

Tehdashallin valaistuksen vaihto



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Syksy, 2021

Hannu Vuorinen

Tekijä Hannu Vuorinen

Vuosi 2021

Työn nimi Tehdashallin valaistuksen vaihto

Ohjaajat Timo Viitanen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyönä kartoitettiin Forssan Metallityöt Oy:n toimeksiannolla yrityksen hallin valaistujärjestelmän vaihtamista taloudellisempaan valaistusjärjestelmään.

Työssä tutustuttiin teollisuuden valaistuksen vaatimuksiin eri standardien kautta, kartoittaen eri vaihtoehtojen kustannuksia ja vertaillen mahdollisia säästöjä verrattuna nykyiseen järjestelmään.

Työn lähtökohtana oli teorian, mittaustulosten sekä kustannuslaskennan avulla osoittaa järjestelmän vaihdon järkevyyttä.

Lopputuloksena on vertailtu eri vaihtoehtojen kustannuksia ja kustannussäästöjä.

Valaistuksen osalta on myöskin mietitty olosuhteisiin nähden järkevin vaihtoehto saatuihin tuloksiin tukeutuen. Mietintänä on myöskin alustettu mahdollisia tulevaisuuden energian kulutuksen säästökohtia valaistuksen osalta.

Avainsanat Lamppu, led, mittaus, valaistus

Sivut 47 sivua ja liitteitä 13 sivua

Author Hannu Vuorinen

Year 2021

Subject Factory hall lighting replacement

Supervisors Timo Viitanen

ABSTRACT

The thesis was commissioned by Forssan Metallityöt Oy to transform the lighting system of one of the company's halls into a more economical lighting system.

The work introduced the requirements for industrial lighting through different standards, mapping the costs of a few different options and comparing the potential savings with the current system.

The starting point of the work was to implement practical measurements through theory and to map the rationality of system replacement with the help of cost calculation.

The end result is a presentation of the costs and cost savings of the options provided. With regard to lighting, the most sensible alternative to the circumstances has also been considered, based on the results obtained. The report also includes possible future energy savings for lighting.

Keywords Lamp, led, lighting, measurement

Pages 47 pages and appendices 13 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Näköaistin fysiologinen rajoittuminen	2
3	Valaistuksen vaatimukset tehdastilassa	5
4	Mittausvälineet	9
4.1	Virtamittaukset	9
4.1.1	True-rms-tiedonkeruuyhteismittari.....	10
4.1.2	Virtapihtimittari.....	11
4.2	Lämpökamera	13
4.3	Valaistusvoimakkuusmittari.....	14
4.4	DIALux evo	14
5	Lähtökohta.....	15
5.1	Monimetallilamput	16
5.1.1	Kuristin	20
5.1.2	Kondensaattori.....	21
5.1.3	Sytytin.....	23
5.2	Led.....	23
6	Mittauksissa käytetyt menetelmät.....	26
6.1	Mittaus testioloissa	27
6.1.1	Mittauspenkki	27
6.1.2	Valaisuvoimakkuuksien tutkiminen DIALux evolla.....	28
6.2	Mittaukset tehdashallissa	29
6.2.1	Valaisuvoimakkuudet	30
6.2.2	Monimetallilamppujen mittaaminen ja laskeminen.....	32
6.2.3	Osram HQI-lampun mittaus ja laskeminen	35
6.2.4	Osram HQL-lampun mittaus ja laskeminen	37
6.2.5	Philips 160 W:n lampun mittaus ja laskeminen	38
7	Kustannusvertailu	38
7.1	Nykyarvomenetelmä.....	39
7.1.1	Säästö	40
7.1.2	Menot.....	41
7.2	Takaisinmaksuajan menetelmä.....	42
7.2.1	Osram HQI-lamppu	43
7.2.2	Osram HQL-lamppu.....	43

7.2.3 Philips 160 W -lamppu	43
8 Mahdollisia kulutuksen alentamiskeinoja	44
8.1 Ylimitoitus	44
8.2 Valovirranalenema	45
8.3 Valaistuksen himmentäminen	46
9 Päätelmä.....	47
Lähteet.....	48

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Näkyvän valon spektri.....	2
Kuva 2. Silmän spektriherkkyys.	3
Kuva 3. Valaistusvoimakkuudet	6
Kuva 4. Lähiympäristön ja tausta-alueen minimimitat.	7
Kuva 5. Työalueen vähimmäis valaistusvoimakkuudet.	8
Kuva 6. Virtamittaukset True-RMS-tiedonkeruuyleismittarilla	10
Kuva 7. Fluke 289 True-RMS	11
Kuva 8. Behan Unitest Duplex	12
Kuva 9. FLUKE Ti25	13
Kuva 10. HT307 Lux/fc light meter.	14
Kuva 11. Dialuxevo 9.1	15
Kuva 12. Tehdashallin monimetallilamppu rivistöä	16
Kuva 13. Monimetallilampun rakenne	17
Kuva 14. Philips MASTER HPI Plus 400W/645 BU E40 1SL/6	19
Kuva 15. Kytkenästä 1) Kondensaattori, 2) kuristin ja 3) sytytin	19
Kuva 16. 1) Kondensaattori, 2) kuristin ja 3) sytytin	20
Kuva 17. Perinteinen rengaskuristin	21
Kuva 18. Kondensaattorin rakenne	22
Kuva 19. 1)HQL 230 V led lamppu ja 2)HQI 140 V retrofit-led lamppu	24
Kuva 20. HQL-lamppu.....	25
Kuva 21. HQI-lamppu	25
Kuva 22. Philips 160 W-lamppu.....	26

Kuva 23. Hallin työpisteet.....	29
Kuva 24. Lamppuun kirjoitettu asennuspäivä	30
Kuva 25. Lamppu ilman kupua.....	32
Kuva 26. Tehdashallin valaistuksen kontaktorit	33
Kuva 27. Tehdashallin valaistuksen riviliittimet	33
Kuva 28. Osram HQI-lamppujen valaistuskentän mittaus	36
Kuva 29. Huoltojakso.....	44
Kuva 30. Valovirranalenema.....	46
Kuva 31. Valaistuksen himmentäminen.....	46
Taulukko 1. Mittaustulokset testioloissa.....	28
Taulukko 2. Valaisuvoimakkuus.....	31
Taulukko 3. Lampputyypin kustannusvertailua.	41
Taulukko 4. Osram HQI-lamppujen vaihtokustannus.	41
Taulukko 5. Osram HQL-lamppujen vaihtokustannus.....	42
Taulukko 6. Philips 160 W-lamppujen vaihtokustannus.	42
Kaava 1. Hyötysuhdemenetelmä.....	8
Kaava 2. Virran tehollisarvo.....	10
Kaava 3. Kapasitanssi.....	22
Kaava 4. Teho.....	34
Kaava 5. Energia.....	34
Kaava 6. LENI-arvo.	35
Kaava 7. Kirchhoffin virtalaki.	36
Kaava 8. Nykyarvo.	39
Kaava 9. Takaisinmaksuaika.	43
Kaava 10. Kuinka monta prosenttia.	45

Liitteet

- Liite 1 Testimittaustilanne.
- Liite 2 Lampun varmistus.
- Liite 3 Monimetallilamppujen lämpökuvat a) ja b).
- Liite 4 Monimetallilamppujen lämpökuvat c) ja d).
- Liite 5 Led lamppujen lämpökuvat e) ja f).
- Liite 6 Virtamittaustulokset hallista.
- Liite 7 HQI-lampun väärävärit dialuxin mukaan.
- Liite 8 HQI-lamppujen valaistuksen yhteenveto.
- Liite 9 HQL-lamppujen valaistuksen yhteenveto.
- Liite 10 Philips 160 W -lamppujen valaistuksen yhteenveto.
- Liite 11 Osram HQI-lampun nettonykyarvo.
- Liite 12 Osram HQL-lampun nettonykyarvo.
- Liite 13 Philips 160 W -lampun nettonykyarvo.

Käsitteistö

A	Ampeeri, SI-järjestelmän mukainen yksikkö sähkövirralle.
HQI	Osram HQI HIGHBAY 400 120° 140W/4000 K E40, retrofit-led lamppu.
HQL	Osram HQL HIGHBAY 400 120° 140W/4000 K E40, led lamppu.
kWh	kilowattitunti, Sähköenergian määrää mitattaessa usein käytettävä tunnus.
LLMF	Valolähteen valovirran pysyvyyskerroin eli valovirranalenema.
Philips 160W	Philips TrueForce LED HB E40 160W 840 60D, led lamppu.
Philips 400W	Philips MASTER HPI Plus 400W/645 BU E40 1SL/6, monimetallilamppu.
retrofit	Uuden tekniikan tai ominaisuuksien lisäämistä vanhoihin järjestelmiin.
snt	Sentti, euron sadasosa.
V	Voltti, SI-järjestelmän mukainen yksikkö jännitteelle.
W	Watti, SI-järjestelmän mukainen yksikkö teholle.

1 Johdanto

Kohteena oli Forssan Metallityöt Oy:n uusimman laajennusosan valaistuksen nykyaikaistaminen. Halli johon mietitään valaistuksen uusimista on rakennettu noin 10 vuotta sitten.

Yrityksen, jonka elinkaari ulottuu perustamisvuoteensa 1960 saakka, kasvaminen on tapahtunut tehtaan osalta kasvattamalla pinta-alaa hitaasti liittämällä tehdaskokonaisuuteen lähellä olleet rakennukset saavuttaen nykyisen noin 20 000 m² tehdas pinta-alan. Monimetallilamppuvalaisimia tehtaan sisätiloista löytyy yhteensä 315 kappaletta, jotka ovat 400 W:n tehoisia sekä näiden lisäksi useita loisteputkia.

Lopputyön tarkoituksena oli vertailla muutamia eri lampputyyppeiden valaisutehokkuutta, vaihto- ja käyttökustannuksia. Tavoitteena oli myöskin käyttää mahdollisimman paljon vanhoja valaisinkalusteita, pyrkien näin minimoimaan valaistuksen uusimisesta aiheutuvat vaihtokustannukset. Valaisinpisteet pysyivät ennallaan, eli niitä ei ollut tarkoitus lisätä eikä vähentää.

Suurimman kiinnostuksen kohteena olivat HQL-lamput ns. retrofit-led lamput verrattuna saman valmistajan HQL-lamppuihin. Ylimoitusta varten, tutkittiin myöskin Philips 160 W:n lampun kannattavuutta ajatuksena pidentää huoltoväliä sekä tutkia mahdollista himmennystoimintoa, jonka kautta saattaisi olla mahdollista lisätä energian säästöä.

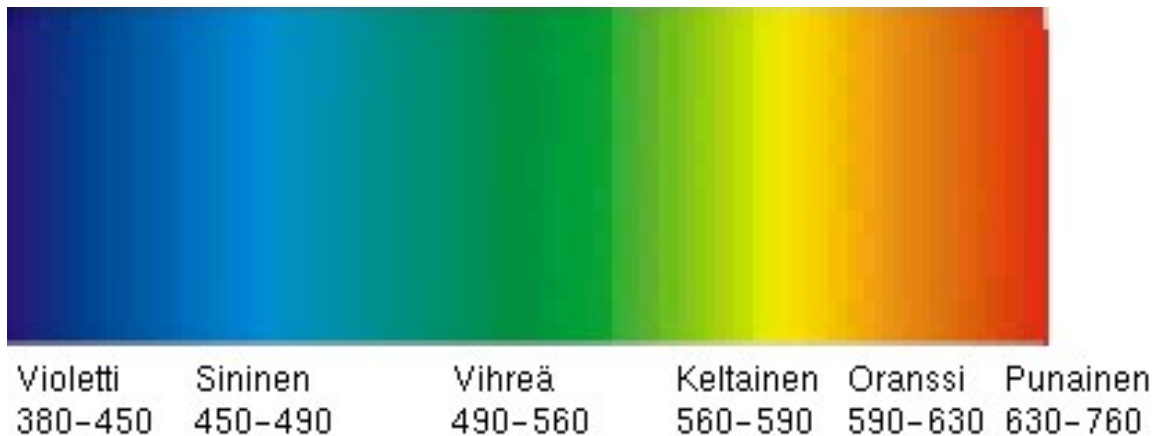
Työn liikkeelle paneva voima oli kiristyneet ympäristövaatimukset, joka ilmeni tässä tapauksessa käytetyn monimetallilamppuvalaistuksen varaosien, eritoten vaihtolamppujen suhteen on osoittautunut varsin haasteelliseksi mm. EU:n kieltäessä lampuissa elohopean käytön.

Suurena haasteena oli arvioida valaisimien vaihtoon kuluva aika sekä kaluston käyttökustannukset johtuen lattiatasolla esteenä olevista laitteista ja materiaalista. Laskennassa on käytetty karkeita arvioita.

2 Näköaistin fysiologinen rajoittuminen

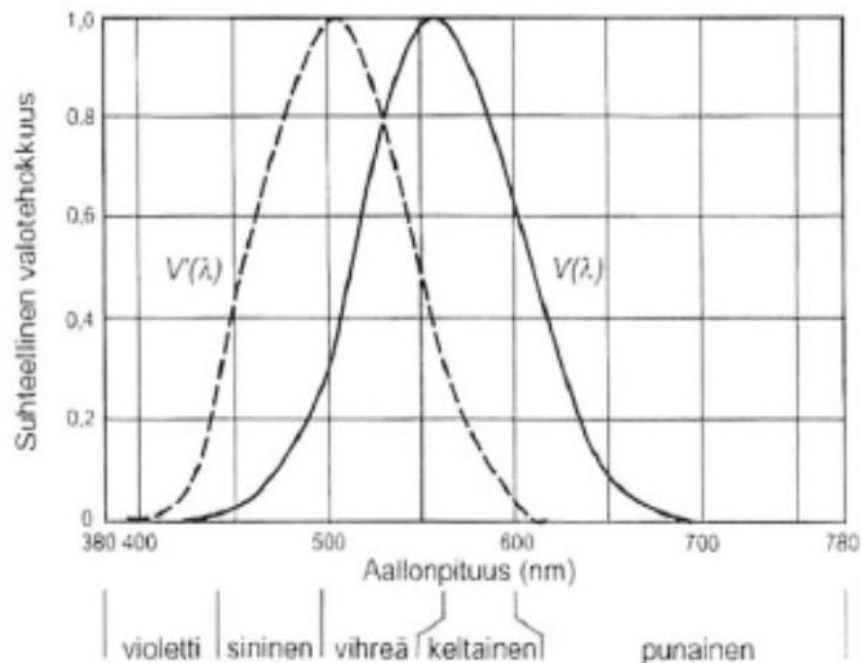
Näköaistein havaittava valo jota tutkitaan fotometriassa, kuuluu osaksi fysiikan valo-oppia eli optiikkaa. Ihmissilmin havaittava näkyvä valo asettuu n. 380...780 nm aallonpituuden alueelle. Kuvassa 1 on esiteltyä spektrijakauma näkyvän valon alueella alkaen violetista päätyen punaiseen.

Kuva 1. Näkyvän valon spektri (Ilmatieteen laitos, n.d.).



Silmä näköelimenä ei ole spektrin ääripäille herkin, vaan näemme päivänvalossa keltaisen kirkkaimpana ja hämärissä olosuhteissa turkoosin vaaleimpana. Valaisuhuippu siirtyy hämärässä kohti lyhytaaltoista kirjoa, joka koskee kaikkien sävyjen kokemista. (Rihlana, 1999, s.9). Silmän spektriherkkyys aallonpituuden funktiona ilmenee hyvin Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisussa kuvassa 2.

Kuva 2. Silmän spektriherkkyys (Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu, 2006, s. 24).



Kuvasta voidaan lukea, että $V'(\lambda)$ joka kuvaa silmän hämärännäkemisen (sauvasolujen) käyrämuotoa on maksimi 507 nm kohdalla. Kun taas silmän tappisoluja (päivänäkemisen solut) kuvaava käyrä $V(\lambda)$ esittää päivänäkemisen voimakkuutta herkkyyden maksimin ollessa 555 nm kohdalla.

Fotometrisä suureita, joita käytetään määriteltessä näkyvän valon ominaisuuksia:

- Valovirta ϕ – lm (lumen), joka ilmaisee valonlähteen säteilemän näkyvän valon määrän kokonaisuudessaan.
- Valomäärä Q – lms (luumensekunti) ilmaisee säteilyenergian ns. valaisevan osuuden määriteltynä ajanjaksolla.
- Valovoima I - cd (kandela), ilmaisee pistemäisen valon lähteen lähettämää valonmäärää avaruuskulmaa kohden, joka määritellään katsojan näkökulmasta pinta-alan suhdetta välimatkan neliöön.
- Luminanssi L – cd/m² (kandelaa per neliömetri). Ilmaisee valon lähteen pinnalta lähtevän valon voimakkuutta eli kirkkautta.

