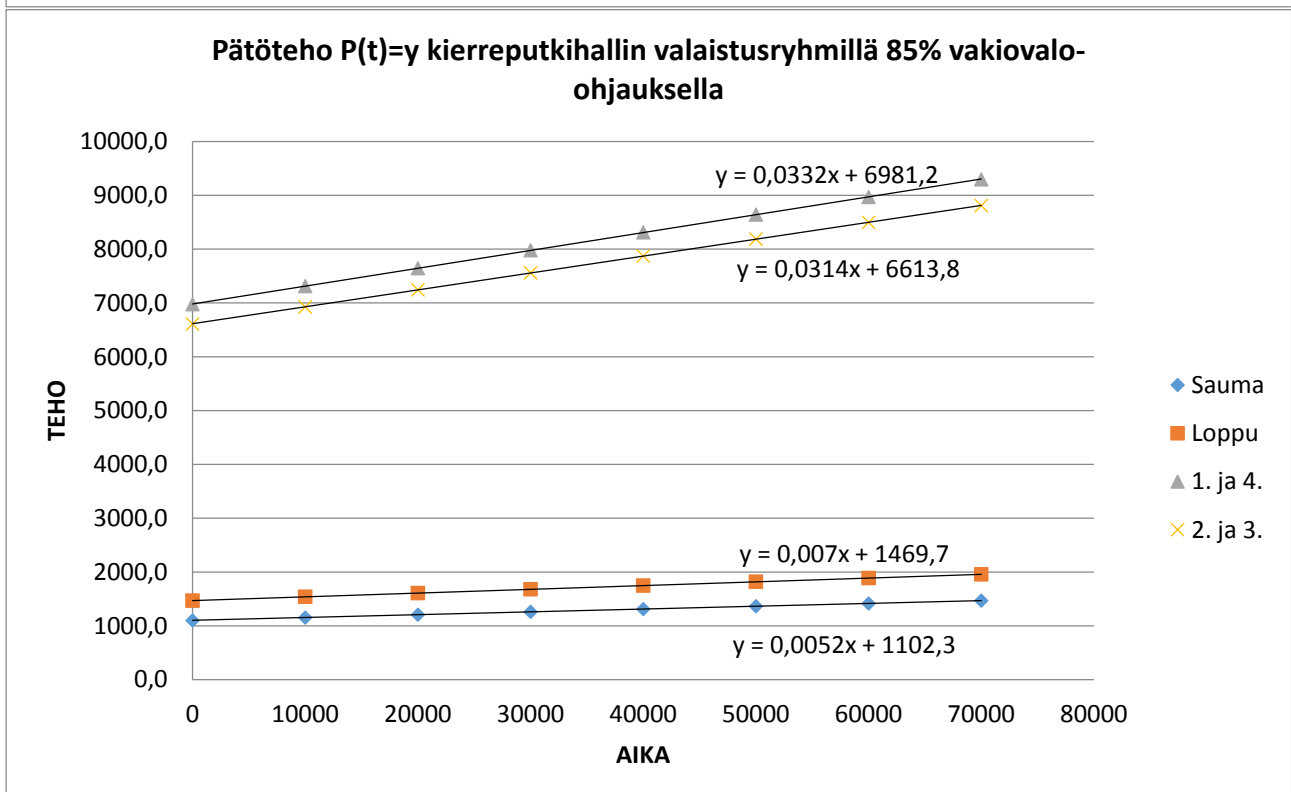
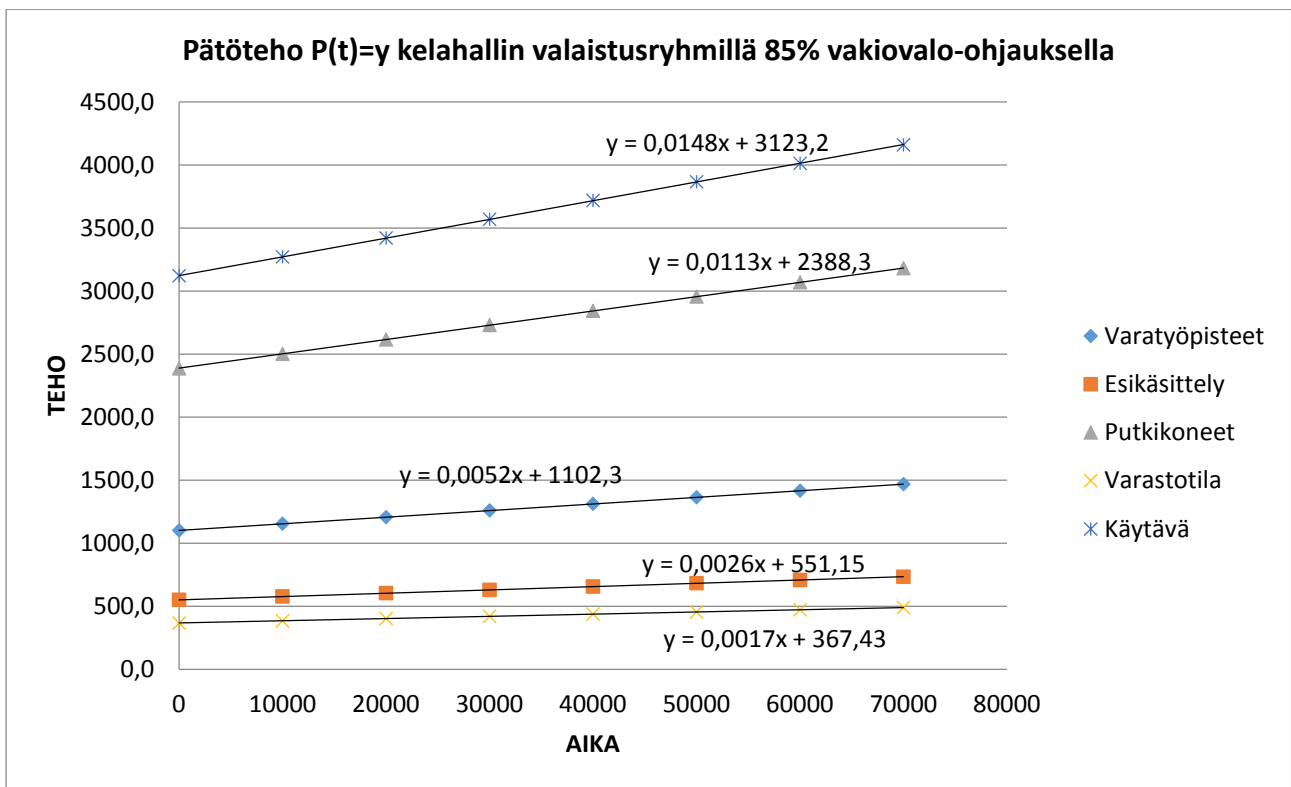
LED-valaistus mallinnuksen näkymä varusteluhallista



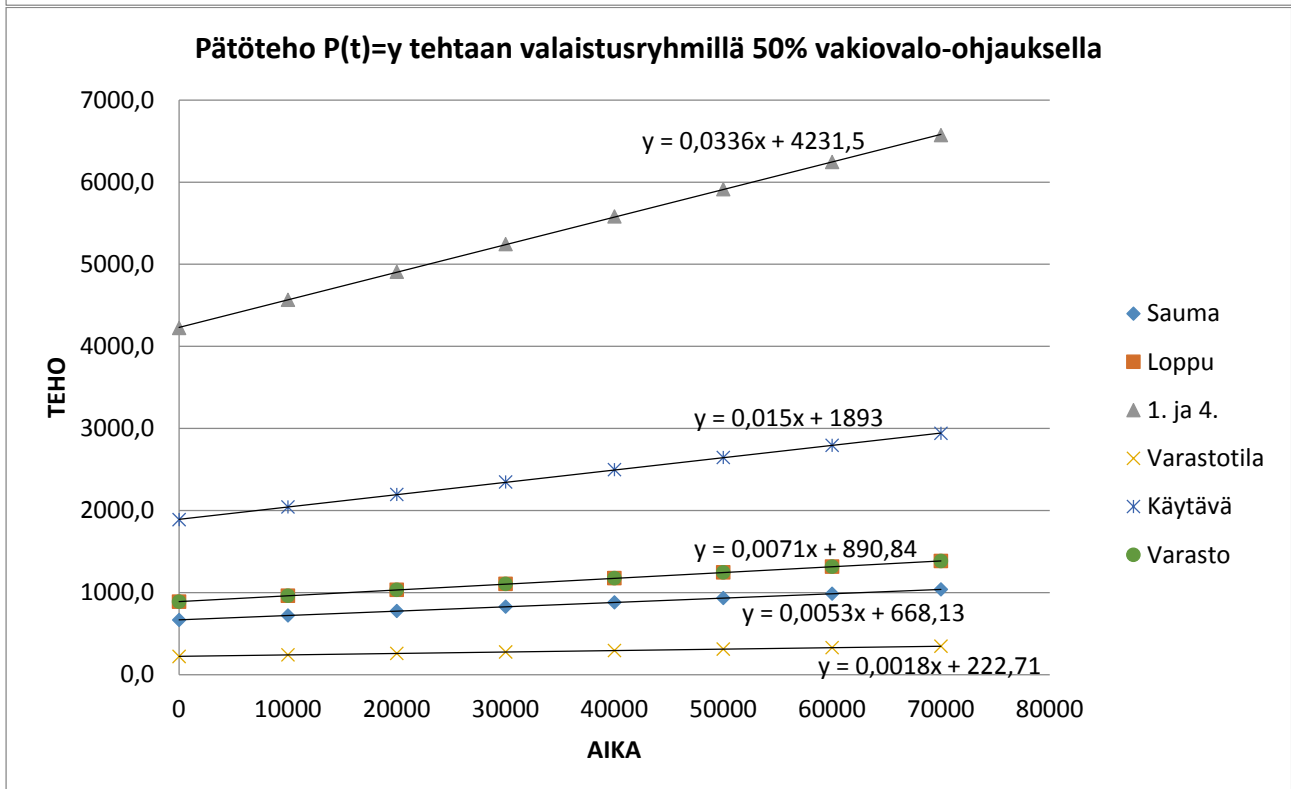
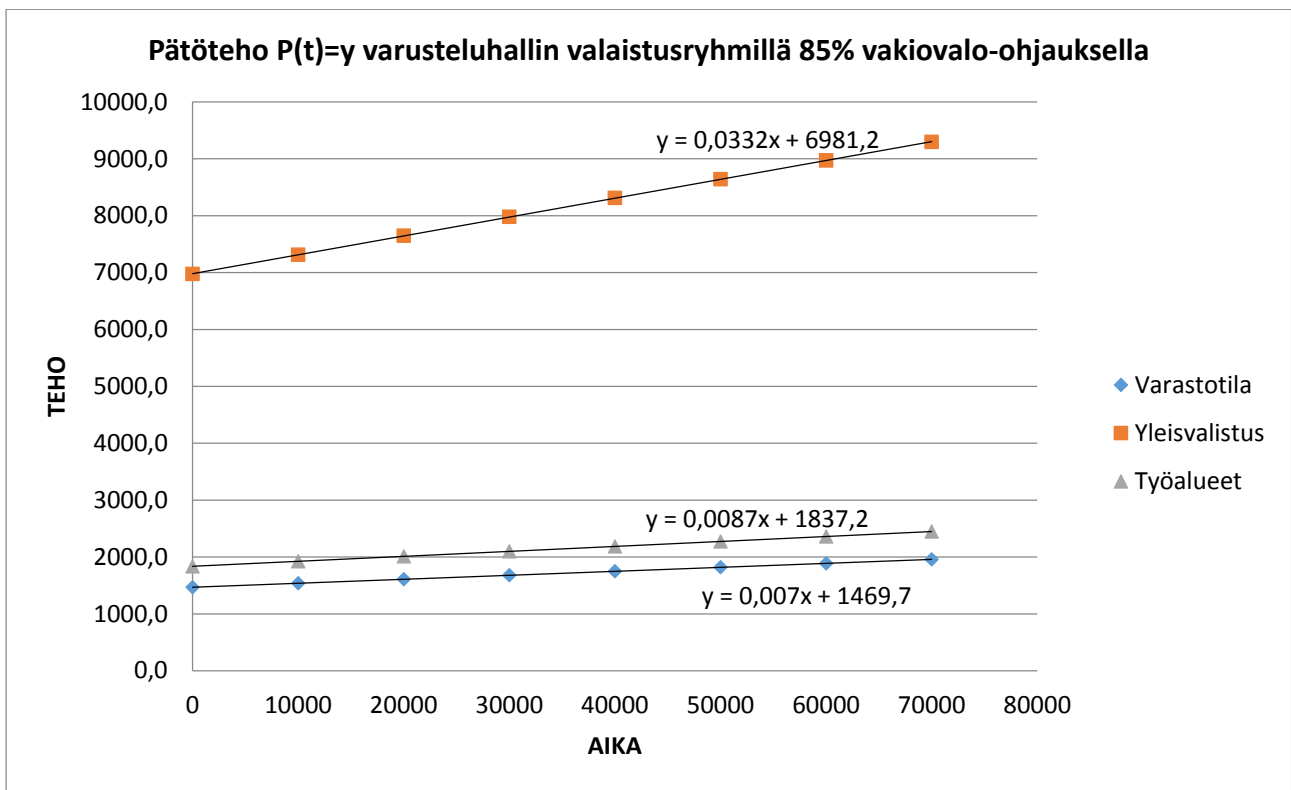
LED-valaistusryhmien pätehon arvot käyttöajan mukaan

Käyttöaika	Yksittäinen valaisin		Päteho valaistusryhmillä (W)						Kelahtamisessa						Varusteluhaluissa							
	85% säätö	Päteho(W)	Sauma		Loppu		1. ja 4.		2. ja 3.		2		17		Varastotilalla		Yleisvalistus		Työalueet			
0	183,5853132		6	8	38	36	1101,512	1468,682505	6976,24	6609,071274	1101,51879	550,75594	2386,6091	367,1706	3121	1468,683	6976,2419	1835,853	8	38	10	
10 000	192,4261084		6	8	38	36	1154,557	1539,408867	7312,19	6927,339901	1154,55665	577,27833	2501,5394	384,8522	3271,2	1539,409	7312,19212	1924,261	8	38	10	
20 000	201,2288786		6	8	38	36	1207,373	1609,831029	7646,7	7244,239631	1207,373272	603,68664	2615,9754	402,4578	3420,9	1609,831	7646,69739	2012,289	8	38	10	
30 000	209,9938688		6	8	38	36	1259,963	1679,95095	7979,77	7559,779277	1259,963213	629,98161	2729,9203	419,9877	3569,9	1679,951	7979,76701	2099,939	8	38	10	
40 000	218,7213215		6	8	38	36	1312,328	1749,770572	8311,41	7873,967574	1312,327929	656,16396	2843,3772	437,4426	3718,3	1749,771	8311,41022	2187,213	8	38	10	
