



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TEOLLISUUSLAITOKSEN VALAISTUKSEN UUDISTA- MINEN

TEKIJÄ:

Topi Venäläinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Topi Venäläinen	
Työn nimi Teollisuuslaitoksen valaistuksen uudistaminen	
Päiväys 29.5.2021	Sivumäärä/Liitteet 49/9
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuhmo Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli tehdä selvitys teollisuuslaitoksen valaistuksen uudistamisen vaikutuksista. Opinnäytetyön tilaajana oli Kuhmo Oy:n sahalaite. Työn tavoitteena oli tehdä laskelmia valaistuksen uudistamisen vaikutuksista ja laatia suunnitelma uuden valaistuksen toteuttamiseksi.</p> <p>Työssä tutustuttiin valaistuksen teoriaan ja standardeihin, joiden avulla tehtiin suunnitelma uuden valaistuksen toteuttamiseksi sahalaiteelle DIALux evo- ohjelmaa käyttäen. Työssä tutustuttiin myös muihin valaistuksen uudistamisen vaikutuksiin, kuten energian kulutuksen säästöihin, energian hankintakustannuksiin ja vaikutuksiin sähkön laadussa. Työssä käytettiin valaistusvoimakkuusmittaria ja virranlaatu analysointia, joiden avulla kerättiin tietoja nykyisen valaistuksen tilanteesta. Työssä laskettiin myös investoinnin suora takaisinmaksuaika ja uusien valaisimien hankintakustannukset, joiden avulla voitiin arvioida uudistuksen taloudellista kannattavuutta.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kattava selvitys valaistuksen uudistamisen vaikutuksista. Työssä tehtyjen laskelmien perusteella valaisimien kokonaishankintakustannukset olisivat noin 90600 euroa. Energian kulutus laskisi noin 30 % nykyiseen verrattuna ja näin ollen myös energian hankintakustannukset laskisivat noin 30 %. Virran harmonisten yliaallojen esiintyvyydet laskisivat noin 27-38 % arvoista noin 8 % arvoihin. Investoinnin tuomat säästöt ylittäisivät kokonaishankintakustannukset hieman vajaan 16 vuodessa. Työstä saadut tulokset ja laaditut suunnitelmat jäivät työn tilaajalle uudistuksen toteuttamiseksi.</p>	
Avainsanat Valaistus, Mitoittaminen, yliaallot, Kuhmo Oy	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Topi Venäläinen	
Title of Thesis Modernization of Industrial Plant Lighting	
Date 29 May 2021	Pages/Appendices 49/9
Client Organisation /Partners Kuhmo Ltd.	
Abstract <p>The purpose of this thesis was to find out the effects of renovation of lighting for an industrial plant. The thesis was made for Kuhmo Ltd. sawmill. The aim of this thesis was to make calculations of the effects of renovation of lighting and to make plans to renovate lighting.</p> <p>The theory of lighting as well as the standards of lighting were familiarised with. They were used to make plans to renovate lighting in the sawmill by the DIALux evo- program. Other effects of lighting renewal were also introduced in this thesis like energy savings, energy costs and the effects on quality of electricity. A lux meter and a electricity quality analyzer were used to gather information about the current lighting situation. A repayment period as well as the costs of new lights were also calculated in this thesis, which can be used to estimate the economic viability of the lighting renevation.</p> <p>The result of this thesis was a comprehensive report of effects on a lighting renewal. Calculations which were made in this thesis showed that the estimated price of new lights would be about €90,600. The energy consumption would decrease by 30 % compared to the current situation and hence also the energy acquisition costs would decrease by 30 %. The occurances of current harmonics would decrease from about 27-38 % to about 8 %. The results of the thesis and made plans were given to the commissioner of this thesis to implement the renovation of lighting.</p>	
Keywords Lighting, sizing, harmonics, Kuhmo ltd.	

ESIPUHE

Opinnäytetyön aihe tuli ensimmäisen kerran mieleen kesällä 2020 kun työskentelin Kuhmo oy sahalaitoksella. Idea sahalaitoksen valaistuksen uudistamisesta keksittiin yhdessä Kuhmo oy:n sähköyönjohtajan Heikki Soinisen kanssa. Aiheeksi valittiin teollisuuslaitoksen valaistuksen uudistaminen koska Kuhmo Oy:tä on lähestytty jo aiemmin tarjouksilla koskien valaistuksen uudistamista.

Haluan kiittää koko Kuhmo Oy:n henkilökuntaa avusta ja tiedoista, joita sain opinnäytetyöhön liittyen. Erityiskiitokset Kuhmo Oy:n sähköpuolen henkilöstölle ja etenkin Heikki Soiniselle koko työn aikaisesta avusta ja tuesta. Haluan myös kiittää koulun puolelta tulleesta avusta, jota sain opinnäytetyön ohjaavilta opettajilta Sami Tiilikaiselta ja Niilo Kärkkäiseltä.

Kuhmossa 29.5.2021

Topi Venäläinen

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT	7
1 JOHDANTO	8
2 TEORIAA SÄHKÖVALAISTUKSESTA	9
2.1 Valo ja sen ominaisuuksia	9
2.2 Yleistä valaistuksesta	10
2.3 Loisteputkivalaisimet	10
2.4 Suurpainenatriumlamput	11
2.5 LED- Valaisimet	12
2.6 LED-moduulit ja niiden käyttöaika	13
2.7 Liitäntälaitteet, kuristimet ja sytyttimet.....	13
2.8 Sähkön laatu	14
2.9 Valaistusstandardi	16
3 KUHMO OY JA TÄMÄNHETKINEN VALAISTUSTILANNE.....	18
3.1 Sahan päähalli	18
3.2 Uusi dimensiolajittelulaitos.....	20
3.3 Vanha dimensiolajittelulaitos.....	21
3.4 Rimoitukset	22
3.5 Kuorimot	25
3.6 Yhteenveto sahan nykyisestä valaistustilanteesta	26
4 MITTAUKSET	28
4.1 Valaistusvoimakkuusmittaus	28
4.2 Sähkön laatu mittaus	28
4.2.1 Virran yliaaltojen mittaus	29
4.2.2 Mittaustulokset ja tulosten käsittely.....	30
5 UUDEN VALAISTUKSEN MITOITTAMINEN.....	33
5.1 Dialux evo 9.2	33
5.2 Sahan päähalli	33
5.3 Uusi dimensiolajittelulaitos ja tuorepaketointi.....	36
5.4 Vanha dimensiolajittelulaitos.....	38
5.5 Vanha rimoitus	39
5.6 Kuorimot	41

5.7 Yhteenveto.....	42
6 TULOSTEN ARVIOINTI.....	44
6.1 Valaisimien energian tarve ja kustannukset	44
6.2 Investoinnin kannattavuus.....	47
7 YHTEENVETO.....	48
LÄHTEET	49
LIITE 1: LED VICTOR 750M VALAISIMEN TIEDOT (TEHDASVALO.FI).....	50
LIITE 2: LED VICTOR 750M VALAISIMEN VALONJAOT (TEHDASVALO.FI).....	51
LIITE 3: DIALUX SIMULAATION TULOKSET SAHAN PÄÄHALLI.....	52
LIITE 4: DIALUX SIMULAATION TULOKSET SAHAN PÄÄHALLIN OIKEA PUOLI	54
LIITE 5: DIALUX SIMULAATION TULOKSET TERÄHUONE	55
LIITE 6: DIALUX SIMULAATION TULOKSET KUORIMOT	57
LIITE 7: DIALUX SIMULAATION TULOKSET UUSI DIMENSIOLAJITTELULAITOS JA TUOREPAKETOINTI	61
LIITE 8: DIALUX SIMULAATION TULOKSET RIMOITUS	64
LIITE 9: DIALUX SIMULAATION TULOKSET VANHA DIMENSIOLAJITTELULAITOS	68

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

SPN Suurpainenatrium

THD tulee sanoista total harmonic distortion ja tarkoittaa harmonista kokonaissärökerrointa.