- Valaistusvoimakkuus $E - lx$ (luksi) jonka avulla ilmoitetaan tilan valaistusolosuhde eli tietylle pinnalle saapuvan valovirran suhde pinta-alaan.
- Valotehokkuus lm/W , kertoo valolähteen säteilemän valovirran suhteen valolähteen kuluttamaan sähkövirtaan.
- Värintoistoindeksi R_a kuvaa, missä määrin valolähteen ja samanvärisen vertailuvalon väritoisto-ominaisuudet ovat samanlaiset. Mikäli eroa ei ole, on indeksi sata.
- Värilämpötila K , ilmaisee valon värivaikutelmaa. Värilämpötilan noustessa punaisesta 2000 K aina siniseen 18 000 K asti. Hehkulamppujen värilämpötila on 2 700 K ja halogeenilampun noin 3 000 K. Julkistentilojen loistelamput ovat 4000 K. Päivänvalolampuiksi nimitetään lamppuja, joiden värilämpötila on noin 5 000 K. Yli 5 500 K menevät lamput alkavat näyttämään sinertäviltä.
- LENI-luku kuvaa rakennuksen vuotuista valaistusenergiämäärää, mitä pienempi LENI-luku on, sitä parempi indeksiarvo on.
- Karkealla jaolla valaistusolosuhteet luksien avulla voidaan jakaa seuraavasti:
 - ◆ 30 lx ulkoalueiden yleisvalaistus
 - ◆ 150 lx aulat
 - ◆ 300 lx isot tilat karkeaan työhön
 - ◆ 500 lx toimistohuoneet, luokkahuoneet
 - ◆ 1000 lx tarkkuutta vaativa toimistotyö ja työstö, Tv-studio
 - ◆ 5000 lx poikkeuksellista tarkkuutta vaativa työ.
- Valotus $H - lxs$ (luksisekunti), kertoo pinnalle kertyvän valomäärän pintatiheyden. Yleensä, poiketen SI-järjestelmän etuliitteellisistä ilmoitusmuodoista ilmoitetaan lxh (luksitunti).
- Valonheijastusarvo ilmaisee, miten suuri osa valosta heijastuu pinnasta.

Valon määrä ilmaistaan usein luxeina, joka ei kerro tilan valoisuudesta kaikkea koska silloin jätetään huomiotta heijastukset ja valonlähteiden sijoittelu. Mikäli ei ole käytettävissä valaisimen spektrijakauma taulukkoa josta voidaan päätellä valaisimen valon laatu, on paras vaihtoehto tutkia valonlähteen kelvineillä ilmoitettua värilämpötilaa, joka antaa parhaimman kuvan valonlähteen antamasta valon väristä. (Rihlma, 1999, s.9)

3 Valaistuksen vaatimukset tehdastilassa

Teollisuustiloissa työskentely on yleensä paikkaan sidottua toimintoa, jolloin valaistuksen suunnittelussa on pyrittävä tasaiseen yleisvalaistukseen. Työskentelytasojen pintojen väri ja tummuusaste ei saa poiketa liiaksi toisistaan kuten ei myöskään työstettävät kohteet. (Rihlana, 1999, s.85).

Suurten pintojen, kuten katon ja seinien on hyvä olla vaaleita ja lattian tulisi olla tummempi kuin seinien, jolloin kontrastin avulla saadaan huonetilojen muodot paremmin esille.

Heijastussuhteen suositeltuja arvoja eri pinnoille ovat:

- katto 80-90 %
- ikkunaseinä 60-90 %
- muut seinät 40-80 %
- lattia 20-60 %
- ovet 20-50 %
- listat ja karmit 10-30 % (Kilpelä, 2019, s.113-114).

Työturvallisuuslaki 23.8.2002 738/2002, 34 § määrittelee työpaikan valaistuksesta seuraavaa:

“Työpaikan tulee olla työn edellyttämä ja työntekijöiden edellytysten mukainen sopiva ja riittävän tehokas valaistus. Sinne on mahdollisuuksien mukaan päästävä riittävästi luonnonvaloa.”

Kyseinen lainkohta ei kuitenkaan anna tarkempaa tietoa riittävästä valaistuksesta työtilaan, vaan kyseinen tieto löytyy standardista SFS-EN 12464-1 valo ja valaistus.

Työkohteiden valaistus, (SFS 12464/2011, s. 14) joka määrittelee valaisu ympäristöstä seuraavaa:

Valaisuvaatimusten kolmen perustarpeen täyttymisenä:

- *näkömukavuus, jolloin työntekijä kokee valaistuksen vaikuttavan positiivisesti hyvinvointiinsa; tämä johtaa epäsuorasti parempaan tuottavuuteen ja työn laatuun*
- *näkötehokkuus, jolloin työntekijät pystyvät suoriutumaan näkötehtävistään myös vaativissa olosuhteissa ja pitempien jaksojen aikana*
- *turvallisuus.*

Kuvassa 3 on esiteltyä standardin STS 12464/2011 määrittelemät arvot vähimmäisvalaistusvoimakkuudelle metalliteollisuuden ja metallien käsittelyyn.

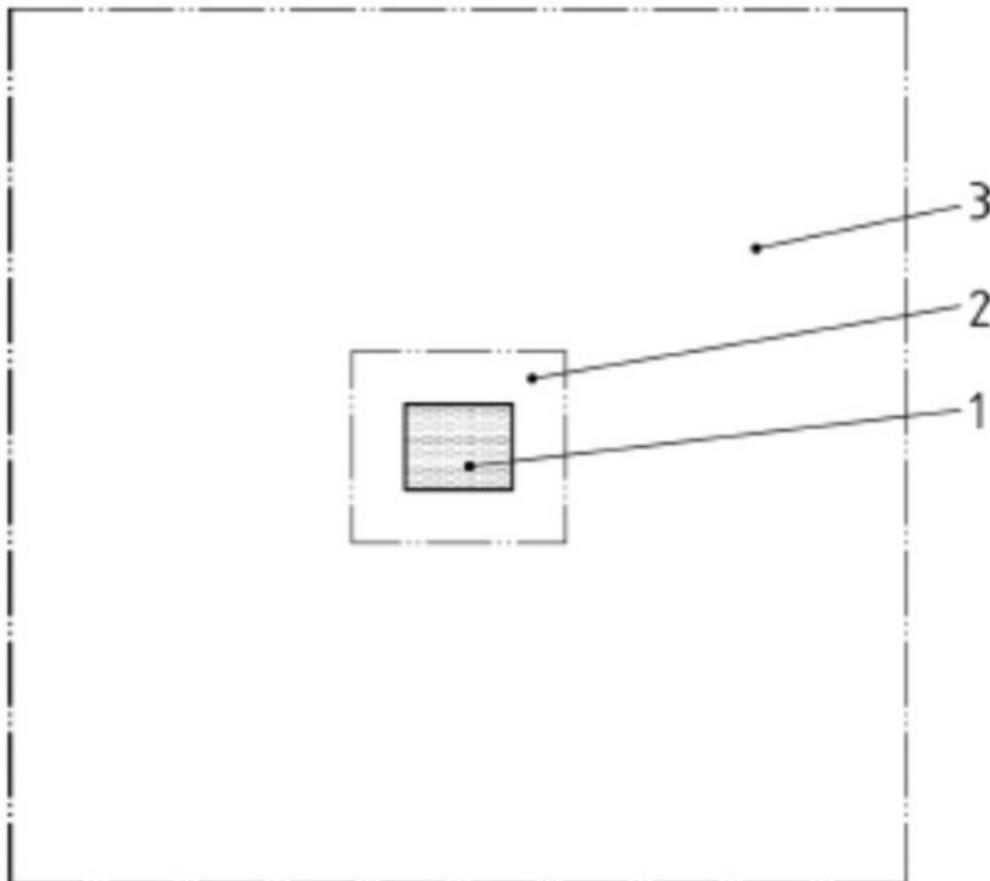
Kuva 3. Valaistusvoimakkuudet (SFS-EN 16464-1, 2011, s. 48).

Taulukko 5.18 Teollisuus ja käsityö -Metalliteollisuus ja metallien käsittely

Tila, tehtävä tai toiminta	E_m lx	UGR_L --	U_0 --	R_a --
Vapaataonta	200	25	0,60	80
Muottitakominen	300	25	0,60	80
Hitsaus	300	25	0,60	80
Karkea ja tavanomanen konetyö: toleranssit $\geq 0,1$ mm	300	22	0,60	80
Tarkkuuskonetyö, hiominen; toleranssit	500	19	0,70	80
Piirrotus, tarkastus	750	19	0,70	80
Langan ja putkien vetäminen; kylmämuokkaus	300	25	0,60	80
Levyntyöstö: paksuus ≥ 5 mm	200	25	0,60	80
Ohutlevytyö: paksuus < 5 mm	300	22	0,60	80
Työkaluvalmistus; leikkuuvälineiden valmistus	750	19	0,70	80
Kokoonpano:				
- karkea	200	25	0,6	80
- tavallinen	300	25	0,6	80
- hieno	500	22	0,6	80
- tarkkuustyö	750	19	0,7	80
Galvanointi	300	25	0,60	80
Pintakäsittely ja maalaus	750	25	0,70	80
Työkalujen, kaavaimien ja mallineiden	1000	19	0,70	80

Samainen standardi määrittelee myöskin välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen minimimitat verrattuna työalueeseen sekä työskentelyalueen välittömässä läheisyydessä olevan tilan koon seuraavasti, joka on esiteltynä kuvassa 4.

Kuva 4. Lähiympäristön ja tausta-alueen minimimitat (SFS-EN 16464-1, 2011, s. 20).



Jossa

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

Standardi määrittelee myöskin työalueen valaisuvoimakkuuden suhteen välittömään lähiympäristön valaisuvoimakkuuteen, josta oheinen kuva 5.

Kuva 5. Työalueen vähimmäisvalaistusvoimakkuudet (SFS-EN 16464-1, 2011, s. 20).

Taulukko 1 Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde

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

Hyötysuhdemenetelmällä arvioitaessa tilan vähimmäisvalaistuksen määrää saadaan laskettua seuraavalla tavalla, joka on esiteltynä kaavassa 1:

Kaava 1. Hyötysuhdemenetelmä.

$$\theta = \frac{E * A}{\eta L * \eta V}$$

Jossa

θ = kohteessa tarvittavien lamppujen tuottama yhteinen valovirta (lm)

E = alueen tavoiteltu valaistusvoimakkuus

A = valaistavan alueen pinta-ala

ηL = valaisimen hyötysuhde

η_V = valaistuksen hyötysuhde

(Suurilla alueilla voidaan käyttää hyötysuhteista ($\eta_L * \eta_V = 0,4 \dots 0,5$)).

Mikäli tehdashalliin tavoitellaan vähintään 300 lx valaistusvoimakkuutta, lasketaan se esimerkkilaskulla seuraavasti:

$$\Theta = \frac{E * A}{\eta_L * \eta_V} = \frac{300 \text{ lx} * 1768,95 \text{ m}^2}{0,4} = 1326709,5 \text{ lm}$$

Tämän valaisuvoimakkuuden saa 66,34 kappaleella 140 W:a lamppuja (á 20000 lm).

Tulos on sikäli vääristynyt, koska se kertoo koko alueen valaisuun vaadittavan minimi valaisimien määrän eikä ota huomioon, että muualla kuin työpisteessä voi olla alhaisempi valaistusvoimakkuus kuin 300 lx.

4 Mittausvälineet

Mittausvälineinä käytettiin FLUKE 298, FLUKE Ti25, Behan Unitest Duplex ja HT307 Lux/fc light meter mittalaitteita. Valaisuohjelmanä DIALux evo 9.1.

Mittaukset suoritettiin tehdashallissa sekä testioloissa. Saatuja arvoja käytettiin laskuissa.

4.1 Virtamittaukset

Virtamittaukset jakaantuivat testioloissa tiedonkeruuyleistimittarilla suoritettuihin mittauksiin sekä virtapihtimittauksiin tehdasoloissa. Virtapihtimittauksissa pyrittiin pitämään mittari aina samassa kulmassa mittaushetkellä. Laitteilla saatu mittaustulos oli riittävän tarkka vertailuun keskenään.

4.1.1 True-rms-tiedonkeruuyleistmittari

True-RMS, josta RMS muodostuu sanoista "root mean square" eli neliöllinen keskiarvo. Mittari hyödyntää keskiarvoon perustuvia matemaattisia kaavoja puhtaiden siniaaltojen tarkkoihin mittauksiin. Muut kuin sinimuotoiset aallot eivät välttämättä anna tarkkoja mittaustuloksia. (Fluke, n.d.)

Vaihtovirran tehollisarvo vastaa sitä tasavirtaa, joka kehittää tietyssä resistanssissa saman lämpömäärän kuin vaihtovirralla. Mikäli virran huippuarvo tiedetään, voidaan virran tehollisarvo laskea kaavalla 2:

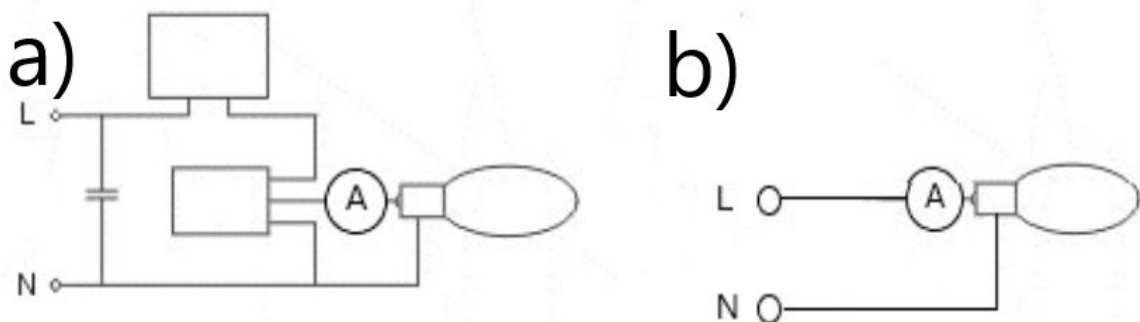
Kaava 2. Virran tehollisarvo (Aura & Tonteri, 2002, s. 152-153).

$$I_{rms} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$$

Jossa \hat{i} on virran huippuarvo.

Koeoloissa virtamittaus suoritettiin Fluke 289 True-rms-tiedonkeruuyleistmittarilla kuvan 6 osoittamalla tavalla. Mittauksissa haluttiin selvittää lampuille tulevien virtojen eroavaisuuksia.

Kuva 6. Virtamittaukset True-RMS-tiedonkeruuyleistmittarilla.



Jossa kohdan a) mukaiset mittaukset tehtiin Philips 400W monimetallilampuille sekä HQI retrofit-led lampulle. Kohdan b) mukainen mittaus tehtiin 220-240 V käyttöjännitteelle tarkoitetulle HQL-lampulle. Mittaukset suoritettiin kuvassa 7 olevalla tiedonkeruuyleismitarilla.

Kuva 7. Fluke 289 True-RMS.



4.1.2 Virtapihtimittari

Pihtimittarilla mitattaessa virtaa, ei tarvitse virtapiiriä katkaista mittauksen ajaksi vaan pihtivirtamittari on mittalaite, joka mittaa johtimessa kulkevaa virtaa virran luoman magneettikentän avulla. Pelkästään AC-virtaa mittaavat pihtivirtamittarien toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, joka perustuu Michael Faradayn havaintoon vuodelta 1831 jolloin hän osoitti, että johteen ympärillä muuttuva magneettikenttä synnyttää, eli indusoi johteeseen jännitteen, joka puolestaan aiheuttaa suljetussa virtapiirissä virran. (Nikkola ym., 1994, s. 10).

Hall-tekniikka käyttävä pihtimittarin mittaus perustuu elektroneihin vaikuttavaan magneettiseen voimaan, joka aiheuttaa johtimen reunojen välillä jännite-eron. Koska

mittaus ei perustu induktioon, pystyy mittarilla havaitsemaan myöskin paikallaan pysyviä magneettikenttiä. (Metropolia, 2010).

Pihtimittarit voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin:

- Virtamuuntajan sisältävät pihtimittarit, joilla voidaan mitata ainoastaan AC-virtaa.
- Hall-tekniikkaa käyttävät pihtimittarit, joilla voidaan mitata AC- sekä DC-virtaa.
- Joustavat lenkkihihtimittarit, jotka sisältävät Rogowski-kelan pystytään mittaamaan vain AC-virtaa, mutta jonka vahvuutena on mittaaminen erittäin pienessä tilassa.

Tehdasmittauksissa käytettiin oheisen kuvan 8 pihtivirtamittaria, jonka antamia tuloksia käytettiin kannattavuuslaskennassa tehoa laskettaessa. Virtapihtimittarilla mitattaessa on syytä muistaa mittarin asento, joka on hyvä pitää eri mittaustapahtumissa samana.

Kuva 8. Behan Unitest Duplex.



4.2 Lämpökamera

Lämpökamera hahmottaa kuvattavan esineen pinnan lähettämän infrapunasäteilyn perusteella mitattavan kiinteän kohteen pintalämpötilan. Lämpökamera voidaan mieltää lämpösäteilyn vastaanottimeksi. Mittaus perustuu kuvattavan kohteen pinnasta lähtevään lämpösäteilyyn, jolloin lämpökameran ilmaisin muuttaa mitattavan kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi. Lämpökamerat voidaan jakaa päätyyppien mukaan mittaaviin ja ei-mittaaviin. Mittaavia lämpökameroita käytetään yleisesti kiinteistöjen, teollisuuden, lämpöprosessien tai lämpökorreloivien vikojen kuntotarkistuksissa, ennakoivassa kunnossapidossa, tutkimuksissa tai vikojen paikantamisessa. Ei-mittaavia laitteita taas käytetään lähinnä etsinnässä ja valvonnassa. (Infradex, 2021).