50 000	227,4147774		6	8	38	36	1364,469	1819,291819	8641,64	8186,813187	1364,468864	682,23443	2956,3492	454,823	3866	1819,292	8641,63614	2274,115	8	38	10	
60 000	236,0645751		6	8	38	36	1416,387	1888,516601	8970,45	8498,324703	1416,387451	708,19373	3068,8395	472,1292	4013,1	1888,517	8970,45385	2360,646	8	38	10	
70 000	244,6808511		6	8	38	36	1468,085	1957,446809	9297,87	8808,510638	1468,085106	734,04255	3180,8511	489,3617	4159,6	1957,447	9297,87234	2446,809	8	38	10	
			Sauma		Loppu		1. ja 4.		Varastotilalla		Käytävä		Varasto									
0	111,1111111		6	8	38	2	666,667	888,888889	4222,22	222,2222222	1888,889	888,888889	888,888889	888,888889	8							
10 000	120,1581028		6	8	38	2	720,9486	961,2648221	4566,01	240,3162055	2042,688	961,2648221	961,2648221	961,2648221	8							
20 000	129,1338583		6	8	38	2	774,8031	1033,070866	4907,09	258,2677165	2195,276	1033,070866	1033,070866	1033,070866	8							
30 000	138,0392157		6	8	38	2	828,2353	1104,313725	5245,49	276,0784314	2346,667	1104,313725	1104,313725	1104,313725	8							
40 000	146,875		6	8	38	2	881,25	1175	5581,25	293,75	2496,875	1175	1175	1175	8							
50 000	155,6420233		6	8	38	2	933,8521	1245,136187	5914,4	311,2840467	2645,914	1245,136187	1245,136187	1245,136187	8							