Valovirta (Φ) kuvaa tietyllä hetkellä valonlähteen lähettämää valon määrää. valovirran yksikkö on luumen (lm). (ST57.40)

Valovoima (I) kuvaa valon voimakkuutta, intensiteettiä, tiettyyn suuntaan valonlähteestä. Valovoima on valaistustekniikan perussuure, josta voidaan johtaa muut suureet. Valovoiman yksikkö on kandela (cd). Yhdellä kynttilällä valovoima on noin yksi kandela. (ST57.40)

Valaistusvoimakkuus (E) kuvaa valovirran tiheyttä pinnalla. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on lux (lx). Valaistusvoimakkuus voidaan ilmoittaa valovirran avulla lm/m^2 . (ST57.40)

Valotehokkuus kuvaa valonlähteen tuottamaa valovirtaa suhteessa otettuun sähkötehoon. Yksikönä valotehokkuudella on lm/W . (ST57.40)

Tasaisuus kuvaa keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ja maksimivalaistusvoimakkuuden suhdetta. (ST57.40)

Ra-indeksi kuvaa valonlähteen kykyä toistaa määrättyssä väriämpötilassa tiettyjä testivärejä suhteessa vertailuvalonlähteeseen. Ra-indeksin maksimiarvo on 100. (ST57.40)

Ledi eli hohtodiodi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa myötäjännitteeseen kytkettynä. Lyhenne LED tulee sanoista light-emitting diode ja ledi voidaan kirjoittaa muotoihin: ledi, led, LED. (ST58.08)

CCT Ekvivalenttinen väriämpötila (Correlated Colour Temperature)

Kotelointiluokka kuvaa sähkölaitteen koteloinnin suojaustasoa, joka ilmaistaan IP-luokituksella. Erilaisissa tiloissa sähkölaitteilta vaaditaan asennusympäristön mukainen kotelointiluokitus. Asennusympäristön tilamääräyksiä ovat esim. kuiva-, kostea, märkätilat tai pölyävät, räjähdys vaaralliset ja eläinsuojaksi tarkoitetut tilat. (Lampputieto.fi)

Välkyntä ja stroboskooppi-ilmiö

Välkyntällä tarkoitetaan valojen välkkymistä, joka voi aiheuttaa yksilössä fysiologisia oireita esim. päänsärkyä ja häiritä näkemistä. Stroboskooppi-ilmiö saa edestakaisin liikkuvien tai pyörivien koneiden liikkeet näyttämään todellista hitaammilta tai jopa kokonaan pysähtyneiltä. Tämä voi aiheuttaa vaaratilanteita ja vaikuttaa työturvallisuuteen. (SFS-EN 12464-1)

Ledituotteen mitoituselinikä Ilmoitetaan yleensä kirjainsymboleilla, jonka led-valaisimien valmistaja antaa tuotteelle. Tarkoittaa valovirran alenemaa määrättyssä ajassa. (IEC 62717)

1 JOHDANTO

Nykymaailmassa arvostetaan yhä enemmän ekologisia ja energiatehokkaita ratkaisuja. Vanhentunut valaistusjärjestelmä voi aiheuttaa yritykselle suuria kuluja, joita voitaisiin pienentää siirtymällä uudempiin valaistusratkaisuihin. Nykyaikaisemmalla led-valaistuksella on monia hyötyjä ja vain vähän haittoja. Siirtymällä uudempiin led- valaisimiin voidaan päästä jopa 90% energian säästöihin ja käyttäjät voivat olla jopa 50 kertaa pitempiä kuin muilla perinteisemmällä ratkaisuilla. Pitkät käyttöajat mahdollistavat alhaisemmat huoltokulut, kun valaisimia ei tarvitse vaihtaa niin usein uusiin. Myös vanhojen käytöstä poistettavien valaisimien kierrätystä ei tarvitse miettiä niin usein. Led-valaisimien haittapuolina on mm. lämpöherkkyys, valon monokromaattisuus, korkeammat hankintakustannukset ja valkoisten ledien väripoikkeamat. Näiden haittojen vaikutuksia pystytään kuitenkin pienentämään hyvällä suunnittelulla. (Hidealite.com)

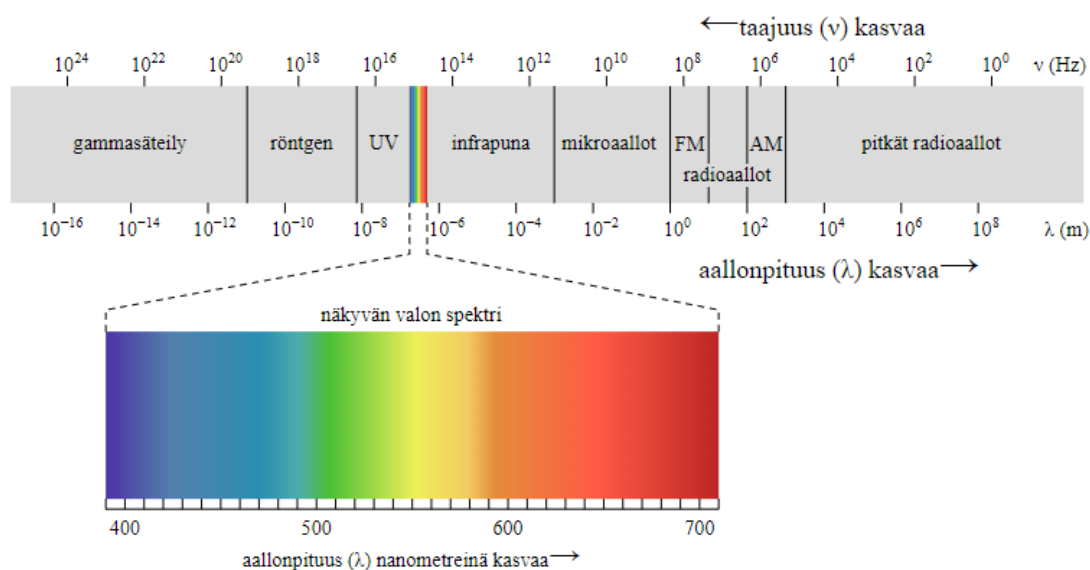
Opinnäytetyön aihe valittiin yhdessä Kuhmo oy:n sähkötöidenjohtajan Heikki Soinisen kanssa. Aiheeksi valittiin sahalaitoksen valaistuksen uudistaminen, koska laitoksessa on käytössä vanhat suurpainenatriumpurkausvalaisimet ja niiden vaihtaminen uusiin led-valaisimiin on ollut lähiaikoina suunnitteilla.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kattava selvitys, siitä millaisia vaikutuksia led-valaisimiin siirtymisellä on verrattuna nykyiseen tilanteeseen. Keskeisiä asioita työssä on valaistuksen uudistamisen kustannukset, vaikutukset sähkön kulutukseen, vaikutukset sähkön laatuun ja vaikutukset valaisimien elinikään ja huolto tarpeisiin. Työssä on myös tarkoitus laskea uudistuksen takaisinmaksuaika ja arvioida sen kannattavuutta.

2 TEORIAA SÄHKÖVALAISTUKSESTA

2.1 Valo ja sen ominaisuuksia

Valo on sähkömagneettista säteilyä, josta ihmissilmä pystyy havaitsemaan vain osan. Tätä osaa kutsutaan näkyväksi valoksi. Sähkömagneettinen säteily etenee aaltoliikkeenä. Pidemmällä aallonpituuksilla valo on punaisempaa ja lyhyemmällä aallonpituuksilla sinisempää. Aallonpituuden kasvaessa yli punaisen valon ei silmä pysty sitä enää havaitsemaan. Silmä ei myöskään pysty havaitsemaan sinisen valon alapuolisia aallonpituuksia. Näkyvän valon aallonpituudet osuvat välille 400-700 nm. Kun kaikkia aallonpituuksia on yhtä paljon, niin valo on täysin valkoista. Sähkömagneettisen säteilyn spektri esitetty kuvassa 1. (aaltomuoto.wordpress.com/)



Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri. (EM_spectrum.svg: Zedh 13. helmikuuta 2011)

Kaikki valkoinen valo ei kuitenkaan ole täysin valkoista. Silmä tottuu nopeasti tiettyyn valkoisen sävyyn ja alkaa pitää sitä "oikeana" valkoisena. Valkoisen valon eri sävyistä käytetään termiä värilämpötila. Värilämpötilan yksikkö on kelvin (K). Värilämpötila kuvaa hehkusäteilijän valon väriä kyseisessä lämpötilassa. Alhaisilla lämpötiloilla hehkusäteilijän lähettämä valo on lämmintä punaisen sävyistä ja korkeilla lämpötiloilla kylmää valkoista. Ekvivalenttinen värilämpötila (CCT = Correlated Colour Temperature) määritetään esim. ledeille ja purkauslampuille, koska niiden väripisteet eivät satu hehkusäteilijän väripisteiden uralle. Taulukossa 1. on esitettyinä valosta saatavia värivaikutelmia värilämpötilan mukaan. (aaltomuoto.wordpress.com/);(ST 57.40).