FLUKE Ti25-lämpökameralla mitattiin testioloissa eri lamppujen pintalämpötiloja oheisella mittalaitteella, joka on kuvassa 9. Lämpötilakuvia on esiteltynä liitteissä 3-5.

Kuva 9. FLUKE Ti25.



4.3 Valaistusvoimakkuusmittari

Käytetyssä mittarissa valaistusvoimakkuuden tunnistimena oli silikonifotodiodi, jossa on spektrivastesuodatin.

Kuvassa 10 kyseinen mittari, jolla mitattiin testioloissa monimetallilamppujen valaisuvoimakkuuksien eroja verrattuna käyttämättömään monimetallilamppuun sekä tehdasoloissa valaisukentissä olleet HQI, HQL ja Philips 160 W -lamput työskentelyoloja vastaavissa tilanteissa.

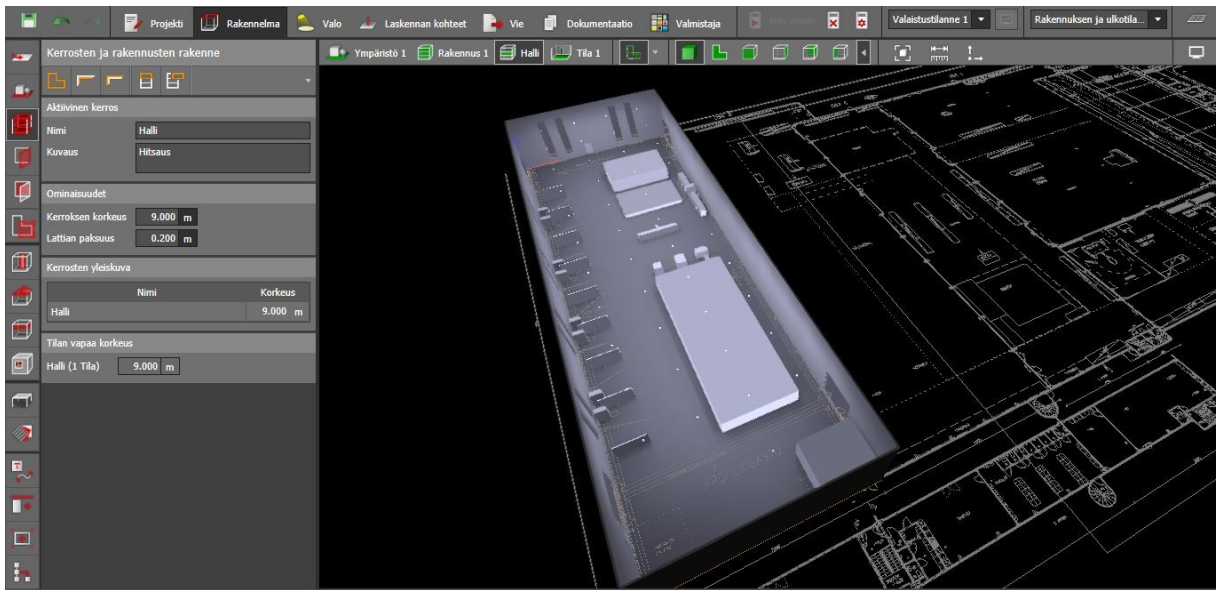
Kuva 10. HT307 Lux/fc light meter.



4.4 DIALux evo

DIALux evo on valaisusuunnittelussa käytettävä kokonaisvaltainen tietokoneohjelmisto, joka on freeware-ohjelmisto. Ohjelman vahvuutena on eri valmistajien tarjoamat laajat valaisinkirjastot. Kuvassa 11 DIALux evo:n ohjelmalla piirretty tehtaan pohjakuvaan tutkittava halli kalusteineen.

Kuva 11. DIALux evo 9.1.



5 Lähtökohta

Muutettavan tehdashallin valaistus hoidetaan 11 valaisimen monimetallilamppu jonolla, joita on asennettu neljään riviin. Tämän lisäksi on erillinen lamppu latauspisteen yläpuolella. Tilaan on tarkoitus kartoittaa nykyaikaisempi valaistus johtuen monimetallilamppujen saatavuus ongelmasta sekä suhteellisen suurista käyttökustannuksista. Tilaan ei toistaiseksi ole tarkoitus muuttaa valaisimien paikkoja tai lukumääriä.

Kuvassa 12 on pyritty tuomaan esille hallin sisäkorkeuden ja valaisinkiskotuksen eron, joka on metri katon sisäkorkeuden ollessa 9 metriä. Valaisimia ei ole mahdollista asentaa alemmaksi ilman suurta muutostyötä johtuen hallinosturin sijoituksesta.

Kuva 12. Tehdashallin monimetallilamppu rivistöä.

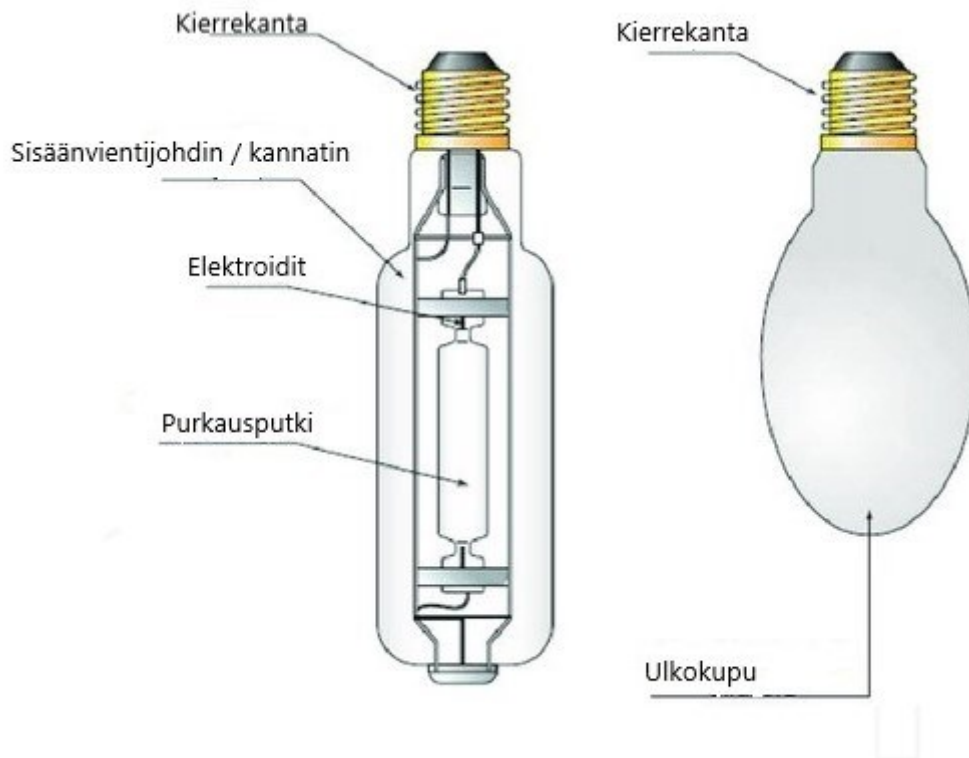


5.1 Monimetallilamput

Monimetallilamppujen elinkaari alkaa 1960-luvun alusta, jolloin ensimmäiset lamput valmistettiin kaupalliseen tarkoitukseen. Monimetallilamput eli purkauslamput perustuvat korkeapaineiseen kaasupurkaukseen, jonka kehitys lähti liikkeelle yritykseen parantaa elohöyrylamppun väriominaisuuksia. Tähän päästiin lisäämällä lampun purkausputkeen elohopean ohella metallien halogeeniyhdisteitä. Näiden halidien ansiosta on mahdollista valmistaa valoteknisistä ominaisuuksiltaan huomattavasti toisistaan eroavia lamppuja. Tämän johdosta monimetallilamppujen värilämpötila saadaan 3000 – 6000 K välille. Mitä korkeampi tämä arvo on, sitä kylmempi ja sinertävämpi lampun värisävy on. Värintoistokyky R_a asettuu 65 – 90 välille. Mitä suurempi arvo on, sitä luonnollisemmin värit toistuvat. (Halonen & Lehtovaara, 1992, s. 257)

Kuvassa 13 esitellään monimetallilampun rakennetta, joka lampun ulkoisen muodon erilaisuudesta huolimatta on sisäisesti sama.

Kuva 13. Monimetallilampun rakenne (ResearchGate, 2021).



Purkausputken materiaali on kvartsilasilasisista siirtynyt pääosin keraamisiin, jotka säilyttävät värisävynsä käyttökänsä läpi varsin hyvin sekä valotehokkuus ja väritoiston ollessa vastaavia kvartsilasisia parempi. Purkausputken korkein sallittu lämpötila on noin 950 C° jonka jälkeen korkeammassa lämpötilassa paine-ero purkausputken ja ulkoputken välillä saattaa aiheuttaa purkausputken vääntymiä.

Lampun palaessa purkausputkessa oleva täyteaine ei ole täysin höyrystynyttä vaan, osa aineesta sijaitsee purkausputken alhaisemman lämpötilapisteen alueella kylmäpisteen lähellä. Purkausputken kylmäpisteen lämpötila määrittelee aineiden höyrinpaineen sekä sen kautta lampun valotekniset ominaisuudet. Lampun polttoasento on usein rajattu valmistajien toimesta koska se usein vaikuttaa kylmäpisteen paikan sekä sen lämpötilan muuttumisen, joka vaikuttaa lampun valoteknillisiin ominaisuuksiin.

Purkausputkien täytös koostuu elohopeasta, eri metallien halogeeniyhdisteistä sekä pienestä määrästä jalokaasua. Purkauksessa voidaan käyttää useita erilaisia metallien halogeeniyhdisteitä. Elohopean toimiessa ns. puskurikaasuna. Metallien halogeeniyhdisteet

vaativat purkausputkessa olevaa elohopeaa korkeamman höyrystyslämpötilan. Tarvittava lämpötila tähän saadaan korkeapaineisen elohopeapurkauksen kautta.

Ulkokupu toimii purkausputken suojana sekä estää purkausputken lämpöhävikkiä, joka vaikuttaa lampun elinikään madaltaen lampun tarvitsemaa toimintalämpötilaa.

Turvallisuussyistä ulkokuvun sisällä käytetään kaasutäytöstä tyhjiön sijaan, jolla estetään purkausputken särkyessä vaarallinen räjähdys. Lampun suojana on valaisimessa käytettävä suojalasia estäen lampun pirstoutuessa kuumien osien leviämisen tilaan.

Sytyttimen avulla monimetallilampuilla synnytetään elektrodien välille niin suuri sähkökenttä, jolloin saadaan syntymään läpilyönti purkausputken kaasuissa. Jalokaasun avulla alennetaan purkauksen syttymisjännitettä. Syttymisen jälkeen kestää normaalisti monimetallilampuilla noin 4 – 6 minuuttia saavuttaa lopullinen toimintatila.

Monimetallilamput voidaan laijitella purkausputken valmistusmateriaalin mukaan kvartsilasiin tai keraamisiin purkauslamppuihin jossa keraamiset lamput edustavat viimeisintä tekniikkaa tällä saralla säilyttäen paremmin kuin kvartsilasilliset vastaavat lamput valovirran sekä värisävynsä läpi elinkaarensa. Tässä tapauksessa syvennyttään lähemmin keraamiseen monimetallilamppuun jonka hyväksi on laskettava saatavuus päivänvalosävyisinä jonka suurin hyöty tulee ilmi ennenkaikkea tehdasympäristössä toimiessaan mahdollistaen näköelimen maksimaalisen värienerotuskvyyvyn.

Tehtaassa käytettävän yleisimmän monimetallilampputyypin kuvattuna kuvassa 14 valaisimesta irrottamisen jälkeen.

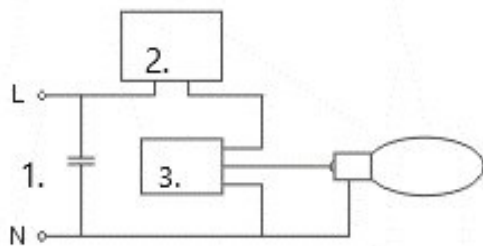
Kuva 14. Philips MASTER HPI Plus 400W/645 BU E40 1SL/6.



Lamppu on Philipsin 400 W, värikoodiltaan 645 joka vastaa nimellistä värilämpötilaa 4500 K. Valmistajan ilmoittama nimellinen valotehokkuus on 80 lm/W.

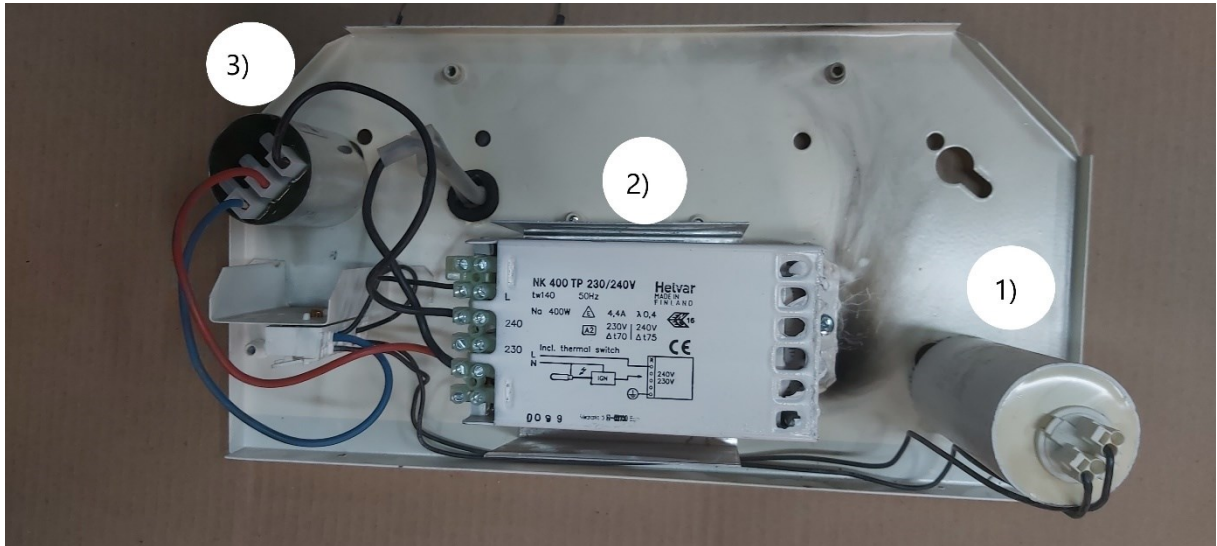
Kuvassa 15 esitellään tehtaassa käytettävien monimetallilamppujen kytkentätavan. Lamput ovat kytkettynä rinnankytkennällä.

Kuva 15. Kytkennästä 1) Kondensaattori, 2) kuristin ja 3) sytytin (obo-7, 2019).



Kuvan 15 kytkentäkuva vastaa kuvan 16 todellista tehtaan valaisimen pohjaa. Näistä kuristimen hajoaminen verrattuna muihin komponentteihin on epätodennäköistä.

Kuva 16. 1) Kondensaattori, 2) kuristin ja 3) sytytin.



5.1.1 Kuristin

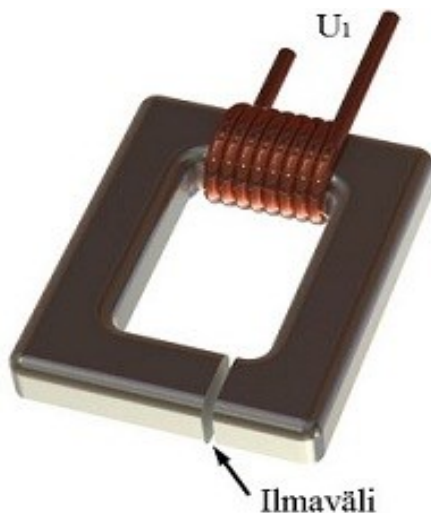
Kuristinta käytetään jännitepiikkien muodostamisen, joka on virran muutoksia induktiivisesti vastustava komponentti. Muuttuvan virran aiheuttama muuttuva magneettikenttä aiheuttaa kuristimen napojen väliin jännitteen, joka pyrkii vastustamaan alkuperäisen virran muutosta. Kun virta kuristimessa alenee, myös kuristimen magneettikenttä heikkenee suhteessa virtaan. Kuristimen oma magneettivuon pieneneminen indusoi kuristimen induktiolain mukaisen itseinduktiojännitteen. itseinduktio aiheuttaa virran jälkeen jäämisen jännitteestä, virran kulkua rajoittavana, tästä johtuen saadaan virran ja jännitteen vaihe-ero φ joka on 90° . (Nikkola ym. 1994, s. 38).

Kuristin varastoi energiaa antamalla negatiivisen kenttäjännitteen käämin virran kasvaessa ja vapauttaa energiaa lisäjännitteenä virran pienetessä. Kuristimen toiminta vastaa mekaanista vauhtipyörää sähköisessä muodossa. Kuristimen rakenne on muuntajaa lähes vastaava, joskin kuristimen rautasydämessä on yksi tai useampi ilmarako estäen rautasydämen kyllästymisen pienillä virroilla (Noratel, n.d., s. 16-24).