60 000	164,3410853		6	8	38	2	986,0465	1314,728682	6244,96	328,6821705	2793,798	1314,728682	1314,728682	1314,728682	8							
70 000	172,972973		6	8	38	2	1037,838	1383,783784	6572,97	345,9459459	2940,541	1383,783784	1383,783784	1383,783784	8							

Kela- ja kierreputkihallin LED-valaistusryhmien pätötehon kuvaajat



Varusteluhallin valaistusryhmien ja tehtaan tilanne ohjattujen valaistusryhmien pätötehon kuvaajat



Energialaskelmissa käytetyt pätötehon integraaliyhtälöt

Teho eri valaistusryhmillä		Energiankulutus	
Teho $P(t)=Y$		Integroituna $\int P(t)dt= y=a*t*t+b*t$	
85% säätö		a	b
Sauma	$Y=0,0052*t+1102,3$	0,0026	1102,3
Loppu	$Y=0,007*t+1469,7$	0,0035	1469,7
1. ja 4.	$Y=0,0332*t+6981,2$	0,0166	6981,2
2. ja 3.	$Y=0,0314*t+6613,8$	0,0157	6613,8
Varatyöpisteet	$Y=0,0052*t+1102,3$	0,0026	1102,3
Esikäsittely	$Y=0,0026*t+551,15$	0,0013	551,15
Putkikoneet	$Y=0,0113*t+2388,3$	0,00565	2388,3
Varastotila	$Y=0,0017*t+367,43$	0,00085	367,43
Käytävä	$Y=0,0148*t+3123,2$	0,0074	3123,2
Varasto	$Y=0,007*t+1469,7$	0,0035	1469,7
Yleisvalaistus	$Y=0,0332*t+6981,2$	0,0166	6981,2
Työalueet	$Y=0,0087*t+1837,2$	0,00435	1837,2
50% säätö			
Sauma	$Y=0,0053*t+668,13$	0,00265	668,13
Loppu	$Y=0,0071*t+890,84$	0,00355	890,84