Taulukko 1. Valosta saatava värivaikutelma värilämpötilan mukaan. (ST 57.40).

Ekvivalenttinen värilämpötila, K	Värivaikutelma
<3300	Lämmin
3300-5300	Neutraali
>5300	Kylmä

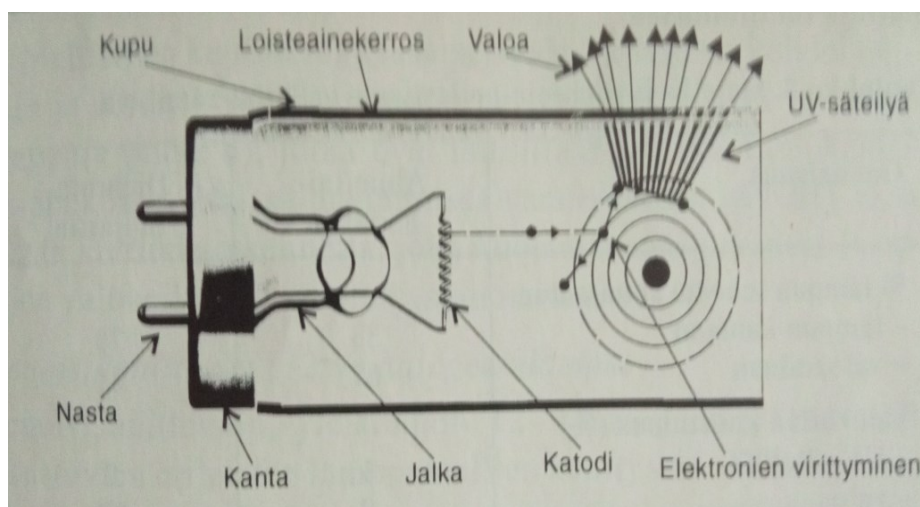
2.2 Yleistä valaistuksesta

Valaistuksen tarkoituksena on luoda riittävän hyvät näköolosuhteet, jotta tilassa suoritettavat näkötehtävät on mahdollista suorittaa. Valaistuksen määrää ja laatua koskevat raja-arvot saadaan valaistusstandardeista. Hyvässä valaistuksessa on oleellista, että työntekijä kokee valaistuksen miellyttäväksi, työntekijä pystyy suoriutumaan näkötehtävästään myös vaativissa olosuhteissa ja pitempien jaksujen aikana ja työntekijä pystyy suorittamaan näkötehtävät turvallisesti. (SFS-EN 12464-1); (ST 57.40)

Valaistuksen toteuttamiseen on olemassa paljon erilaisia vaihtoehtoja ja erilaisiin kohteisiin vaaditaan erilaisia ominaisuuksia valaistukselta. Lamppujen laatu valontuottovälineenä ja niiden soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin riippuu monista tekijöistä. Tärkeimpiä ominaisuuksia ovat mm. lampun fyysinen koko sekä yksikköteho, valotehokkuus, valovirta, valovirran pysyvyys polton aikana, väriämpötila, värinasto-ominaisuudet, hyötypolttokä, lampun toiminnan riippuvuus lämpötilasta sekä käyttöjännitteenvaihteluista, värinästä ja polttojakson pituudesta sekä hankinta- ja käyttökustannuksista. (Ahponen, Veikko. 1999, 13.)

2.3 Loisteputkivalaisimet

Loistelampun toiminta perustuu elektronien sähköpurkaukseen. Lampun päissä olevien elektrodien välille aikaansaatu sähköpurkaus virittää pienipaineisen täytöskaasuna olevan elohopeahöyryn atomeja. Kun sähkökentän virittämät Hg-atomit palaavat perustasolle ne lähettävät UV-säteilyä. UV-säteily muuttuu näkyväksi valoksi lampun kuvun sisäpinnalla olevassa loisteainekerroksessa. Loistelampun valon aallonpituus ja värilaji riippuvat käytetyistä loisteaineista. Elohopeahöyryn säteily on tehokkainta, kun sen paine purkaustilassa on 1,3 pascalia. Tämä saavutetaan, kun kuvun kylmäpisteen lämpötila on +40 °C. Käytettäessä lampun sisällä elohopeahöyryn painetta alentavia aineita optimilämpötila muuttuu. (Ahponen, Veikko. 1999, 34.) Loistelampun toimintaperiaate esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Loistelampun toimintaperiaate. (Ahponen, 1999, 34.)

Virran kasvaessa loistelampuilla ja purkauslamppuilla sähköpurkauksen vastus pienenee. Kytettäessä lamppu suoraan jännitelähteeseen kasvaa sen virta jatkuvasti, kunnes johtimet sulavat tai lamppu muuten särkyy. virtaa on tämän vuoksi rajoitettava ulkoisella kytkentäpiirillä. Virranrajoittamiseen

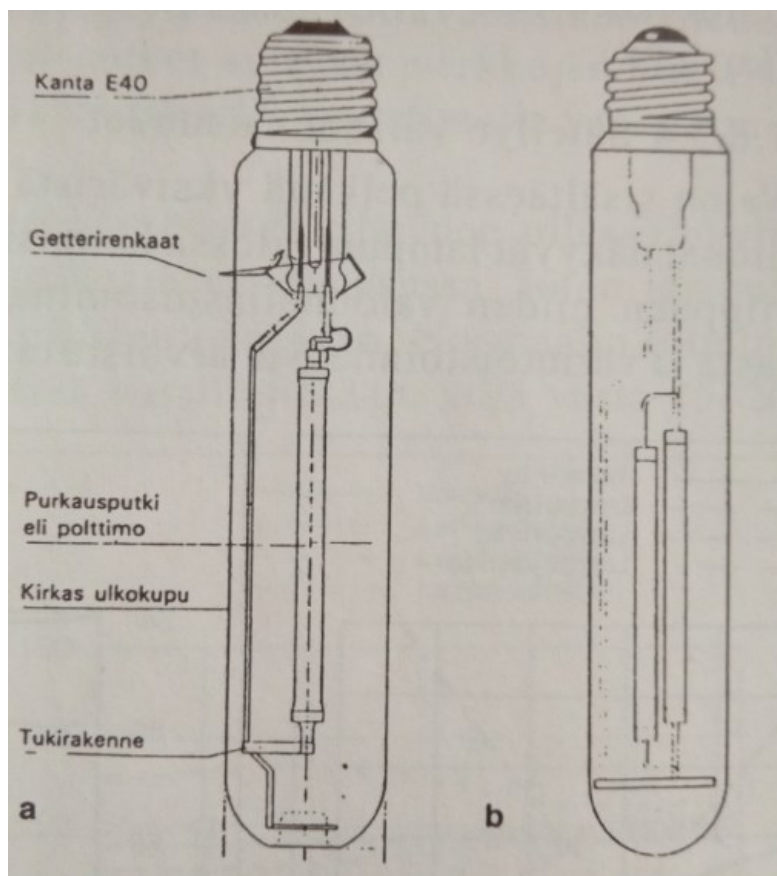
soveltuvat joko vastus tai induktiivinen kuristin, joka kytketään lampun kanssa sarjaan. Vastuskytkennän tehohäviöt muodostuvat kuitenkin suuriksi, koska vastuksen tehohäviö on $P=UI$ ja kuristimen $P=UI \cos\phi$. Jännitteen ja virran vaihesiirto on noin 90° , minkä takia $\cos\phi$ on hyvin pieni. Vastuksella toteutetun kytkennän tehohäviöt ovat 4-5 kertaisia kuristinkytkentään verrattuna. Esimerkiksi 36 W lamppuilla vastuksella toteutetun kytkennän tehohäviöt ovat noin 40 W, kun taas kuristimella häviöt jäävät noin 8 W:iin. Lamppujen palamisjännitteen ollessa alle 120 V on loistelampun tarkoitettu toimimaan yleensä 220-240 V verkkojännitteellä. (Ahponen, Veikko. 1999, 37-38.)