Lakkaeristeinen kuparilanka on kuristimessa käärittynä kelarungolle. Rungossa oleva rautasydän on koottu ohuista metallilevyistä. Sydämessä oleva ilmaväli parantaa sähköisiä ominaisuuksia sekä vähentää magneettista kyllästymistä, kuristimesta kuuluva ääni syntyy juuri tästä ilmaraosta. Tämä johtuu ilmaraon eri puolilla olevista sydämen osista, joita magneettiipiiri yrittää vetää yhteen. Ilmaraosta lähtevä magneettinen hajavuo voi myöskin saada lähellä olevat metalliosat värähtelemään. Kuva 17 esittelee kuristimen melko yksinkertaisen rakenteen hyvin, jossa huomioitavaa kuristimen ilmaväli.

Kuristimella varustetun valaisimen jännitteen ja virran välinen vaihesiirto on induktiivinen, eli virta on jännitettä jäljessä. Kuristimen rikkoontuminen yleensä johtuu lakkaeristeisen kuparilangan pinnoitteen vahingoittumisesta, joka on seurausta suurista lämpötiloista.

Kuva 17. Perinteinen rengaskuristin (Intertrafo. n.d. [kuva]).



5.1.2 Kondensaattori

Kondensaattoreita käytetään yleisesti häiriöiden poistoon, sekä käyttöjännitteen suodatukseen. Kondensaattorin toiminnallinen kuvaus on hyvin esiteltyä Ahoranta (2015, s. 111):

Kondensaattori muodostuu kahdesta ohuesta metallilevystä, jotka ovat lähellä toisiaan ja joiden välissä on sähköeriste. Kondensaattoreiden levyille varastoidaan sähköä: toiselle

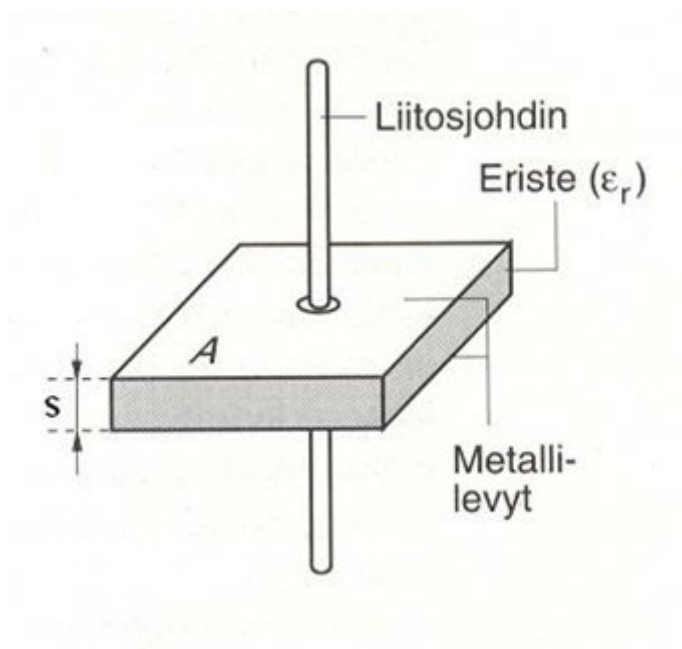
levylle positiivinen varaus ja toiselle negatiivinen. Kondensaattorin eristeaineena voi olla ilma, jokin kiinteä aine tai oksidikalvo.

Kondensaattoreiden tärkeitä ominaisuuksia:

- Kondensaattori ei johda tasavirtaa eli kondensaattori muodostaa katkoksen tasasähköpiirissä.
- Kondensaattori johtaa vaihtovirtaa. Kondensaattori johtaa sitä paremmin, mitä suurempi vaihtovirran taajuus on. Tämä johtuu siitä, että kondensaattorin vaihtovirtavastus pienenee samassa suhteessa kuin taajuus kasvaa.

Tehtaan valaistuksen kytkennässä, kondensaattori kompensoi pätötehoa. Kondensaattorin pelkistetty rakenne esitellään kuvassa 18 selkeästi.

Kuva18. Kondensaattorin rakenne (Rantanen, J. n.d. s. 65).



Josta saadaan laskettua kaavalla 3 kondensaattorin kapasitanssi F (faradi):

Kaava 3. Kapasitanssi (Ahoranta ym., 1993, s. 147).

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot A}{s}$$

Jossa,

ϵ_r = eristeen ominaisuus, permittiivisyys

A = levyjen pinta-ala

s = levyjen etäisyys toisistaan.

5.1.3 Sytytin

Vaikka monimetallilamppu vastaa ominaisuuksiltaan elohopealamppua siinä ei ole lampun sisällä olevia sytytys Elektrodeja, koska lampun syttymisjännite on elohopealamppua huomattavasti korkeampi. Tästä syystä sytytinlaite on monimetallilampulle tarpeellinen, jossa sytytinpulssit ovat tavallisesti välillä 0,6 – 6 kV.

Kytettäessä sytytin johtaa aluksi virtaa lävitseen ja sama virta lämmittää lampun elektrodeja. Kun sytyttimen virtapiiri avautuu, kuristimeen varautunut energia aiheuttaa jännitepulssin

5.2 Led

Ledit ovat puolijohdekomponentteja, joissa ei ole liikkuvia osia eikä elohopeaa. Ledeissä valo syntyy hyvin ohuessa materiaalikerroksessa ns. kvanttikerroksissa. Ledisiruissa kvanttikalvo sijaitsee p- ja n-tyypin materiaalikerrosten välissä, jonka ominaisuudet määräävät syntyvän valon aallonpituuden. Ledit eivät itsessään säteile lämpösäteilyä, vaan lämpöhäviöt on johdettava ulkoiseen jäähdytyslevyyn. Ledin teho on pieni, yleensäkin watin luokkaa, jolloin led-valaisimeen on asennettava useita ledejä.

Markkinoilla on tavallisten led lamppujen rinnalle tullut ns. retrofit-led lamppuja, jotka voidaan asentaa perinteisen lampun tilalle ilman valaisimen muutostöitä. Ledin heikkoutena voidaan pitää huonoa lämmönkestävyyttä. (Hietalahti, L., 2013, s. 298-299).

Kuvassa 19 esiteltynä led lamppumallit, joita käytettiin mittauksissa. Päältäpäin katsottuna kyseiset lamput ovat lähes identtiset.

Kuva19. 1) HQL 230 V led lamppu ja 2) HQL 140 V retrofit-led lamppu.

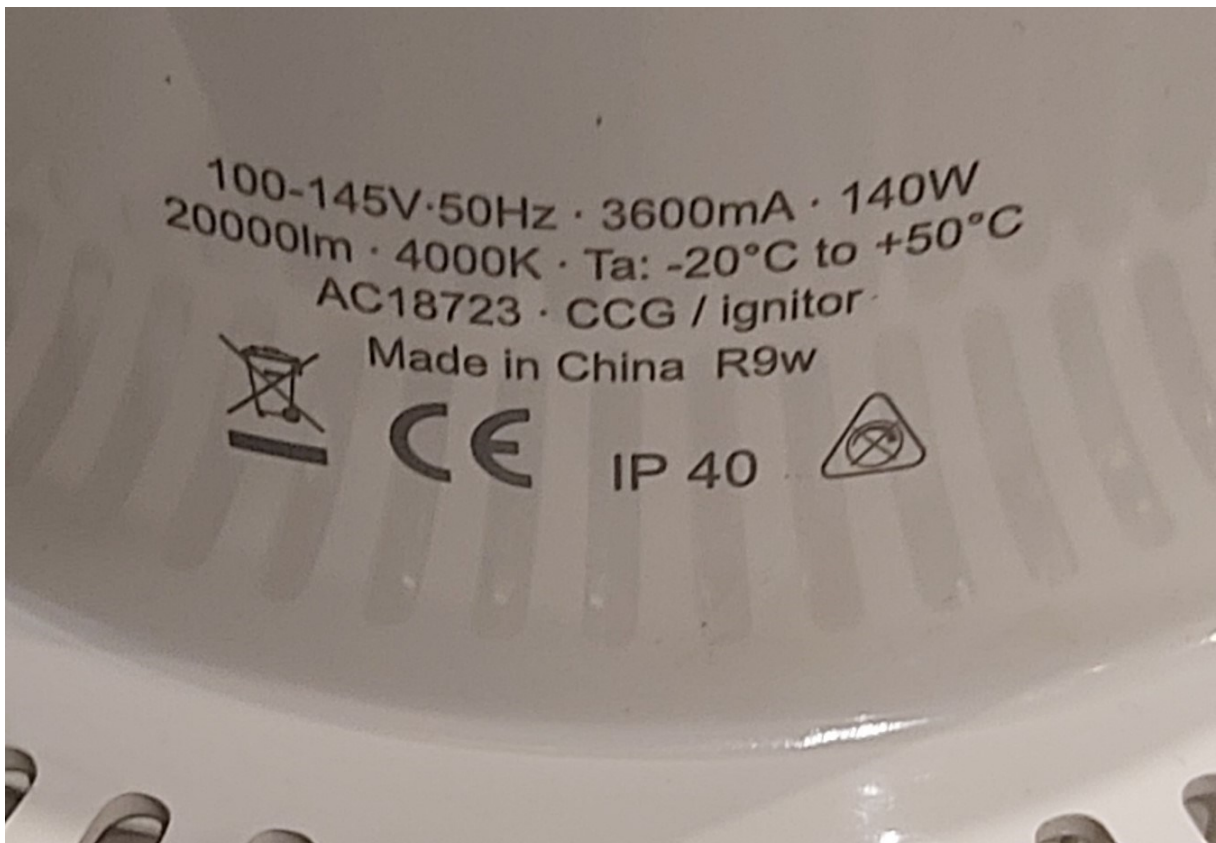


Ainoa selkeä eroavaisuus lamppujen välillä oli kantoihin painetut arvokilvet, jotka ovat kuvattuina kuvissa 20 ja 21. Huomioitavaa kilvessä olevan tekstin pienuus.

Kuva20. HQL-lamppu.



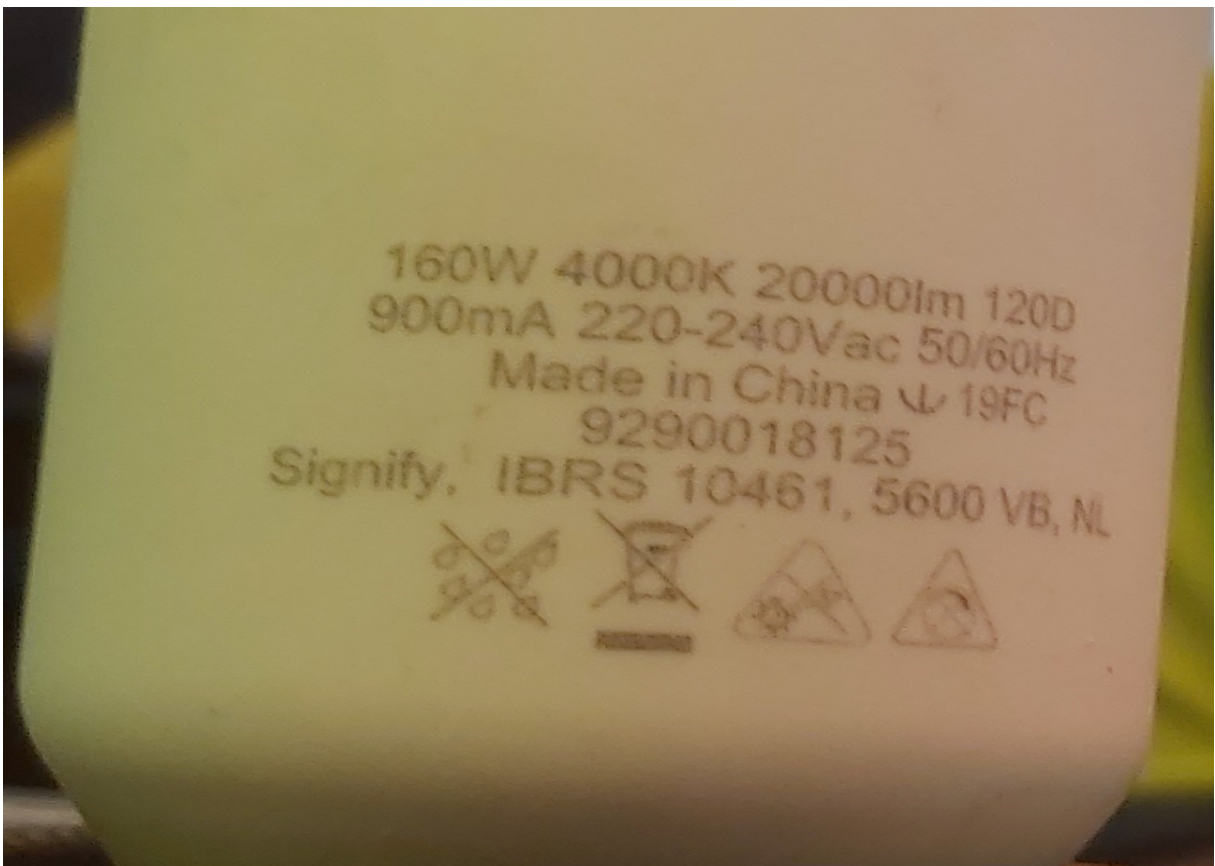
Kuva 21. HQI-lamppu.



Lamput eivät fyysisiltä mitoiltaan eroa juurikaan toisistaan mutta havaittava painoero on. Tämän takia ei ole suotavaa, että lamppuja varastoidaan samassa tilassa ilmeisen sekaantumisvaaran takia koska ns. retrofit-led lampun asentaminen suoraan 230 V:n jännitteeseen tuhoaa lampun varmuudella.

Vertailun vuoksi kuvassa 22 Philips 160 W -lampun arvot, joita voi verrata kuvan 20 HQI-lampun vastaaviin. Ainoa ero löytyy tehon lisäksi nimellisvirran arvosta.

Kuva 22. Philips 160 W -lamppu.



6 Mittauksissa käytetyt menetelmät

Mittaukset voidaan jakaa kahteen eri tapahtumasarjaan. Testioloihin ja tehtaassa suoritettuihin mittauksiin.

Testioloissa tapahtuneet mittaukset, joissa verrattiin valaisukenttien tieltä purettujen monimetallilamppujen satunnaisesti valittujen lamppujen virtaa, pintalämpötilaa sekä valaisumäärää 10 minuuttia sytytyksen jälkeen uuteen vastaavaan monimetallilamppuun. Vertailun vuoksi mitattiin HQL- ja HQI -lamppujen virrat sekä pintalämpötilat jättäen valaisuvoimakkuusmittaukset pois näiden osalta, koska ei ollut vastaavia käytettyjä lamppuja saatavilla vertailuun.

Tehdasoloissa mitattiin kohde hallin valaistuksen virrankulutus, sekä valaisuvoimakkuudet 80 senttimetrin korkeudelta maanpinnasta työskentelyoloissa Philips 400W-, HQL-, HQI- ja Philips 160 W -lamppujen kohdalla. Jälkimmäistä haluttiin käyttää vertailuna suuremman, ilmoitetun tehon vuoksi.

6.1 Mittaus testioloissa

HQL-lamppu mitattiin koeoloissa virtamittarilla kuvan 6 b) mukaan. Mittaus suoritettiin yhdellä lampulla.

Mittauspenkissä suoritettavat mittaukset lamppujen suhteen tapahtuivat metrin etäisyydeltä valaisuvoimakkuuksien sekä pintalämpötilojen osalta. Virtamittauksissa mitattiin lampulle menevää virtaa.

6.1.1 Mittauspenkki

Liitteen 1 mukaisesti mitattiin mittauspenkissä metrin etäisyydellä lamppujen lämpökuvat, valaistusvoimakkuudet ja virta ajanhetkellä +10 minuuttia sytytyksestä. Mitatut arvot lampuista esiteltynä taulukossa 1.

Mitatut pintalämpötilan arvot saatu lämpökamerankuvista, jotka ovat esiteltynä liitteissä 3-5. Taulukossa 1 esitellään mitattujen lamppujen virta, valaistusvoimakkuus ja pintalämpötila tulokset.

Taulukko 1. Mittaustulokset testioloissa.

Lamppu	Virta I / A	Valaistusvoimakkuus E / lx	Pintalämpö T / C°
Monimetalli käytetty 1	3,69	3210	175,9
Monimetalli käytetty 2	3,582	2820	174,6
Monimetalli käytetty 3	3,783	2600	190
Monimetalli uusi	4,073	4400	170,6
Osram HQI 110 V	3,364		33,5
Osram HQL 230 V	0,6091		34,4

Taulukosta saatujen arvojen avulla voidaan todeta led lamppujen pintalämpötilojen oleva huomattavasti matalampia verrattuna vastaaviin monimetallilamppuihin. Huomion arvoista on käytetyn monimetallilamppu 3:n pintalämpötilan suurehko ero uuteen, vastaavaan lamppuun.