1. ja 4.	$Y=0,0336*t+4231,5$	0,0168	4231,5
Varastotila	$Y=0,0018*t+222,71$	0,0009	222,71
Käytävä	$Y=0,015*t+1893$	0,0075	1893
Varasto	$Y=0,0071*t+890,84$	0,00355	890,84

Energiankulutuslaskelma (tuotanto nykyisellään)

Energiankulutus nykyisellä käytöllä															
Valmistusryhmit	Sauma	Loppu	1. ja 4.	2. ja 3.	Varatyöpiisteet	Esikäsitteily	Putkikoneet	Varastotila	Käytävä	Varasto	Valisvalaistus	Työalueet	Yhteensä	E-kulut	Käyttökulu
Käyttöaika/vuosi	2080	2080	2600	2080	960	2080	2080	2080	6240	6240	6240	6240			
0															
1	2078	2771	16834	13825	1061	1152	4992	693	17859	8405	44209	11634	125511	12551	12551
2	2101	2802	17059	13960	1065	1163	5041	700	18437	8678	45502	11972	128481	12848	12848
3	2124	2832	17284	14096	1070	1175	5090	708	19015	8952	46795	12311	131450	13145	13145
4	2146	2862	17509	14232	1075	1186	5139	715	19593	9225	48087	12650	134420	13442	13442
5	2169	2893	17734	14368	1080	1197	5188	723	20172	9499	49380	12989	137389	13739	13739
6	2191	2923	17959	14504	1085	1208	5237	730	20750	9772	50673	13327	140359	14036	14036
7	2214	2954	18184	14640	1089	1220	5285	738	21328	10046	51965	13666	143328	14333	14333
8	2237	2984	18409	14776	1094	1231	5334	745	21906	10319	53258	14005	146298	14630	14630