2.4 Suurpainenatriumlamput

Suurpainenatriumlampun valontuotto perustuu purkaukseen natriumhöyryssä. Suurpainenatriumlamppu on erittäin valotehokas (100-140 lm/W), koska purkauksen valontuotto sattuu lähelle silmäherkkyyssäikeiden maksimia. Suurpainenatriumlampun lähettämä valo on sävyltään punertavaa ja lamppulla on huono värintoisto. Lamppuja on tehoalueella 35-1000 W. Valotehokkuus paranee lampun tehon kasvaessa. Pitkään markkinoilla olleet suuritehoiset lamput ovat pitkäikäisiä (yli 16 000 h), mutta uudemmat pienitehoiset 70 W lamput ovat eliniältään vain noin 9000 h. Hiljattain markkinoille on myös tullut suurpainenatriumlamppuja, joiden eliniäksi luvataan 24 000 h. Nämä lamput ovat käytännössä korvanneet lyhyemmän polttoajan lamput ulkovalaistuksessa. (ST 58.08 Valonlähteet)

Suurpainenatriumlamppujen värintoistoa on pyritty korjaamaan ulkokuvun loisteainekerroksen avulla. Tämän seurauksena lampun elinikä lyhenee ja valotehokkuus huononee. Käytännössä on myös havaittu, että värikorjaus ei kestä koko lampun polttoaikaa. Markkinoilla on myös ns. white-SON-lamppuja, joilla $T = 2500 \text{ K}$ ja $R_a = 83$. Näillä lamppuilla elinikä ja valotehokkuus ovat kuitenkin selkeästi huonompia verrattuna perinteisiin suurpainenatriumlamppuihin. Myös suoraan elohopealampun tilalle laitettavia suurpainenatriumlamppuja löytyy markkinoilta. Näitä lamppuja kutsutaan korvaaviksi suurpainenatriumlampuiksi ja niistä löytyy sisäänrakennettu sytytin. Myös nämä lamput, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta, ovat poistuneet Euroopan markkinoilta elohopealamppujen kanssa. (ST 58.08 Valonlähteet)

Suurpainenatriumlamppuja käytetään mm. tievalaistukseen, puistovalaistukseen, korkeiden teollisuustilojen valaistukseen ja suurten ulkoalueiden valaistukseen, kuten satamissa, ratapihoilla ja teollisuuden varastoalueilla. Suurpainenatriumlamppuja on eri laatuluokissa, joilla on erilaisia valotehokkuuksia. Energiatehokkuudeltaan heikoimpia lamppuja on poistunut markkinoilta vähitellen ErP-direktiivin toimeenpanosäädöksillä. Periaatteena kuitenkin on ollut, että sopiva suurpainenatriumlamppu löytyy jatkossakin jokaiseen teholuokkaan. Suurpainenatriumlampun rakenne esitetty kuvassa 3. (ST 58.08 Valonlähteet)

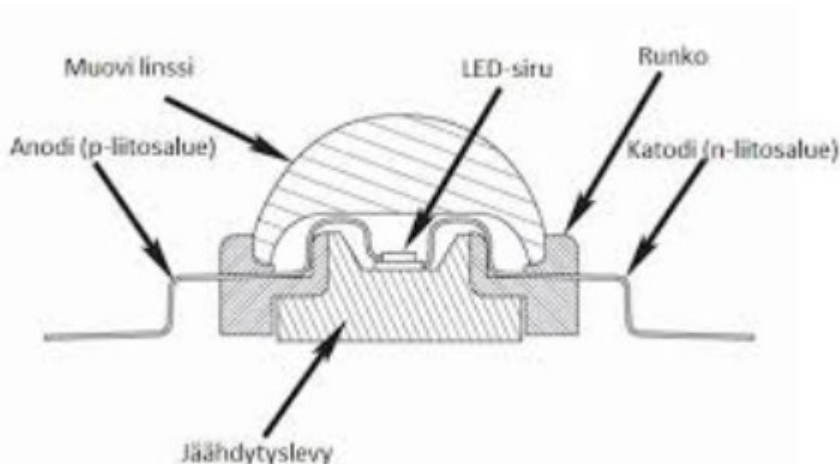


Kuva 3. Suurpainenaatriumlampun rakenne: a) tavallinen lamppu b) kaksoispoltinlamppu (stand by lamppu) (Ahponen, 1999, 60.)

2.5 LED- Valaisimet

Ledi eli hohtodiodi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa myötäjännitteeseen kytkettynä. Lyhenne LED tulee sanoista light-emitting diode ja ledi voidaan kirjoittaa muotoihin: ledi, led, LED. Lediä toimiessa tasavirralla tarvitaan erillinen virtalähde, joka muuttaa verkosta tulevan vaihtovirran ledeille sopivaksi tasavirraksi. Ledi antaa sitä enemmän valoa, mitä suuremmalla virralla sitä syötetään. Valaistustarkoitukseen suunnitellut ledit eivät lähetä ultraviolettia- tai lämpösäteilyä, kuten monet perinteisemmät valonlähteet. Energia, joka ei poistu ledistä säteilemällä, alkaa lämmittää lediä. Korkeat lämpötilat lyhentävät puolijohdeiden elinikää ja laskevat ledin tuottamaa valovirtaa. Siksi onkin tärkeää saada ylimääräinen lämpö johdetuksi pois ledistä. Myös lediä syöttävä virtalähde voi vaurioitua liiallisen lämmön seurauksena, jos se on samassa kotelossa ledin kanssa, kuten esim. ledilampussa, joka on tarkoitettu asennettavaksi suoraan perinteisen valonlähteen tilalle. Lämmön siirtämisen mahdollistamiseksi valoa tuottavat ns. teholedit rakennetaan erilaisina pintaliitoskomponentteina. (ST 58.08 Valonlähteet)

Nykyään on olemassa ledejä, joiden valotehokkuus on yli 150 lm/W ja jotka ovat tehokkaampia kuin mikään muu valonlähde. Lämpimän valkoisella diodilla on normaalisti 15-25 % alhaisempi valoteho verrattuna kylmiin valkoisiin, koska fosforijauhe suodattaa enemmän valoa. Lediä tehokkuus on usein huomattavasti parempi kuin mitä lumenarvo ilmoittaa verrattuna perinteisiin valonlähteisiin, koska ledien valo on suunnattua. Vastaavassa pienloisteputkivalonlähteessä häviöt voivat olla jopa 40-60 % valovirrasta. Ledin kohdalla häviöt ovat yleensä noin 10-20 %. (Hidealite.com)



Kuva 4. LED-moduulin poikkileikkaus. (Hidealite.com)

2.6 LED-moduulit ja niiden käyttöaika

Led-moduulien käyttöikä ilmoitetaan tunteina (h), jolloin valonmäärästä on tietty vähittäinen määrä jäljellä uuteen tuotteeseen verrattuna (alenemakerroin), L-arvon avulla (LX). Vähintään 70 % (L_{70}) valon määrästä on oltava jäljellä valaistukseen käytettävissä Ledeissä. On myös mahdollista ilmoittaa suurempia L-arvoja, kuten esim. (L_{80}) tai (L_{90}). (Hidealite.com)

B-arvo (vikaantumiskerroin) ilmoittaa sen osan tarkastelujoukosta, jonka odotetaan alittavan tämän arvon (By). Esimerkiksi B10 tarkoittaa, että 10 % alittaa arvon (LX) ja B50 tarkoittaa, että puolet tarkastelujoukosta alittaa arvon (LX). B50 kuvataan standardissa arvolla Median Useful Life tai keskimääräinen käyttöikä. (Hidealite.com)