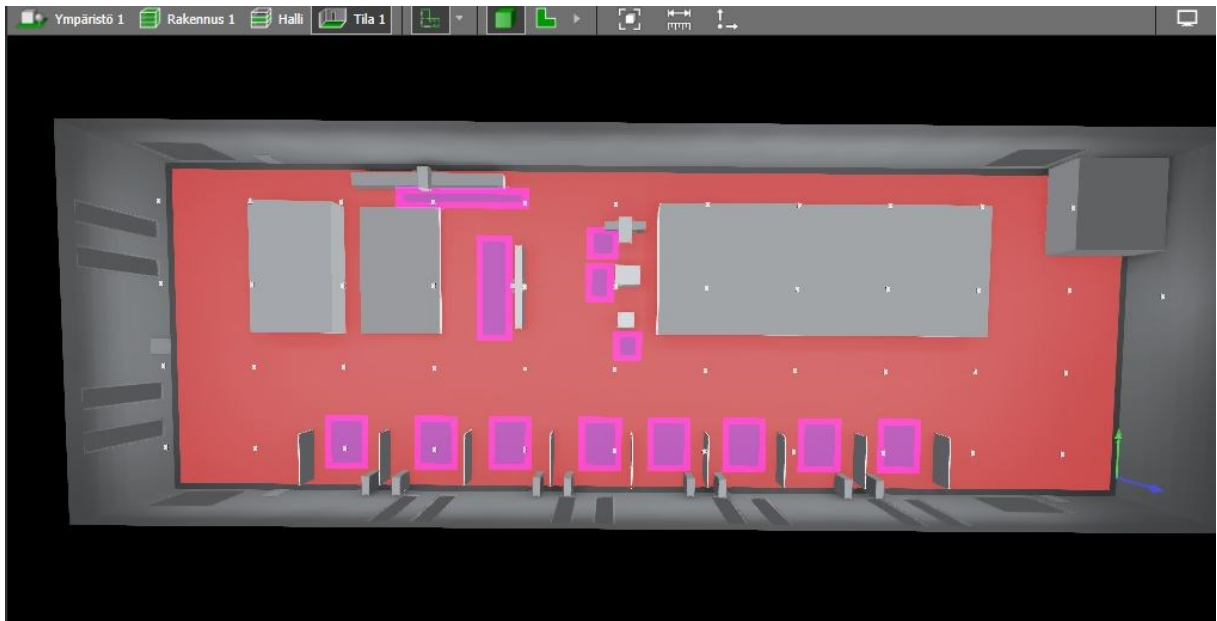
Monimetallilamppujen kohdalla kiinnittää huomiota epätasaiset virta arvot sekä valaisuvoimakkuuksien erot. Lamput ovat samasta hallista.

6.1.2 Valaisuvoimakkuuksien tutkiminen DIALux evolla

Valaisusuunnitteluohjelmalla tutkittiin pääasiallisesti työpisteisiin kohdistuvaa valaisuvoimakkuuden suuruutta. Vääräväreissä ei havaittu mainittavaa eroa.

Kuvassa 23 on esiteltyä hallin työpisteiden mittausaluet pinkinvärisinä laatikkoina 80 senttimetrin korkeudella lattiasta katsottuna. Kuvassa näkyvät myöskin valaisimien paikat valkoisina pisteinä.

Kuva 23. Hallin työpisteet.



DIALux-ohjelma antoi seuraavat arvot mittauskohdille:

- HQI-lamppujen kohtisuora valaisuvoimakkuus työpisteille liikkuu välillä 358 lx – 510 lx.
- HQL-lamppujen kohtisuora valaisuvoimakkuus työpisteille liikkuu välillä 368 lx – 518 lx.
- Philips 160 W -lamppujen kohtisuora valaisuvoimakkuus työpisteille liikkuu välillä 372 lx – 532 lx.

Ohjelman mukaa jokaisessa työpisteessä ylittyy reilusti standardin SFS-EN 16464-1, 2011 määrittelemä vähimmäisvalaisuvoimakkuus.

6.2 Mittaukset tehdashallissa

Valaistusmittaukset suoritettiin n. 80 senttimetrin korkeudelta lattiatasosta olevalla mittarilla.

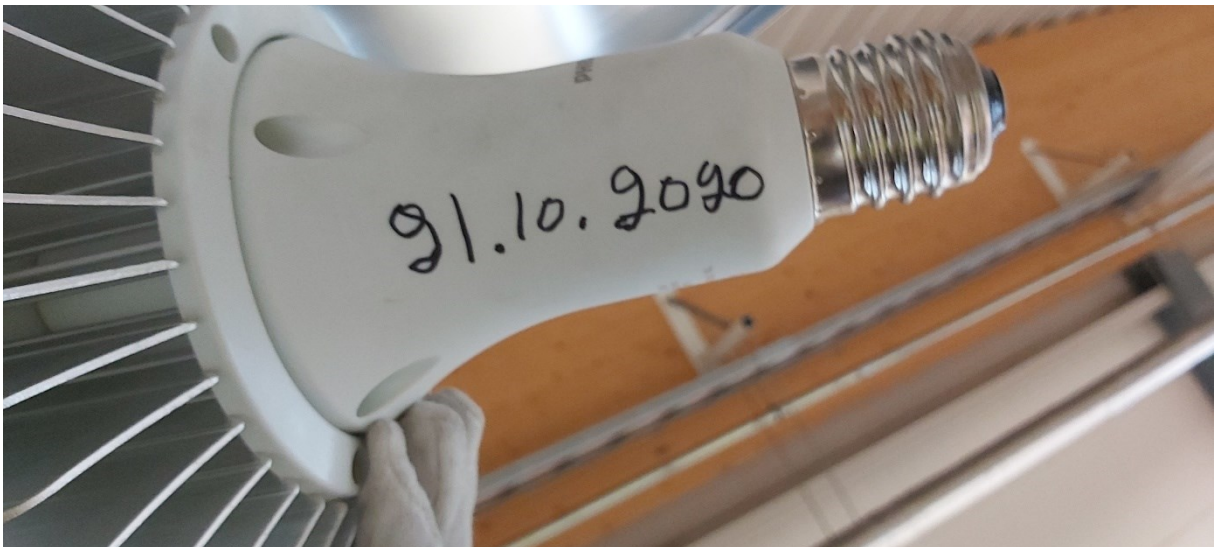
Lamppujen mittaustavat:

- Monimetallilamppujen virtamittaukset suoritettiin virtapihtimittauksin tehdashallissa, kontaktoreilta tulevien johtojen riviliitinlähtöjen puolelta.
- HQI-lamppujen mittausta suoritettiin kontaktorin lähtöpuolelta.
- Philips 160 W -lamppujen virta mitattiin lampulle tulevalta vaiheelta, lampun vierestä virtapihtimittarilla.

6.2.1 Valaisuvoimakkuudet

Valaisuvoimakkuuksien osalta tehtaaseen oli luotu useampi testikenttä, joiden koko vaihteli neljän lampun ryppäistä yksittäisiin lamppuihin. Philipsin 160 W -lamput, joita on hankittu vertailumielessä ja HQL-lamppujen kentät olivat jo laitettu viime vuoden lokakuun puolella kuten kuvassa 24 lamppuun kirjoitetusta asennuspäivämäärästä käy ilmi.

Kuva 24. Lamppuun kirjoitettu asennuspäivä.



Lamppujen asennusohjeistuksen mukainen varmistusvaijeri kuvattuna liitteessä 2, joka on asennuksen yhteydessä laitettava lampun painon takia. Liitteestä 2 käy hyvin myöskin ilmi käytettävän valaisinkuvun muoto, joka on alkuperäinen ja jota ei ole tarkoitettu tämänkaltaisiin lamppuihin.

Korkeuserona mitattiin ledi pinnan ja kuvun reunan välinen etäisyys Philips 160 W- ja HQL-lamppujen avulla. Philips 160 W -lampun mitattu tulos oli 18 senttimetriä kun taas HQL-lampun 14 senttimetriä. Valmistajien ilmoittamat lamppujen korkeudet ovat Philips160 W:n lampulla 263 mm ja HQL-lampulla 307 mm.

Tehtaassa mitattuja valaisuvoimakkuuksien tuloksia esiteltynä 6 metrin etäisyydellä olevista valaisukentistä taulukossa 2.

Taulukko 2. Valaisuvoimakkuus.

Lamppu	Lamppu 1 E / lx	Lamppu 2 E / lx	Lamppu 3 E / lx
Philips 160W	319	287	344
Osram HQI 140W	440	290	290
Osram HQL 140W	386	356	430

Tuloksista päätellen olivat Philips 160W:n lampun mittaustulokset verrattuna HQL-lamppuun huomiota herättävän pieniä. Lamput mitattiin 3:een eri kertaan, eri päivinä. Tulokset olivat saman suuntaiset.

Valaisinkenttien läheisyyden johdosta pystyttiin myöskin seinästä toteamaan, että HQL-lamppujen valorajat olivat n. metrin korkeammalla kuin Philips 160 W:en lamppujen.

Tuloksista johtuen, mitattiin valaisuvoimakkuudet myöskin ilman valaisinkupuja Philips 160 W:n lamppujen ja HQL-lamppujen kesken kuten kuvasta 25 ilmenee. Kuvun muoto tulee hyvin ilmi liitteestä 2.

Kuva 25. Lamppu ilman kupua.

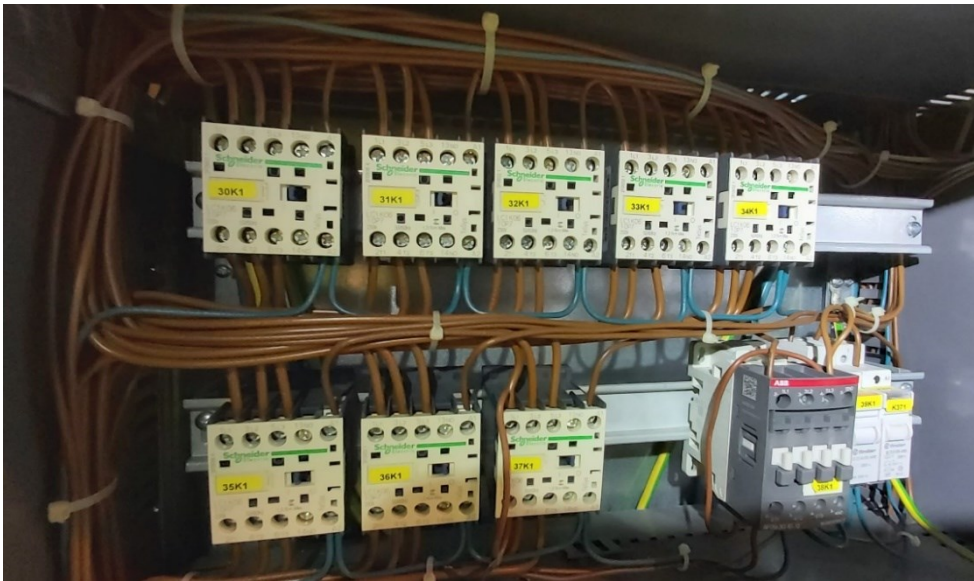


Todettiin ettei valaisimen kuvun käytöllä eikä lamppujen korkeuserolla ollut mainittavaa vaikutusta saatuihin valaisuarvoihin mutta, Philips 160 W -lampun seinälle luoma valoraja nousi HQL-lampun tasolle valaisimen kuvun poiston jälkeen.

6.2.2 Monimetallilamppujen mittaaminen ja laskeminen

Virtapihtimittaukset suoritettiin hallin valaistuksen kontaktorien (kuva 26) yläpuolelta löytyvillä (kuva 27) riviliittimiltä.

Kuva 26. Tehdashallin valaistuksen kontaktorit.



Kuva 27. Tehdashallin valaistuksen riviliittimet.



Virtamittaustulokset ovat esiteltynä liitteessä 6, jossa mitatuilla virta-arvoilla on laskettu valaistuksen teho. Laskennassa on jännitearvona käytetty 230 V.

Sähkötehon suureyhtälö määritellään, kaavan 4 mukaan seuraavasti:

Kaava 4. Teho (Nikkola ym., 1993, s. 185).

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

jolloin tehon yksiköksi saadaan

$$[P] = [U][I] = VA = W \text{ (watti).}$$

Laskennallista tehon arvoa voidaan käyttää sähköenergiaa laskettaessa.

Hallin vuotuinen käyttötuntimäärän arvioidaan olevan vuodessa:

- Maanantai, tiistai, keskiviikko ja torstai 10 tuntia / päivä
- perjantaisin 9 tuntia
- lauantaisin 8 tuntia.

Halli on kokonaan käyttämättömänä yhden viikon jouluna sekä kaksi viikkoa kesällä, joten arvioitu käyttötuntimäärä vuodessa on: $((10 \text{ h} \cdot 4 + 9 \text{ h} \cdot 1 + 8 \text{ h} \cdot 1) / \text{vko}) \cdot (52 \text{ vko} - 3 \text{ vko}) = 2793 \text{ h}$

Sähköenergian laskeminen voidaan esittää kaavan 5 muodossa:

Kaava 5. Energia (Nikkola ym., 1993, s. 184).

$$E = UI t$$

Josta energian yksiköksi saadaan

$$[E] = [U][I][t] = VAs = Ws.$$

Sijoitetaan tähän lausekkeeseen jo selvitetty arvot hallin vuotuisesta sähköenergian kulutuksesta valaistuksessa:

$$E = 20874,8 \text{ W} \cdot 2793 \text{ h} = 58303,3 \text{ kWh}$$

Tästä saadaan laskettua LENI-luku kuten kaavassa 6 ilmenee:

Kaava 6. LENI-arvo (ensto, n.d.).

$$LENI = \frac{W_{valaistus}}{A_{netto}}$$

Jolloin yksiköksi saadaan:

$$[LENI] = \frac{[W_{valaistus}]}{[A_{netto}]} = \frac{kWh/a}{m^2}$$

josta

$W_{valaistus}$ = valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh

A_{netto} = lämmitetty nettoala, m²

$$LENI = \frac{58303,3 \text{ kWh}}{1768,95 \text{ m}^2} = 32,9594 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \approx 33,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

6.2.3 Osram HQI:n mittaaminen ja laskeminen

HQI retrofit-led, jonka valotehokkuus on 142 lm/W ja joka on suunniteltu asennettavaksi monimetallilampun tilalle muuttamatta tai muokkaamatta valaisinta mitenkään, mitattiin kolmen valaisimen ryhmässä virtapihtimittarilla kontaktorin lähtöpuolelta kuvan 28 osoittamalla tavalla.

Kuva 28. Osram HQI-lamppujen valaistuskentän mittaus.



Mitattu ampeerimäärä kolmen lampun osalta on 3,39 A. Hallille voidaan ajatella 45 lampun osalta, jaottelemalla 15 kappaletta 3 lampun ryhmiä. Joten kyseisellä lampputyypille voidaan laskea kokonaisvirta Kirchoffin virtalain mukaisesti kaavalla 7 seuraavasti:

Kaava 7. Kirchoffin virtalaki (Ahoranta ym., 1993, s. 71).

$$\sum I = 0$$

$$15 \text{ kpl} * 3,39 \text{ A} = 50,85 \text{ A.}$$

Tehon laskennassa käytetään jännitearvoa 230 V, jolloin tehoksi saadaan:

$$P = U * I = 230 \text{ V} * 50,85 \text{ A} = 11695,5 \text{ W}$$

Sähköenergian kulutukseksi lasketaan:

$$E = UIt = Pt = 11695,5 \text{ W} \cdot 2793 \text{ h} = 32665,5 \text{ kWh.}$$

LENI-luku edellä lasketuin arvoin käyttämällä kaavaa 6:

$$\text{LENI} = \frac{W_{\text{valaistus}}}{A_{\text{netto}}} = \frac{32665,5 \text{ kWh}}{1768,95 \text{ m}^2} = 18,4661 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \approx 18,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Liitteessä 8 on DIALuxin yhteenveto tilan valaistuksesta.

6.2.4 Osram HQL-lampun mittaaminen ja laskeminen

HQL led lamppu, jonka valotehokkuus on 142 lm/W ja joka on suunniteltu asennettavaksi 230 V jännitteeseen, mitattiin testioloissa yhden lampun avulla. Virraksi saatiin 0,6091 A, josta voidaan laskea kirchhoffin virtalain mukaan koko hallin valaistuksen virraksi:

$$\sum I = 0$$

$$45 \text{ kpl} \cdot 0,6091 \text{ A} = 27,4095 \text{ A}$$

Josta teho lasketaan:

$$P = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 27,4095 \text{ A} = 6304,19 \text{ W}$$

sähköenergian kulutus:

$$E = UIt = Pt = 6304,19 \text{ W} \cdot 2793 \text{ h} = 17607,6 \text{ kWh.}$$

LENI-luku laskettuna kaavalla 6, edellä saaduvin arvoin.

$$\text{LENI} = \frac{W_{\text{valaistus}}}{A_{\text{netto}}} = \frac{17607,6 \text{ kWh}}{1768,95 \text{ m}^2} = 9,9537 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \approx 10,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Liitteessä 9 on DIALuxin yhteenveto tilan valaistuksesta.

6.2.5 Philips 160 W:n lampun mittaaminen ja laskeminen

Vertailuksi oli otettu Philipsin 160 W:n lamppu, jota tutkittiin ns. ylimitoituksen kannalta.

Valaisutehokkuudeksi on ilmoitettu 125 lm/W ja joka oli tarkoitettu asennettavaksi 220-240 V jännitteeseen. Virraksi mitattiin 0,64 A.