9	2259	3014	18634	14911	1099	1242	5383	752	17859	8405	44209	11634	129401	12940	22284
10	2282	3045	18859	15047	1104	1253	5432	760	18437	8678	45502	11972	132370	13237	13237
11	2304	3075	19083	15183	1109	1265	5481	767	19015	8952	46795	12311	135340	13534	13534
12	2327	3105	19308	15319	1113	1276	5530	775	19593	9225	48087	12650	138309	13831	13831
13	2350	3136	19533	15455	1118	1287	5579	782	20172	9499	49380	12989	141279	14128	14128
14	2372	3166	19758	15591	1123	1298	5628	790	20750	9772	50673	13327	144248	14425	14425
15	2395	3197	19983	15727	1128	1309	5677	797	21328	10046	51965	13666	147218	14722	14722
16	2417	3227	20208	15862	1132	1321	5725	805	21906	10319	53258	14005	150187	15019	15019
17	2440	3257	20433	15998	1137	1332	5774	812	17859	8405	44209	11634	133291	13329	22673
18	2463	3288	20658	16134	1142	1343	5823	820	18437	8678	45502	11972	136260	13626	13626
19	2485	3318	20883	16270	1147	1354	5872	827	19015	8952	46795	12311	139230	13923	13923
20	2508	3349	21108	16406	1152	1366	5921	835	19593	9225	48087	12650	142199	14220	14220
21	2530	3379	21333	16542	1156	1377	5970	842	20172	9499	49380	12989	145169	14517	14517
22	2553	3409	21558	16677	1161	1388	6019	849	20750	9772	50673	13327	148138	14814	14814