Esimerkiksi L_{70} 50 000 h tarkoittaa, että 50 % (B50) tuottaa vähintään 70 % 50 000 tunnin jälkeen uuden tuotteen valon määrästä. (Hidealite.com)

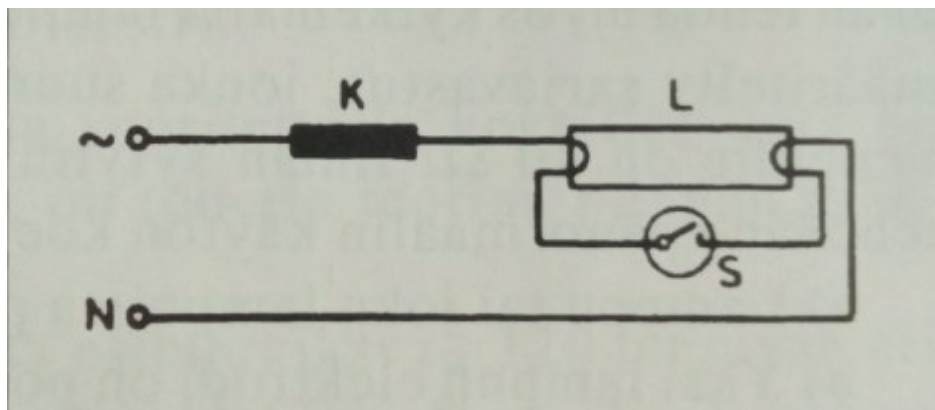
2.7 Liitäntälaitteet, kuristimet ja sytyttimet

Liitäntälaitteilla tarkoitetaan niitä laitteita, joiden välityksellä purkauslamput liitetään niitä syöttävään verkkoon. Liitäntälaitteet toimivat virranrajoittimena ja tavallisesti auttavat lampun sytyttämisessä. Liitäntälaitteet voivat esimerkiksi myös muuntaa verkkojännitteen lampulle sopivaan muotoon, vaihtaa radiohäiriöitä, stabiloida verkkojännitteen vaihteluja, kompensoida vaihesiirtoa jne. (Ahponen, Veikko. 1999, 79.)

Normaalilla (50 Hz) jakeluverkon taajuudella sopii virranrajoitukseen parhaiten induktiivinen reaktanssi eli yksinkertaisimmillaan tavallinen rautasydäminen kuristin. Ohminen vastus soveltuu huonosti virran rajoitukseen, koska sen häviöt tulevat suuremmiksi kuin lampun teho ja energia muuttuu tältä osin lämmöksi. Myös pelkän lampun valotehokkuus laskee oleellisesti arvosta, joka saataisiin samasta lampusta hyvää kuristinta käyttäen. (Ahponen, Veikko. 1999, 79.)

Kuristimessa on kaksi pääosaa: rautasydän, joka muodostaa magneettiipiirin, sekä käämi, jossa kulkeva virta synnyttää magneettiipiiriin magneettivuon. (Ahponen, Veikko. 1999, 80)

Yleisin ja yksinkertaisin loistelampun kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 5. Virran rajoittimena on induktiivinen kuristin ja sytyttimenä hohtosytytin. (Ahponen, Veikko. 1999, 86.)



Kuva 5. Loistelampun kytkentäkaavio. K kuristin, L lamppu, S sytytin. (Ahponen, 1999, 86.)

Loistelamppu ei syty normaalilla käyttöjännitteellä ilman katodien esihehkutusta. Kun esihehkutusvirta kuumentaa katodit riittävään lämpötilaan, lähtee niistä elektrodeja, jotka ionisoivat läheisiä kaasuatomeja, jolloin pääpurkaus katodien välillä syntyy helposti. Esihehkutus suoritetaan sytyttimen tai erityisen hehkutusmuuntajan avulla. Sytytin on rele, joka liitetään katodien kautta kulkevaan sytytyspiiriin. Sen tarkoituksena on jännitteen kytkemisen jälkeen sulkea piiri, niin että esihehkutuseli sytytysvirta alkaa kuumentaa katodeja. Tänä aikana katodien välinen jännite on nolla. 1-2 s kulluttua sytyttimen kontaktit aukeavat ja katodien välille tulee täysi jännite, jolloin lamppu syttyy. Yleisin rele on hohtosytytin eli hohtolamppu, jonka toinen elektrodi tai molemmat, on bimetalliliuska. Hohtopurkauksen syttymisjännite sytyttimessä on mitoitettu niin, että purkaus syntyy lampun käyttöjännitteellä muttei lampun palamisjännitteellä. (Ahponen, Veikko. 1999, 38-39.)

Suurpainenatrium- ja monimetallilamput eivät syty kytkemällä niihin pelkkä verkkojännite. Näiden lamppujen sytyttämiseen tarvitaan erillinen sytytin. Tässä on joitain poikkeuksia, jotka on selvästi merkitty lampunvalmistajien luetteloissa, kuten lamput, joissa on integroitu sytytyslaite. Sytytyslaite tuottaa oikea-aikaisesti yhden tai useampia jännitepulsseja. Tyypillinen kaksielektrodirinen purkauslamppu sytytetään tuottamalla lampun elektrodeihin suurjännitepulsseja, jotka kerrostetaan kuristimen tuottamaan vaihtojännitteeseen. Purkauslamput vaativat tyypillisesti 1-5 kV jännitepulsseja. (Ahponen, Veikko. 1999, 99.)

Monimetalli- ja suurpainenatriumlamppujen kuristimet eroavat elohopealamppujen kuristimista siten, että niissä on yleensä ulosottoja eri verkkojännitteille. Tämä johtuu siitä, että lamppujen teho on rajoitettu niin kapealle alueelle, että sallitut rajat ylitetään normaalin verkkojännitevaihtelun $\pm 10\%$ puitteissa. Jos ei ole varmuudella tiedossa asennuspaikan jännitettä, niin on monimetalli- ja suurpainenatriumlamput parasta kytkeä suurimmalle kuristimessa esiintyvälle verkkojännitteelle esim. 240 V tai 415V. Tehon ylittäminen voi aiheuttaa lamppujen vikaantumisen. Tehon alitus vaikuttaa lähinnä vain valospektriin. Näissä kuristimissa voi olla myös ulosotto sytytysjännitteelle ja vahvistettuja eristeitä kestävämmän suurien sytytysjännitteitä. (Ahponen, Veikko. 1999, 99.)

2.8 Sähkön laatu

Sähkölaitteet on tarkoitettu toimimaan sinimuotoisella jännitteellä. Nykyaikaiset laitteet vaativatkin virheetöntä jännitettä toimiakseen oikein. Sähkön käytön kasvaessa on myös häiriöitä aiheuttavien laitteiden määrä lisääntynyt jatkuvasti. Yliaallot ovat yksi merkittävästi sähkönlaatua huonontava

tekijä. Sähköllä on omat laatutekijänsä niin kuin muillakin tuotteilla. Sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat: Jännitteen taso, taajuus, jännitteen vaihtelut, jännitepiikit, epäsymmetria kolmivaihejärjestelmässä, keskeytykset, tasajännitekomponentti, käyttöoikeuden rajoitukset ja yliaallot. (Korpinen, Leena [ei pvm.] Yliaalto-opus.)

Tässä työssä keskitytään valaisimien aiheuttamiin virran yliaaltojen vaikutuksiin.

Virran tai jännitteen suhteen epälineaariset virtapiirin osat synnyttävät sähköverkkoon yliaaltoja. Näiden osien verkosta ottama virta ei ole täysin sinimuotoista. Epälineaaristen kuormien synnyttämät virran yliaallot leviävät helposti myös muille sähkökäyttäjille aiheuttaen ongelmia, joihin ei ole osattu varautua. Yliaaltoja synnyttävät virtapiirin osat voidaan jakaa virta- tai jännitelähdetyyppisiksi yliaaltogeneraattoreiksi. (Korpinen, Leena [ei pvm.] Yliaalto-opus.)