Kirchhoffin virtalain mukaan kokonaisvirta:

$$\sum I = 0$$

$$45 \text{ kpl} * 0,64 \text{ A} = 28,8 \text{ A}$$

Josta teho:

$$P = U * I = 230 \text{ V} * 28,8 \text{ A} = 6624 \text{ W.}$$

Sähköenergian kulutus:

$$E = UIt = Pt = 6624 \text{ W} * 2793 \text{ h} = 18500,8 \text{ kWh.}$$

LENI-luku laskettuna kaavalla 6, edellä saaduista arvoista.

$$LENI = \frac{W_{\text{valaistus}}}{A_{\text{netto}}} = \frac{18500,8 \text{ kWh}}{1768,95 \text{ m}^2} = 10,4587 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \approx 10,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Liitteessä 10 on DIALuxin yhteenveto tilan valaistuksesta.

7 Kustannusvertailu

Investointia voi mieltää mitä tahansa rahan käyttöä, jonka tarkoituksena on hankkia tuloja.

Koska pääosin yritysten investoinnit vaikuttavat pitkällä aikavälillä on investointien tekemisessä lähtökohtaisesti tärkeimmiksi ongelmiksi muodostunut epävarmuuden huomioon ottaminen, mittausongelma sekä eriaikaisten suoritusten saaminen vertailukelpoisiksi keskenään. (Jyrkkiö & Riistama, 2002, s. 202-204).

Kustannusvertailu tapahtuu käytössä olevan järjestelmän vertailusta mahdollisesti valittavaan järjestelmään investointilaskennan avulla.

Investointilaskentamenetelmiä ovat:

- Nykyarvomenetelmä
- sisäisen koron menetelmä
- annuiteettimenetelmä
- takaisinmaksuajan menetelmä

7.1 Nykyarvomenetelmä

Menetelmällä investoinnista syntyvät kulut sekä tuotot diskontataan nykyisyyteen laskentakoron avulla. Investoinnin kannalta sijoitus on kannattava, mikäli nykyarvo on positiivinen.

Tällä laskentamenetelmällä tarkasteluajankohdaksi valitaan yleensä investoinnin hankintahetki ja sitä seuraavat maksusuoritukset diskontataan hankintahetkeen.

Nettoarvojen nykyarvo lasketaan seuraavalla kaavalla 8:

Kaava 8. Nykyarvo (Jyrkkiö & Riistama, 2002, s. 211).

$$V_0 = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Josta

S_t = t:nnen vuoden nettotuotto

n = investointiajanjakson vuosina

i = laskentakorkokanta

P = perushankintakustannus

Investointi on kannattava, mikäli $V_0 \geq P$. (. (Jyrkkiö & Riistama, 2002, s. 211).

Nettonykyarvo laskettuna liitteen 13 mukaisesti käyttäen kohtien 7.1.1 Säästö (taulukko 3) ja 7.1.2 Menot (taulukko 4) laskettuja arvoja HQL-lampun kohdalla. Tulokseksi saatiin 42404,51 €.

Nykyarvo HQL-lampun kohdalla laskettuna liitteessä 14 käyttäen kohtien 7.1.1 Säästö (taulukko 3) ja 7.1.2 Menot (taulukko 5) laskettuja arvoja. Tulokseksi saatiin 72231,9 €.

7.1.1 Säästö

Yritysestä saadun energia hintatiedon, johon ei ole otettu siirtomaksua huomioon on 0,0626 snt / kWh, jonka avulla laskettiin lampputyypin vuotuinen energiankulutuskustannus.

Vuoden 2020 koko tehtaan valaistuksen ylläpitokustannukset olivat seuraavaa:

- Käytetyt huoltotunnit 156 h
- kokonaiskustannukset 7363,2 €

Tästä laskien ($\frac{7363,2 \text{ €}}{315 \text{ lamppua}}$) saadaan lamppua kohden 23,4 € euron vuotuinen

ylläpitokustannus tehtaan lamppua kohden. Vuotuinen ylläpitokustannus tutkittavaan halliin saadaan kertomalla hallin lamppumäärällä (45 kpl), hallin vuotuinen kustannus lamppua kohden:

$$45 \text{ kpl} * 23,4 \frac{\text{€}}{\text{kpl}} = 1051 \text{ €}.$$

HQL- ja Philips 160W -lamppujen osalta huoltokustannukset on arvioitu samansuuruisiksi, johtuen lamppujen kytkennän samankaltaisuudesta.

Taulukossa 3 on laskettu eri lampputyypin vuotuiset käyttökustannukset, sekä vertailtu tuloksia suhteessa monimetallilamppuihin.

Monimetallilampun osalta käytettiin vuoden 2020 valaistuksen ylläpitokustannuksia. Muiden lamppujen osalta arvioitiin vuotuiset ylläpitokustannukset huomioiden lamppujen 5 vuoden takuu aika.

Taulukko 3. Lampputyypien kustannusvertailu.

Säästö verrattuna monimetallilamppuun				
	Monimetallilamppu	Osram HQI	Osram HQL	Philips 160 W
Energia kWh / a	58303,3	32665,5	17607,6	18500,8
Energian hinta kWh / €	0,0626			
Energian hinta € / a	3649,78658	977,97789	1102,23576	1158,15008
Ylläpitokustannukset € / a	1051	800	600	600
Menot € yht.	4700,78658	1777,97789	1702,23576	1758,15008
Säästö verrattuna monimetallilamppuun, €/a		1855,93	2998,55	2942,64

7.1.2 Menot

Valaisimen vaihtoaika on arvioitu lattiapinnan haastavuuden (koneet, materiaalit ym.) takia suureksi. Materiaali menoihin on arvioitu mukaan kalustosta aiheutuva käyttökustannus. Taulukon 4 mukaan esiteltynä HQI-lamppujen arvioitu kokonaisvaihtamiskustannus.

Taulukko 4. Osram HQI-lamppujen vaihtokustannus.

Menot HQI

	Hinta €/yksikkö	45 valaisinta
Lamppu	187 / kpl	8415
Työ 2,5 h / lamppu	48 / h	5400
Materiaali / lamppu	50	2250
Yht.		16065 €

Sekä taulukon 5 mukaan esiteltynä HQL-lamppujen arvioitu vaihtokustannus.

Taulukko 5. Osram HQL-lamppujen vaihtokustannus.

Menot HQL

	Hinta €/yksikkö	45 valaisinta
Lamppu	187 / kpl	8415
Työ 4 h / lamppu	48 / h	8640
Materiaali / lamppu	100	4500
Yht.		21555 €

Ylimoitusta varten arvioitu kokonaisvaihtokustannus esiteltynä taulukon 6 avulla.

Taulukko 6. Philips 160 W -lamppujen vaihtokustannus.

Menot Philips 160 W

	Hinta €/yksikkö	45 valaisinta
Lamppu	207 / kpl	9315
Työ 4 h / lamppu	48 / h	8640
Materiaali / lamppu	100	4500
Yht.		22455 €

7.2 Takaisinmaksuajan menetelmä

Tässä määritellään se aika, joka kuluu kun investoinnista kertyneet nettotuotot ovat yhtä suuret kuin perushankintakustannusten määrää. Mikäli korkoa ei huomioida saadaan tämä laskettua kaavalla 9:

Kaava 9. Takaisinmaksuaika (Jyrkkiö & Riistama, 2002, s. 214).

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{P}{S}$$

Josta,

P = hankintahinta

S = investoinnin nettotulot

Tällä menetelmällä ei oteta huomioon takaisinmaksuajan jälkeisiä tiloja. (Vierros T., 2009).

7.2.1 Osram HQI

HQI-lamppujen takaisinmaksuajaksi saadaan laskettua:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{P}{S} = \frac{16065 \text{ €}}{1855,93 \text{ €}} = 8,65604 \text{ vuotta} \approx \underline{\underline{8,7 \text{ vuotta}}}$$

7.2.2 Osram HQL

HQL-lamppujen takaisinmaksuajaksi saadaan:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{P}{S} = \frac{21555 \text{ €}}{2998,55 \text{ €}} = 7,18847 \text{ vuotta} \approx \underline{\underline{7,2 \text{ vuotta}}}$$

7.2.3 Philips 160 W

Philips 160 W -lamppujen takaisinmaksuajaksi saadaan:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{P}{S} = \frac{22455 \text{ €}}{2942,64 \text{ €}} = 7,6309 \text{ vuotta} \approx \underline{\underline{7,6 \text{ vuotta}}}$$

8 Mahdollisia kulutuksen alentamiskeinoja

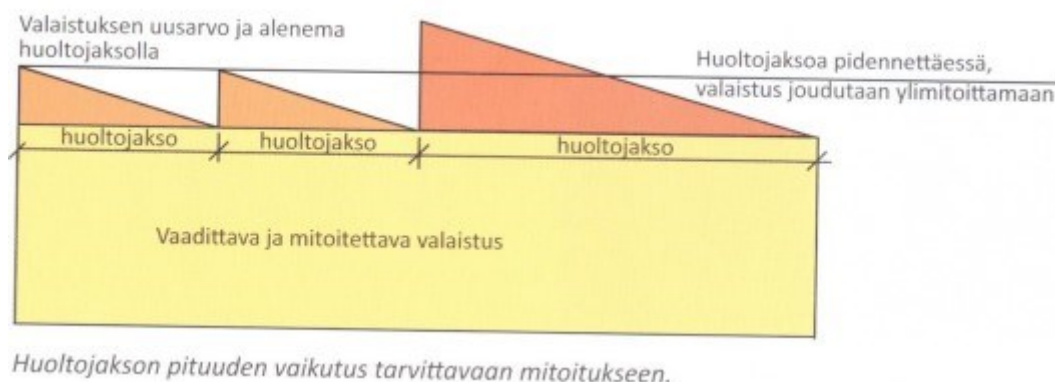
Kustannussäästöjen kasvattamista mietittäessä yhtenä varteenotettavista keinoista on lamppujen ylimitoitus, lamppujen ominaisuuksien huomioiminen ja valaistuksen ohjaukset. Liiketunnistimiin sekä valaistusolosuhteisiin perustuvat anturit voi unohtaa tilassa olevan liikkeen, esteiden ja epäpuhtauksien takia mm. hitsauksesta johtuvan valon, ajoneuvoliikenteen, materiaalin säilytyksen ja hallin pölyisyyden vuoksi.

8.1 Ylimitoitus

Vertailuna asennettiin Philips 160 W -lamppuja valaisukenttään ja tutkittiin valaisuvoimakkuutta silmämääräisesti, mittaamalla sekä virrankulutuksia vertailemalla. Lampun hankintahinta on suurempi kuin vertailussa olevan HQL-lampun hinta. Asennuskustannuksiltaan lamput ovat samansuuruiset.

Ylimitoituksen keskeinen tavoite on lampun mitoituksen kautta siirtää vaadittavaa huoltoajankohtaa pidentämällä valaistuksen valaistusvoimakkuuden alenemista alle vaaditun vähimmäistason. Ylimitoituksessa on huomioitava lisääntyvä energian tarve. Tiensuu esittelee valaistuksen mitoituksen kasvattamisen suhteessa huoltojaksoon kuvassa 29 erinomaisesti.

Kuva 29. Huoltojakso (Tiensuu, 2010, s.38).



8.2 Valovirranalenema

Ledien käyttöikäksi on vakiintunut 50 000 tuntia, jolloin valovirranalenema (LLMF) on tyypillisesti 70 % alkuperäisestä valovirrasta. Tätä 30 % laskua katsotaan yleensä lampun käyttöiän päätymisenä. Alenemaa merkitään myöskin L70-merkinnällä lamppujen tietosivuilla. Tämä tarkoittaa ledin käyttöiän kasvaessa valovirran hiipumista, joka näkyy valaistusvoimakkuudentasossa. Pelkästään valitsemalla L80-lamppu L70-lampun sijaan vaikutetaan energiatehokkuuteen. Kaavassa 10 on laskettuna L70- ja L80-lamppujen suhteen energiankulutusta.

Kaava 10. Kuinka monta prosenttia (Seppänen & Tiihola, 1994, s. 16).

$$b = \frac{p}{100} * a$$

Josta,

b = prosenttiarvo

a = perusarvo

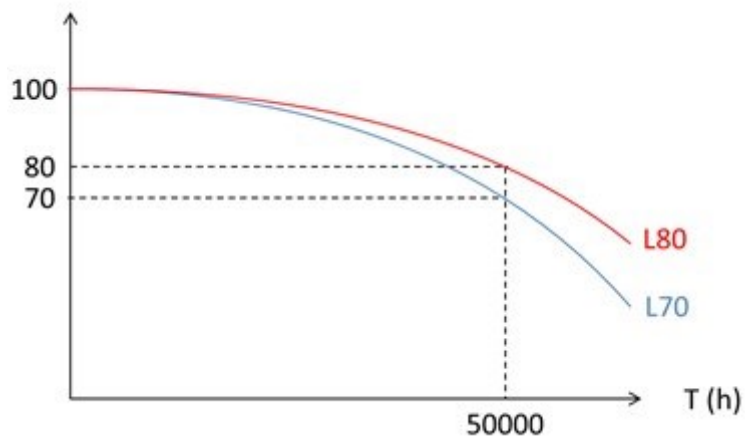
p = prosenttiluku

$$b = \frac{p}{100} * a \rightarrow p = \frac{a}{b} * 100 = \frac{0,7}{0,8} * 100 = 87,5 \% \rightarrow 100 \% - 87,5 \% = 12,5 \%$$

Eli, valitsemalla LLMF L70 sijasta L80, vähennetään energiankulutusta 12,5 %.

Kuvassa 30 esitellään LLMF:n vaikutusta lampun käyttöikänsä, josta nähdään hyvin L70 verrattuna L80 lamppujen alenema 50 000 tunnin kohdalla.

Kuva 30. Valovirranalenema (Glamox, n.d).



8.3 Valaistuksen himmentäminen

Saneerauskohteena olevan hallin osalta DALI-järjestelmä on mielenkiintoisin. Järjestelmää oikein käytettynä voitaisiin himmentää/sulkea ns. turhat, työntekoon vaikuttamattomat valaisimet. Järjestelmän vaatima alkukustannus pidentää takaisinmaksuaikaa

Oli ohjausjärjestelmä joko keskusohjattava tai itsenäisesti ohjattavia, järjestelmä vaatii kohteessa myöskin johdotustyöt, jonka arvioitiin kahdelta henkilöltä vievän 160 tuntia. Kuvassa 31 esiteltynä led valaisimien himmennys vaihtoehtoja.

Kuva 31. Valaistuksen himmentäminen (Teknologiатеollisuus, n.d., s. 7 [kuva]).

	Standardoitu	Osoitteellinen	Napaisuus	Kaapeleita	Muutokset	Vaatii ohjelmointia	Virtapiirin pituus
DALI	IEC/EN 62386	64 (+)	Vapaa	1	Ohjelmoimalla	Kyllä	Ei vaikuta säätöön
1-10V	IEC/EN 60929	Ei	Kyllä	Kanavamäärä	Fyysisesti	Ei	Vaikuttaa säätöön
Pulssinleveysmodulaatio (PWM)	IEC/EN 60929	Ei	Vapaa	Kanavamäärä	Fyysisesti	Ei	Vaikuttaa säätöön
Vaihekulmasäätö	Ei	Ei	Vapaa	Kanavamäärä	Fyysisesti	Ei	Vaikuttaa säätöön
Suora painike	Ei	Ei	Vapaa	Kanavamäärä	Fyysisesti	Ei	Vaikuttaa säätöön

9 Pöätelmä

Käsitellyn tiedon mukaan, HQI retrofit-led lamppujen kustannussuhde HQL-lamppuihin tai Philips 160 W -lamppuihin on huomattava, joka ilmenee takaisinmaksuajassa.

Ylläpitokustannukset lampputyypillä ovat taas suuremmat johtuen valaisimissa olevista, vanhoista komponenteista. Lampun valintaa puoltaa se, ettei muutostöitä jouduta tekemään, jolloin riittää pelkkä lampun vaihto. Energiakustannus on taas vertailtavien lamppujen suurin.

HQL- tai Philips 160 W -lamppujen asentamisesta johtuva kustannus on suuri, johtuen valaisimien muutostöistä 230 V:n jännitteelle sopivaksi. Lampputyypin valintaa puoltaa se, ettei ylläpitokustannukset ole suuria.

DIALux evo, ohjelmalla piirretyt väärävarikuvien mukaan ei lamppujen osalta saatu selkeää eroa. Kuvat olivat liitteen 7 kaltaisia.

Totesimme myöskin nykyisten valaisinkupujen olevan lampputyypeille väärät. Suositeltiin matalampien valaisinkupujen asentamista tai kupujen pois jättämistä. Valaistuskenttiä mitattaessa, totesimme parhaimpien kohtien olevan lamppujen puolivälissä eikä suoraan lampun alla. Tämä on hyvä huomioida tulevaisuuden valaistuksen uusimisen yhteydessä, mikäli valaisinpaikkoja lisätään tai vähennetään. Tälläkin työpisteiden sijoittelulla päästään suositusarvojen yli mutta ei parhaaseen tulokseen.