23	2576	3440	21783	16813	1166	1399	6068	857	21328	10046	51965	13666	151107	15111	15111
24	2598	3470	22008	16949	1171	1411	6117	864	21906	10319	53258	14005	154077	15408	15408
25	2078	2771	16834	13825	1176	1152	4992	693	17859	8405	44209	11634	125626	12563	35475
26	2101	2802	17059	13960	1180	1163	5041	700	18437	8678	45502	11972	128596	12860	12860
27	2124	2832	17284	14096	1185	1175	5090	708	19015	8952	46795	12311	131565	13157	13157
28	2146	2862	17509	14232	1190	1186	5139	715	19593	9225	48087	12650	134535	13453	13453
29	2169	2893	17734	14368	1195	1197	5188	723	20172	9499	49380	12989	137504	13750	13750
30	2191	2923	17959	14504	1200	1208	5237	730	20750	9772	50673	13327	140474	14047	14047

Takaisinmaksuajan kerroinmatriisi

	1,0	1,1	1,2	1,3
0,7	1,4	1,6	1,7	1,9
0,8	1,3	1,4	1,5	1,6
0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
1	1,0	1,1	1,2	1,3
1,1	0,9	1,0	1,1	1,2
1.vuoro	1,0	1,1	1,2	1,3
0,027	6,7	7,3	8,0	8,7
0,036	5,8	6,4	7,0	7,6
0,045	5,2	5,7	6,2	6,7
0,054	4,7	5,1	5,6	6,1
0,063	4,2	4,7	5,1	5,5
2.vuoro	1,0	1,1	1,2	1,3
0,027	4,0	4,4	4,8	5,2
0,036	3,5	3,8	4,2	4,5
0,045	3,1	3,4	3,7	4,0
0,054	2,8	3,1	3,4	3,6
0,063	2,5	2,8	3,0	3,3
3.vuoro	1,0	1,1	1,2	1,3
0,027	3,2	3,5	3,8	4,1
0,036	2,8	3,1	3,3	3,6
0,045	2,5	2,7	3,0	3,2
0,054	2,2	2,5	2,7	2,9
0,063	2,0	2,2	2,4	2,6