Loiste- ja purkauslamput ovat epälineaarisia kuormia, jotka tarvitsevat virranrajoittimen. Virranrajoittimenä on perinteisesti kuristin. Tällöin tehokerroin jää huonoksi, jota voidaan parantaa rinnakkaiskompensoinnilla. Uusien elektronisten liitäntälaitteiden toiminta perustuu verkkojännitteen vaihtosuuntaamiseen suurella taajuudella (<20 kHz). Näillä liitäntälaitteilla hyötysuhde ja valonlaatu paranee, mutta ne synnyttävät verkkoon yliaaltoja. Yliaaltojen pienentämiseen vaaditaan laitteilta yliaaltosuodatinta. Standardi IEC 555-2 säätelee näiden lamppujen yliaaltoja. Mikään standardi ei sido pienoisoistelamppuja ja niiden elektronisia liitäntälaitteita. Tämä voi aiheuttaa ongelmia käytettäessä näitä lamputyyppejä systemaattisesti suurissa rakennuksissa. (Korpinen, Leena [ei pvm.] Yliaalto-opus.)

Yliaalloilla on paljon haitallisia vaikutuksia verkon komponentteihin. Yliaallot kasvattavat häviöitä voimansiirrossa ja verkon komponenteissa, joka aiheuttaa lämpenemistä ja nopeuttaa eristeiden vanhenemista. Jännitteiden käyrämuotojen vääristymät aiheuttavat virhetoimintoja ja häiritsevät puhe- ja radiotaajuudella tapahtuvaa viestiliikennettä. (Korpinen, Leena [ei pvm.] Yliaalto-opus.)

Jännitteen tai virran käyrämuodon poiketessa sinimuodosta, voidaan sen ajatella olevan koostunut useasta eritaajuisesta sinisignaalista. Funktio voidaan hajottaa komponentteihinsa Fourier-analyysillä, johon yliaaltojen matemaattinen käsittely perustuu. Jaksolliset funktiot, jotka ovat muotoa $f(t) = f(t + T)$, voidaan kehittää Fourier'n sarjaksi, joka on muotoa:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t) \quad (1)$$

Sarjan ensimmäinen termi (n=1) on perusaalto ja muut termit ovat yliaaltoja järjestyslukunsa mukaan. Funktion $f(t)$ ollessa symmetrinen origon suhteen, sisältää sarja vain parittomia termejä. (Korpinen, Leena [ei pvm.] Yliaalto-opus.)

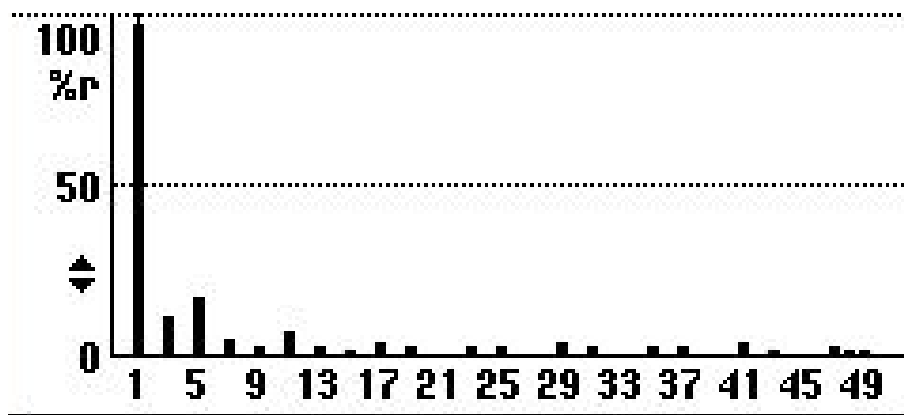
Yliaaltojen suuruudet ilmoitetaan yleensä perusaallon ja yliaallon suhteena U_n/U_1 . Tavallisesti yliaallot kuvataan kootussa spektriesityksessä. (Korpinen, Leena [ei pvm.] Yliaalto-opus.)

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) dt \quad (3)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) dt \quad (4)$$

Funktiota kuvaavien komponenttien joukkoa kutsutaan taajuusspektri. Jaksollisen funktion spektri on diskreetti- eli viivaspektri, jolle on ominaista, että komponentteja esiintyy vain taajuuksilla $n \cdot f_1$, missä n on kokonaisluku. Komponenttien suhteellisarvot luetaan pystyakselilta ja yliaallon järjestysluku vaak-akselilta. Kuvassa 6. on esitetty esimerkki komponenttien suhteellisarvoista. (Korpinen, Leena [ei pvm.] Yliaalto-opus.)



Kuva 6. Esimerkki yliaaltojen komponenttien suhteellisarvoista.

2.9 Valaistusstandardi

Jotta näkötehtävät pystytään suorittamaan tehokkaasti, tarkasti ja turvallisesti, tarvitaan riittävä ja tarkoituksenmukainen valaistus. Työtehtävän tyyppi ja kesto vaikuttavat tarvittavaan näkyvyyteen ja näkömukavuuteen erilaisilla työpaikoilla. (SFS-EN 12464-1. 2011-10-10, 8.)

Luminanssijakauma näkökentässä määrää silmien sopeutumistason, joka vaikuttaa kohteen näkyvyyteen. Tasapainoinen luminanssi parantaa näöntarkkuutta, kontrastiherkkyyttä ja näköaistin toimintojen tehokkuutta. Näkökentän luminanssi vaikuttaa myös näkömukavuuteen. Liian suuret luminanssit voivat aiheuttaa häikäisyä ja suuret luminanssikontrastit voivat aiheuttaa näköväsymystä silmien jatkuvan sopeutumistason muuttumisen takia. Liian pienet luminanssit tekevät työympäristöstä tylsän ja yksitoikkoisen. (SFS-EN 12464-1. 2011-10-10, 14.)

Valaistusvoimakkuudella, sen jakaumalla ja tasaisuudella on suuri merkitys sille, kuinka nopeasti, turvallisesti ja miellyttävästi työntekijä hahmottaa näkötehtävän. Suuret valaistusvoimakkuuden vaihtelut työalueilla voivat aiheuttaa silmien väsymystä ja epämukavuuden tunnetta. Myös häikäisy on otettava huomioon valaistusta suunniteltaessa, koska se voi aiheuttaa epämukavuutta ja mahdollisia vaaratilanteita. (SFS-EN 12464-1. 2011-10-10, 16.)

Värintoisto vaikuttaa näkötehokkuuteen, mukavuuteen ja hyvinvointiin. ympäristön ja siinä olevien kohteiden ja ihmisten ihon värien tulee toistua luonnollisena ja oikealla tavalla. valonlähteen värintoisto-ominaisuuksia varten on kehitetty yleinen värintoistoindeksi R_{at} , jonka suurin arvo on 100. Standardin ISO 3864-1 mukaisten turvavärien tulee aina toistua oikein. (SFS-EN 12464-1. 2011-10-10, 30.)

Suomen standardisoimisliitto SFS standardissa SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus osassa 1: sisätilojen työkohteiden valaistus on koottuna taulukoihin erilaisten työpaikkojen valaistuksen raja-arvoja, joita tulee noudattaa valaistusta suunniteltaessa. Taulukoissa on eritelty

erilaisten tilojen, tehtävien tai toimintojen mukaan vaaditut raja-arvot. Taulukoista ilmenee keskimääräinen ylläpidettävä valaistusvoimakkuus E_m , UGR-häikäisyindeksin maksimiarvo, valaistusvoimakkuuden tasaisuuden U_0 vähimmäisarvo, Pienimmän sallitun värintoistoindeksin R_a arvo ja mahdolliset tilalle, tehtävälle tai toiminnalle asetetut erityisvaatimukset. Kuvassa 7. on esitetty tähän työhön liittyviä valaistusvaatimuksia sahalaitoksella.