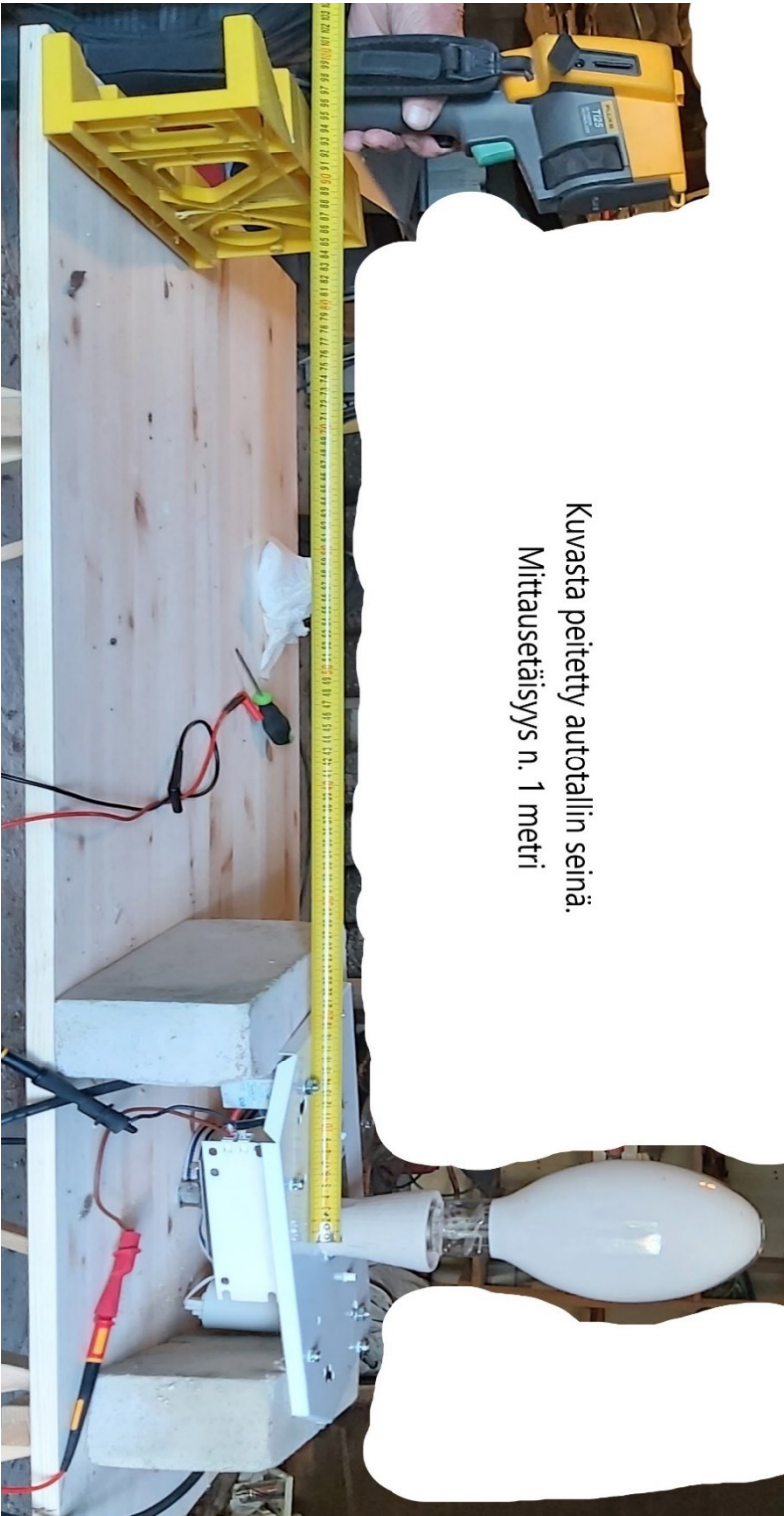
Mikäli päädytään HQL- tai Philips 160 W -lamppuihin, suosittelisin harkitsemaan myöskin johdotuksen uusimista, silmällä pitäen mahdollista DALI-ohjausjärjestelmän hankintaa ajatellen. Tämä johtuen johdotuksen tarvitseman asennusajan suuruuden vuoksi.

Lähteet

- Ahoranta, J. (2015). *Sähkötekniikka (14. p.)*. Sanoma Pro Oy
- Ahoranta, J., Lesch, K.-B. & Sundell, L. (1993). *Yleisjakson sähkötekniikka*. WSOY
- Aura, L. & Tonteri, A. (2002). *Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet*. WSOY
- Ensto. (n.d.). *Valaistuksen energiatehokkuus*. Haettu 25.10.2021 osoitteesta
<https://www.ensto.com/fi/materiaalit/suunnittelutyokalut/valaistusopas/valaistuksen-energiatehokkuus/>
- FLUKE. (2007). *287/289 True-rms Digital Multimeters* [käyttöohje]. https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/287_289_umfin0200.pdf
- FLUKE. (n.d.). *Mitä true-RMS tarkoittaa?*. <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/sahko/mita-true-rms-tarkoittaa>
- Glamox. (n.d.). *Ledien elinikä* [kuva]. <https://glamox.com/fi/ledien-elinika>
- Halonen, L. & Lehtovaara, J. (1992). *Valaistustekniikka*. OTATIETO
- Hietalahti, L. (2013). *Sähkövoimatekniikan perusteet*. Tammertekniikka.
- Ilmatieteen laitos. (n.d.). *Valo ja spektri* [kuva].
<https://space.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html>
- Infradex. (2021). *Lämpösäteily & infrapuna*. <https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>
- Intertrafo. (n.d.). *Kuristin sähkötekniikan komponenttina* [kuva].
<https://www.intertrafo.fi/muuntaja/kuristin>
- Jyrkkiö, E. & Riistama, V. (2002). *Laskentatoimi päätöksenteon apuna*. WSOY
- Kilpelä, N. (2019). *Esteetön rakennus ja ympäristö*. Rakennustieto.
- Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja. (2006). *Esteetön valaistus ja selkeät kontrastit asema-alueilla* [kuva].
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78757/Julkaisuja_39_2006.pdf?sequence=4
- Metropolia. (2010). *Magneettiset*.
<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Magneettiset>
- Noratel. (n.d.). *Muuntajakirja n:o 2*. [Noratel konsernin julkaisema päälueetelo n:o 2]
- Nikkola, J., Viljanmaa, L. & Virtanen, T. (1993). *Laaja fysiikka 2*. Kirjayhtymä.
- Nikkola, J., Viljanmaa, L. & Virtanen, T. (1994). *Laaja fysiikka 3*. Kirjayhtymä.
- obo-7. (2019). *Dorno*. <https://www.obo-7.xyz/ProductDetail.aspx?iid=63560387&pr=29.99>
- Rantanen, J. (n.d.). *Elektroniikka* [kuva]. <https://slideplayer.fi/slide/1900224/>

- Rihlama, S. (1999). *Valaistus ja värit sisustussuunnittelussa*. Rakennustieto Oy.
- ResearchGate. (2021). Figure 5 – available via license: Creative Commons Attribution 3.0 Unported. https://www.researchgate.net/figure/Parts-of-the-metal-halide-lamp-Source-Manual-INDAL-lighting_fig3_340168375
- Seppänen, R. & Tiihonen, S. (1994). *maal taulukot*. Otava
- SFS-EN 12464-1. (2011). *Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus*. SFS Online
- Teknolomiteollisuus. (n.d.). *Näin vertaillet ledivalaisimia 3.0*. [kuva].
https://teknolomiteollisuus.fi/sites/default/files/2019-12/N%C3%A4in%20vertaillet%20ledivalaisimia%203.0_2019.pdf
- Tiensuu, A. (2010). *Uusi valaistuskirja*. Helsinki, Ympäristöliitto ry.
- Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>
- Vierros, T. (2009). *Investointilaskelmat*. Haettu 16.10.2021 osoitteesta
<https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat>

Testimittausilanne.

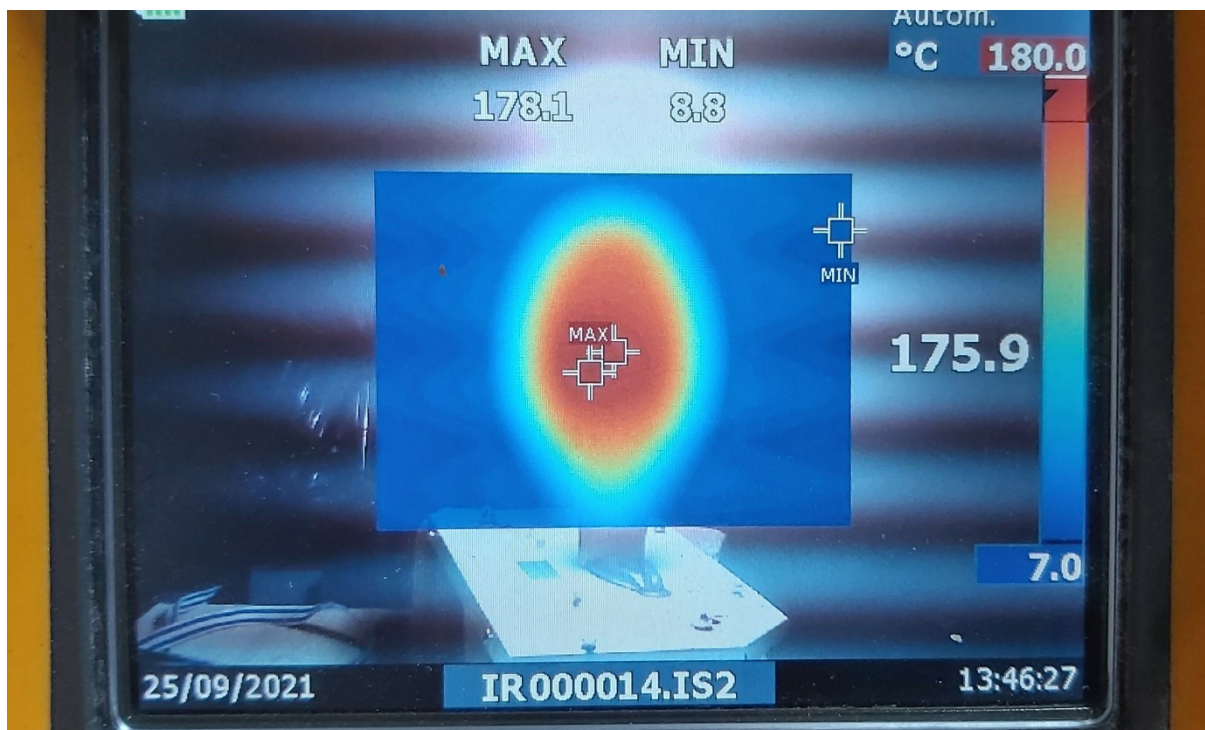


Lampun varmistus.

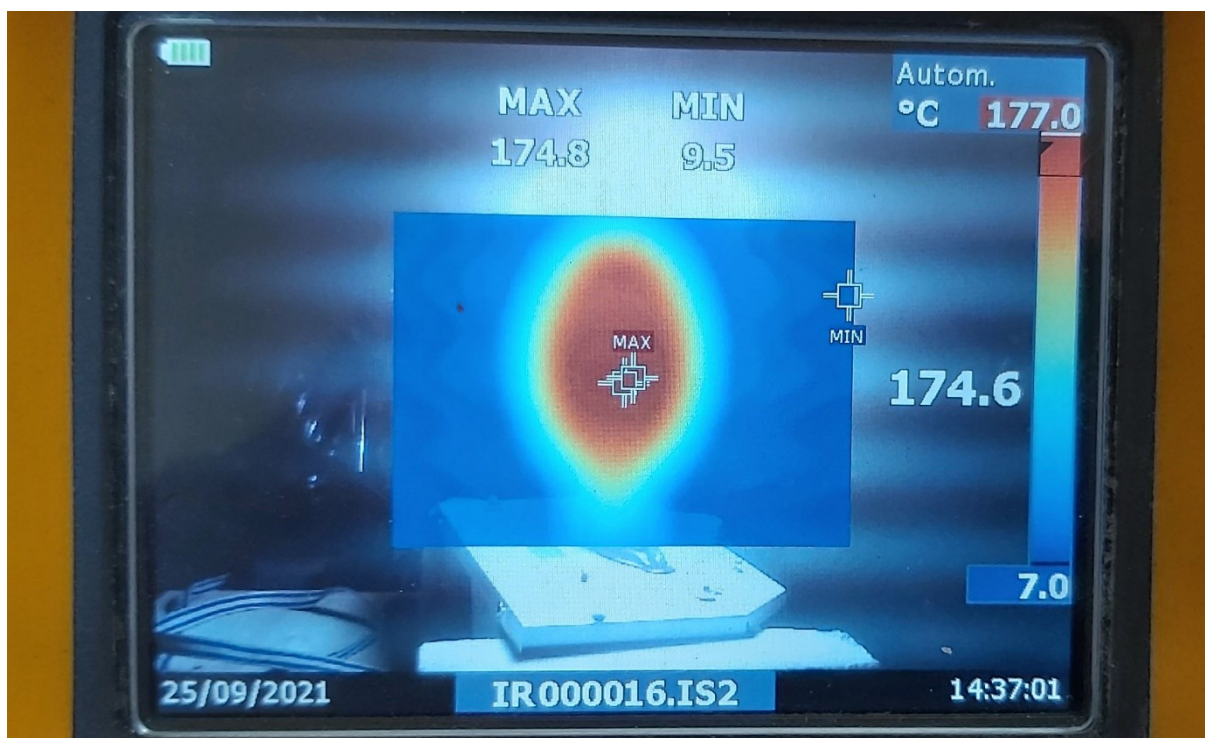


Monimetallilamppujen lämpökuvat a) ja b).

a) Philips 400 W, käytetty 1.

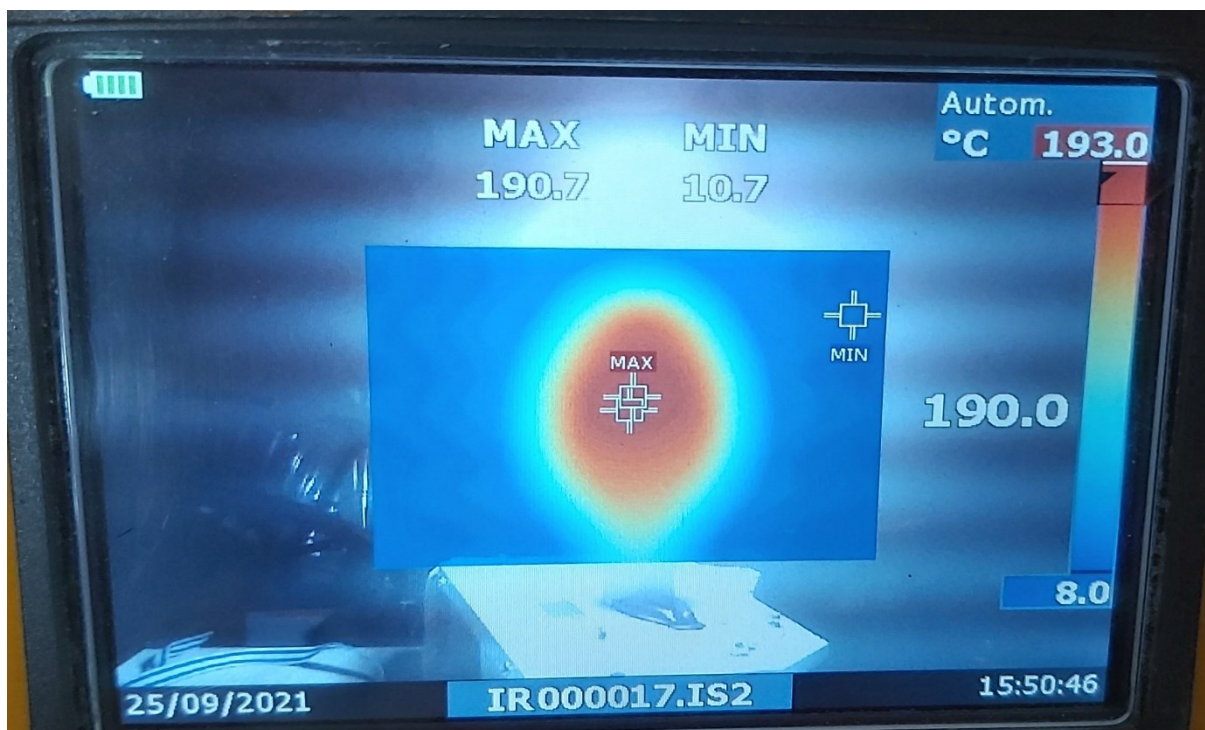


b) Philips 400 W, käytetty 2.