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_0 –	R_a –	Erityisvaatimukset
5.25.1	Automatisoidut prosessit, esim. kuivaus, vanerin valmistus	50	28	0,40	40	
5.25.2	Höyryttämöt	150	28	0,40	40	
5.25.3	Saha	300	25	0,60	60	Stroboskooppi-ilmiö estettävä
5.25.4	Höyläpenkki, liimaus, kokoonpano	300	25	0,60	80	
5.25.5	Kiillotus, maalaus, erikoispuusepäntyö	750	22	0,70	80	
5.25.6	Työskentely puuntyöstökoneilla, esim. sorvaus, uurto, höyläys, kynnteen teko, uritus, leikkaus, sahaus, jyrshintä	500	19	0,60	80	Stroboskooppi-ilmiö estettävä
5.25.7	Puuviiilujen valikointi	750	22	0,70	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ k$
5.25.8	Upotustyö, upotuskoristelu	750	22	0,70	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$
5.25.9	Laaduntarkkailu, tarkastus	1 000	19	0,70	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$

Kuva 7. Teollisuus ja käsityö – puutyö ja puunkäsittely valaistusstandardin raja-arvoja. (SFS-EN 12464-1 2011-10-10, 52.)

Erityisvaatimuksia sahalaitoksella aiheutuu pyörivien ja liikkuvien koneiden takia. Stroboskooppi-ilmiö saattaa aiheuttaa vaaratilanteita, koska se saa pyörivien tai liikkuvien koneiden liikkeitä näyttämään hitaammilta tai kokonaan pysähtyneiltä. Lisäksi välkyntä voi aiheuttaa fysiologisia oireita työntekijöissä. Myös laaduntarkkailuun tarvitaan parempaa valaistusta kuin muihin työtehtäviin. Sahatavaran virheet eivät ole yhtä helposti huomattavissa huonommassa valaistusvoimakkuudessa ja tietyt valaistuksen värisävyt hankaloittavat mahdollisten virheiden havaitsemista ja niiden vakavuuden arviointia.

3 KUHMO OY JA TÄMÄNHETKINEN VALAISTUSTILANNE

Kuhmo Oy on perustettu vuonna 1955 ja yritys on harjoittanut sahaustoimintaa vuodesta 1959. Sahaustoimintaa on harjoitettu historian kuluessa kolmella paikkakunnalla: Kuhmossa, Valtimolla ja Hyrynsalmella. Vuodesta 1986 sahaustoiminta on keskitetty kokonaisuudessaan Kuhmoon. Kuhmo Oy on 400.000 m³:n kapasiteetin omaava sahalaitos. Investointiohjelmaan kuuluvat kaksi sahauslinjaa, kokonaan uudistettu kappaleen käsittelyteknologia ja kuivaus. Osana ovat myös merkittävät bioenergia investoinnit lämmön ja sähkön tuotantoon sekä kiinteän biopolttoaineen valmistukseen. Kuhmo Oy hankkii raaka-aineensa Kainuun metsistä, joissa pääpuulajina on mänty. Männyn osuus Kuhmo Oy:n tuotannossa on noin 80 %. Sahaus tapahtuu lopputuotteiden mukaan lajitelluista tukeista pyörösahaustekniikalla. (Kuhmo Oy, 2021)

Kuhmo Oy sahalaitoksella on nykyisin käytössä pääasiassa suurpainenatriumlamput. Lamppujen kotelona on suljettu tehdasvalaisin Victor 010 M 00 D2 - ME 100W - E27 – Tehdasvalo, joka on esitetty kuvassa 8. Lamppuna sahalaitoksella on käytössä SODINETTE ST 100W E40 suurpainenatriumlamppu. Joissain paikoissa valaistus on hoidettu loisteputkivalaisimilla.



Kuva 8. Suljettu tehdasvalaisin Victor 010 M 00 D2 – ME 100W – E27 (Sähkönumerot.fi)

3.1 Sahan päähalli

Sahan päähalli on suurin aluekokonaisuus, jossa sijaitsee molemmat sahalinjat, sahalinjojen ohjaimot, särmälinjat 1,2,3 ja alakerrassa osa alueesta on varastotilana. Myös uuden dimensiolajittelulaitoksen ajopaikka voidaan katsoa olevan päähallin osana. Sahan päähalli on valaistu nykyisin yläkerrasta 142 kpl spn-valaisimia ja lisäksi alakerrasta löytyy 32 kpl spn-valaisimia. Yhteensä sahan päähallin valaisemiseen käytössä on nykyisin 174 kpl suurpainenatriumvalaisimia. Kuvassa 9. näkyy nykyinen valaistustilanne sahan päähallin sahalinjan kohdalta katsottuna terähuoneesta 2. särmälinjalle päin. Kuvassa 10. näkyy hallin toinen puoli varastotilana olevan alueen kohdalta.



Kuva 9. Nykyinen valaistustilanne sahalinjan yläpuolella. (Topi Venäläinen, 2021)



Kuva 10. Nykyinen valaistustilanne varasto alueen päältä. (Topi Venäläinen, 2021)

Nykyisellä valaistuksella valotehokkuus jää monin paikoin alle vaaditun 300 lx tason. Sahan päähallin valaistusta tulisi hieman lisätä, jotta päästäisiin standardin SFS-EN 12464-1 vaatimalle valaistusvoimakkuustasolle.

Terähuone sijaitsee myös osana sahan päähallia omana tilanaan. Terähuone on pienehkö huone, jossa huolletaan sahalla käytössä olevat terät. Terähuone on valaistu nykyisin 12 kpl spn-valaisimia. Kuvassa 11. näkyy nykyinen valaistustilanne terähuoneessa.



Kuva 11. Terähuoneen nykyinen valaistustilanne (Topi Venäläinen, 2021)

3.2 Uusi dimensiolajittelulaitos

Uudella dimensiolajittelulaitoksella sahan päälinjan sydäntavarakappaleet lajitellaan dimensioiden mukaan omille tasoille. Lisäksi uudelle dimensiolajittelulaitokselle voidaan ajaa pienpuulinjan kappaleita lajittelua varten. Uuden dimensiolajittelulaitoksen hoitaja seuraa prosessia ja pitää laitoksen toiminnassa. Uudella dimensiolajittelulaitoksella myös mitataan kappaleet ja tarkastellaan laatua.

Uudella dimensiolajittelulaitoksella ajopaikan ja linjan alun valaistus liittyy päähallin valaistukseen. Lajittelulinjan loppu ja tasojen valaistus on hoidettu nykyisin 69 kpl spn-valaisimia. Uudella dimensiolajittelulaitoksella valaistus on toteutettu niin että, trimmerin huoltotöitä varten on kolme kohdennettua valaisinta ja loput valaisimet ovat yhden kapean käytävän varrella neljässä kerroksessa tasojen vieressä. Lisäksi uuden dimensiolajittelulaitoksen ajopaikalla tarkastellaan kappaleiden mittoja ja laatua. Tähän tarkoitukseen on vielä kuusi led-valaisinta, joilla saadaan aikaiseksi parempi valaistusmittauksia ja laadunvalvontaa varten. Tasojen valaisemiseen ei voida tehdä isoja muutoksia, koska ei ole mahdollista sijoittaa valaisimia muualle kuin käytävän varrelle tasojen viereen. Kuvassa 12.

näky tasojen viereisen käytävän valaistus kolmannessa kerroksessa.



Kuva 12. Uuden dimensiolajittelulaitoksen tasojen viereisen käytävän valaistus. (Topi Venäläinen, 2021)

3.3 Vanha dimensiolajittelulaitos

Vanhalla dimensiolajittelulaitoksella lajitellaan sahan päälinjan sivulaudat ja pienpuulinjan kappaleet. Laitos lajittelee kappaleet niiden dimensioiden mukaan lokeroihin. Prosessinhoitaja seuraa prosessia ja pitää laitoksen toiminnassa. Vanhalla dimensiolajittelulaitoksella myös tarkastellaan sahattujen kappaleiden laatua.