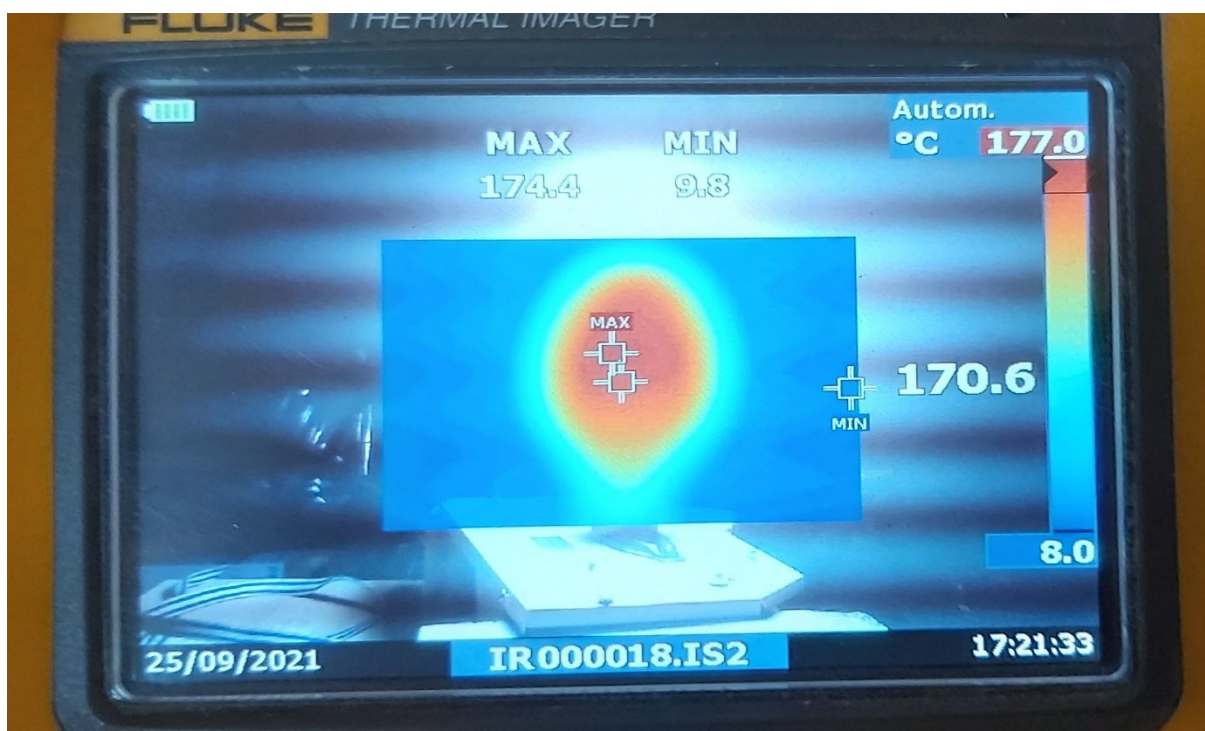


Monimetallilamppujen lämpökuvat c) ja d).

c) Philips 400 W, käytetty 3.

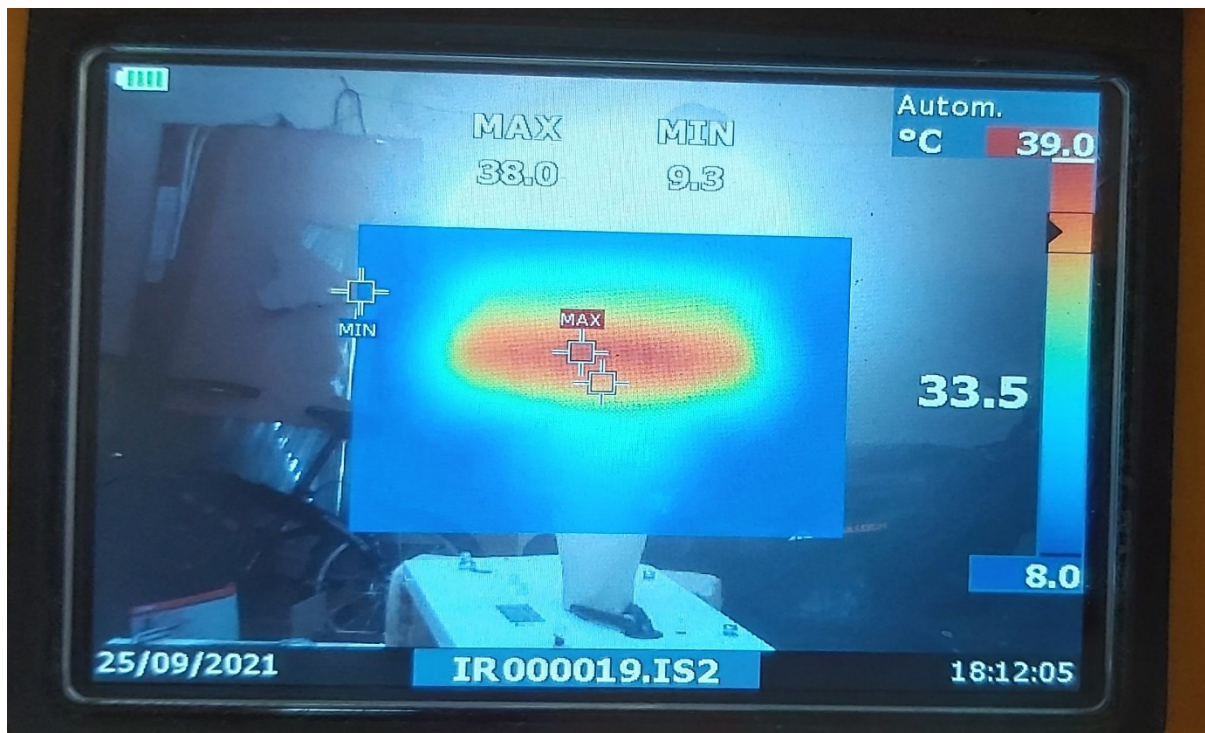


d) Philips 400 W, uusi.

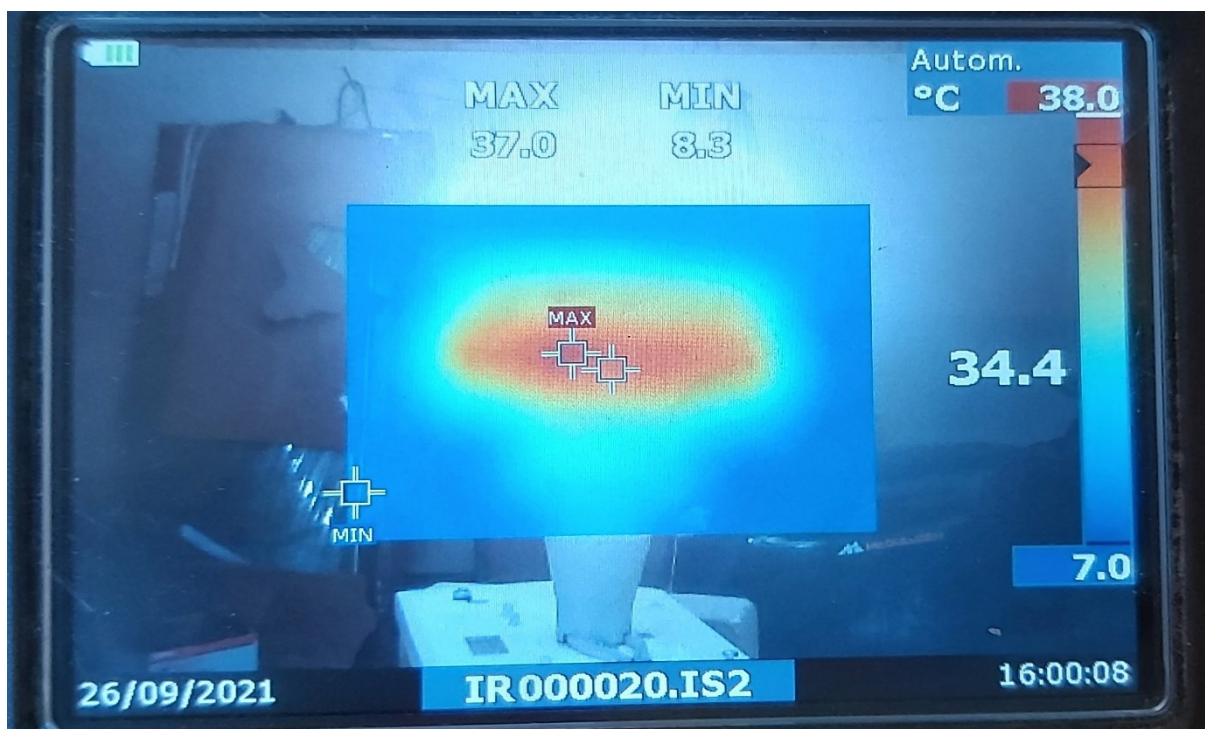


Led lamppujen lämpökuvat e) ja f).

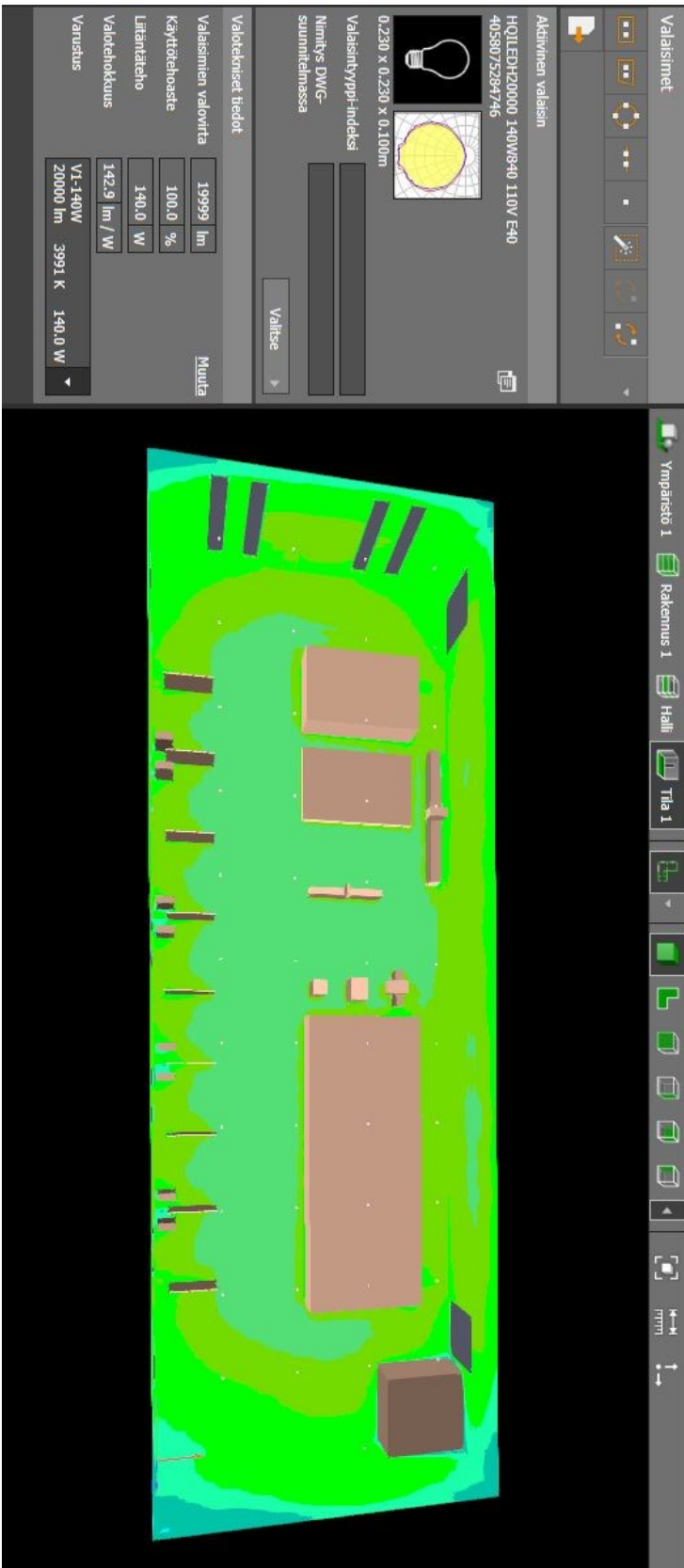
e) Osram HQL



f) Osram HQL



HQI väärävärit dialuxin mukaan.



Rakennus 1 · Halli · Tila 1

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	Ekohtisuora	276 lx	≥ 300 lx	✗	S2
	g1	0,000	-	-	S2
Näkörehtävän alueet	E Työalue	356 lx	≥ 300 lx	✓	S20
	g1 Työalue	0,99	≥ 0,60	✓	S20
	E Ympäristöalue	356 lx	≥ 200 lx	✓	S19
	g1 Ympäristöalue	0,80	≥ 0,40	✓	S19
	E Tausa-alue	245 lx	≥ 66,7 lx	✓	S3
g1 Tausa-alue	0,00	≥ 0,10	✗	S3	

HQI valaistuksen yhteenveto.

Rakennus 1 · Halli · Tilä 1

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso					
Ei-ontuora	276 lx	≥ 300 lx	✗	S2	
g1	0,000	-	-	S2	
Näkötehtävän alueet					
E Työalue	356 lx	≥ 300 lx	✓	S20	
g1 Työalue	0,99	≥ 0,60	✓	S20	
E Ympäristö alue	356 lx	≥ 200 lx	✓	S19	
g1 Ympäristö alue	0,80	≥ 0,40	✓	S19	
E Taustra-alue	245 lx	≥ 66,7 lx	✓	S3	
g1 Taustra-alue	0,00	≥ 0,10	✗	S3	

HQL valaistuksen yhteenveto.

Philips 160 W valaistuksen yhteenveto.

Rakennus 1 · Halli · Tila 1

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	Ekohtisuora	285 lx	≥ 300 lx	✗	S2
	g1	0.000	-	-	S2
Näköehtävän alueet	E Työalue	369 lx	≥ 300 lx	✓	S18
	g1 Työalue	0.88	≥ 0.60	✓	S18
	E Ympäristöva alue	361 lx	≥ 200 lx	✓	S19
	g1 Ympäristöva alue	0.82	≥ 0.40	✓	S19
	E Tausta-alue	252 lx	≥ 66.7 lx	✓	S3
	g1 Tausta-alue	0.00	≥ 0.10	✗	S3

Osram HQI lampun nettonykyarvo.

Vuosi	Menot 16065	Diskonttaustekijä 2 %
	Tuotto	Nykyarvo
0		
1	1855,926	1819,535569
2	1855,926	1783,858401
3	1855,926	1748,880785
4	1855,926	1714,589005
5	1855,926	1680,969613
6	1855,926	1648,009424
7	1855,926	1615,695514
8	1855,926	1584,01521
9	1855,926	1552,956088
10	1855,926	1522,505968
11	1855,926	1492,65291
12	1855,926	1463,385206
13	1855,926	1434,691379
14	1855,926	1406,560175
15	1855,926	1378,980564
16	1855,926	1351,941729
17	1855,926	1325,433068
18	1855,926	1299,444184
19	1855,926	1273,964886
20	1855,926	1248,985183
21	1855,926	1224,495277
22	1855,926	1200,485566
23	1855,926	1176,946633
24	1855,926	1153,869248
25	1855,926	1131,244361
26	1855,926	1109,063099
27	1855,926	1087,316764
28	1855,926	1065,996827
29	1855,926	1045,094929
30	1855,926	1024,602871
	Yht.	41566,17044
Menot	16065	
Nykyarvo	41566,17	
Nettonykyarvo	25501,17	

Osram HQL lampun nettonykyarvo.

Vuosi	Menot 21555	Diskonttaustekijä 2 %
	Tuotto	Nykyarvo
0		
1	2998,551	2939,755706
2	2998,551	2882,113437
3	2998,551	2825,601409
4	2998,551	2770,19746
5	2998,551	2715,879863
6	2998,551	2662,627316
7	2998,551	2610,418937
8	2998,551	2559,234252
9	2998,551	2509,053189
10	2998,551	2459,856067
11	2998,551	2411,623595
12	2998,551	2364,336858
13	2998,551	2317,977312
14	2998,551	2272,526776
15	2998,551	2227,967428
16	2998,551	2184,281792
17	2998,551	2141,452737
18	2998,551	2099,463468
19	2998,551	2058,297518
20	2998,551	2017,938743
21	2998,551	1978,371316
22	2998,551	1939,579722
23	2998,551	1901,548747
24	2998,551	1864,263477
25	2998,551	1827,709292
26	2998,551	1791,871855
27	2998,551	1756,737112
28	2998,551	1722,291287
29	2998,551	1688,520869
30	2998,551	1655,412617
	Yht.	67156,91016
Menot	21555	
Nykyarvo	67156,91	
Nettonykyarvo	45601,91	

Philips 160 W lampun nettonykyarvo.

Vuosi	Menot 22455	Diskonttaustekijä 2 %
	Tuotto	Nykyarvo
0		
1	2942,637	2884,937745
2	2942,637	2828,370338
3	2942,637	2772,912096
4	2942,637	2718,541271
5	2942,637	2665,23654
6	2942,637	2612,977
7	2942,637	2561,742157
8	2942,637	2511,511919
9	2942,637	2462,266587
10	2942,637	2413,98685
11	2942,637	2366,653774
12	2942,637	2320,248798
13	2942,637	2274,753724
14	2942,637	2230,15071
15	2942,637	2186,422265
16	2942,637	2143,55124
17	2942,637	2101,520823
18	2942,637	2060,314533
19	2942,637	2019,916208
20	2942,637	1980,310008
21	2942,637	1941,4804
22	2942,637	1903,412157
23	2942,637	1866,09035
24	2942,637	1829,500343
25	2942,637	1793,627787
26	2942,637	1758,458615
27	2942,637	1723,979034
28	2942,637	1690,175524
29	2942,637	1657,034827
30	2942,637	1624,543948
	Yht.	65904,62758
Menot	22455	
Nykyarvo	65904,63	
Nettonykyarvo	43449,63	