Vanhalla dimensiolajittelulaitoksella yläkerran valaistus on hoidettu 68 kpl spn-valaisimia. Yläkerran valaisimien lisäksi vanhan dimensiolajittelulaitoksen välikäytävällä on kolme spn-valaisinta ja alakerrassa, mukaan lukien hakkurihuone, on 38 kpl spn-valaisimia. Vanhan dimensiolajittelulaitoksen lokeroiden vieressä on vielä eri tasossa kulkeva käytävä, joka on nykyisin valaistu 8 kpl spn-valaisimia. Yhteensä vanhan dimensiolajittelulaitoksen ja hakkurihuoneen alueella on 117 kpl spn-valaisimia. Vanhan dimensiolajittelulaitoksen ajopaikalla on myös kaksi loisteputkivalaisinta, joita voidaan käyttää kappaleita mitattaessa ja laatua tarkkaillessa. Kuvassa 13. näkyy nykyinen valaistustilanne yläkerrassa lokeroiden alusta kohti loppupäätä.



Kuva 13. Vanhan dimensiolajittelulaitoksen yläkerran lokeroiden valaistus. (Topi Venäläinen, 2021)

Vanhan dimensiolajittelulaitoksen alakerran valaisimien sijoitteluihin ei voida tehdä suuria muutoksia, koska esim. hakkurihuone on ”ahdas” siellä sijaitsevien koneiden ja laitteiden takia. Vanhan dimensiolajittelulaitoksen muu alakerran valaistus on kahden käytävän varrella, jotka kulkevat linjan molemmin puolin hakkurihuoneesta lokeroiden loppuun.

3.4 Rimoitukset

Kappaleiden lajittelun jälkeen rimoittajat ottavat lajitellut kappaleet, joko lokerosta tai tasoilta, rimoitukseen. rimoittajat tekevät kappaleista rimataakkoja, jotka lähetetään kuivaukseen, jossa ne kuivataan haluttuun kosteuteen.

Uusi rimoitus on valaistu nykyisin 36 kpl spn-valaisimia. Uuden rimoituksen valaisimista 22 kpl sijaitsee yläkerrassa ja 14 kpl alakerrassa. Alakerran valaisimet sijaitsevat kaikki rimapaketin pohjarautojen käsittelypaikalla. Uuden rimoituksen nykyinen valaistustilanne yläkerrassa esitetty kuvassa 14. Kuvassa 15. näkyy uuden rimoituksen rimataakan pohjarautojen käsittelypaikan valaistus.



Kuva 14. Uuden rimoituksen yläkerran nykyinen valaistus. (Topi Venäläinen, 2021)



Kuva 15. Uuden rimoituksen rimataakan pohjarautojen käsittelypaikan valaistus. (Topi Venäläinen, 2021)

Vanhan rimoituksen yläkerta on valaistu 14 kpl spn-valaisimia. Alakerrassa on 11 kpl spn-valaisimia. Vanhassa rimoituksessa on siis yhteensä 25 kpl spn-valaisimia. Vanhan rimoituksen syöttökuljettimet ja traverssivaunun alue on jo valaistu 16 kpl led-valaisimia. Vanhan rimoituksen nykyinen valaistustilanne esitetty kuvissa 16. (yläkerta) ja 17. (alakerta).



Kuva 16. Vanhan rimoituksen yläkerran nykyinen valaistustilanne. (Topi Venäläinen, 2021)



Kuva 17. Vanhan rimoituksen alakerran nykyinen valaistustilanne. (Topi Venäläinen, 2021)

3.5 Kuorimot

Sahalaitoksella on molemmille sahalinjoille kuorimot, joissa puusta poistetaan kaarna. Kuorinta prosessi on automaattinen eikä vaadi prosessinhoitajaa paikan päälle seuraamaan prosessia jatkuvasti. Kuorimoiden valaistuksen on kuitenkin oltava riittävä, jotta kuorintakoneen terät pystytään huoltamaan ja vaihtamaan.

Pienpuulinjan kuorimo on 18 m x 12 m suorakulmainen tila, joka on nykyisin valaistu 11 kpl suurpainenatriumvalaisimia. Lisäksi kuorimossa on pieni erillinen tila, jota käytetään varastona. Varasto on valaistu kahdella loisteputkivalaisimella. Pienpuulinjan kuorimon nykyinen valaistustilanne esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Pienpuulinjan kuorimon nykyinen valaistustilanne. (Topi Venäläinen, 2021)

Sahan päälinjan kuorimo on pienempi 15 m x 10 m suorakulmainen tila, joka on nykyisin valaistu 8 kpl suurpainenatriumvalaisimia. Päälinjan kuorimon nykyinen valaistustilanne esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Päälinjan kuorimon nykyinen valaistustilanne. (Topi Venäläinen, 2021)

3.6 Yhteenveto sahan nykyisestä valaistustilanteesta

Koko sahalaitoksen alueella on tällä hetkellä yhteensä 452 suurpainenatriumvalaisinta ja 2 loisteputkivalaisinta, jotka sijaitsevat sahalaitoksen eri alueilla. Taulukossa 1. on esitetty sahan nykyisten valaisimien määrät alueittain.

Taulukko 2. Nykyisten valaisimien määrät alueittain.

Valaisimien määrät sahalalla	sahan päähalli	terähuone	uusi dimensiolajittelulaitos	tuorepaketointi	vanha dimensiolajittelulaitos	rimoitus	kuorimo	yhteensä
Suurpainenatrium (kpl)	174	12	69	36	117	25	19	452
Loisteputki (kpl)	-	-	-	-	-	-	2	2

Nykyinen valaistustilanne ei ole optimaalinen, koska valaistusvoimakkuus ei yllä kaikkialla standardeissa vaadittuihin arvoihin ja suurpainenatriumlampuista lähtevä valo on sävyltään oranssin väristä. Uuden T3 dimensiolajittelulaitoksen laajennuksen yhteydessä tulikin sinne jo uudet led-valaisimet. Laajennustyömaalla oleva valaistus on riittävä, tasainen ja se koetaan miellyttäväksi. Kuvassa 20. on esitetty vertailun vuoksi uuden tuorelajittelulaitoksen T3 valaistustilanne.



Kuva 20. Uuden T3 dimensiolajittelulaitoksen valaistus. (Topi Venäläinen, 2021)

4 MITTAUKSET

4.1 Valaistusvoimakkuusmittaus

Suomen standardisoimisliiton tietojen perusteella vaadittu valaistusvoimakkuus sahasa on 300 lx ja erityisehtona stroboskooppi ilmiön poistaminen. (SFS-EN 12464-1). Sahan nykyistä valaistusta arvioidessa käytettiin apuna valaistusvoimakkuusmittaria YF-172 digital light meter. Sahan valaistusvoimakkuutta pystytään mittaamaan vain kulkuväylillä ja työpisteiltä. Hallissa on paljon kulkuväyliä ja ne ovat monessa eri tasossa. Kulkuväyliä käytetään koneiden ja kuljettimien ylittämiseen, alittamiseen tai kiertämiseen. Monissa paikoissa ei pystytä tekemään valaistusvoimakkuusmittauksia, koska laitteet ovat tiellä. Kuvassa 21. on mittauksissa käytetty lux mittari.



Kuva 21. Käytetty valaistusvoimakkuusmittari (Topi Venäläinen, 2021)

Sahalaitoksen valaistusvoimakkuutta mitattaessa huomattiin heti alkuvaiheessa, että sahan valaistus ei ole nykyisin riittävä, koska monin paikoin ei päästä vaadittuun 300 lx tasoon. Lisäksi valon tasaisuus on huonolla tasolla. Suoraan valaisimien alla päästään jopa 400 lx tasoon mutta valaisimien väleillä ja pahimmissa paikoissa valaistusvoimakkuus voi jäädä jopa alle 50 lx tason. Tämä tilanne toistuu sahan alueella monissa paikoissa.

Tilojen hankalan muodon ja nykyisen riittämättömän valaistuksen takia tarkempien mittausten tekeminen on turhaa, aikaa vievää ja tarkemmista tuloksista ei saada hyötyä kenellekään. Lisäksi valaisimien kotelot ovat likaisia ja lamput vanhoja, mikä huonontaa nykyistä valaistusvoimakkuus tilannetta entisestään. Onkin järkevämpää tehdä uusi suunnitelma, jonka avulla päästään parempaan valaistusvoimakkuuteen ja tasaisuuteen, kuin jäädä tutkimaan nykyistä tilannetta tarkemmin.

4.2 Sähkön laatu mittaus

Sähkön laatu mittauksissa tutkittiin virran harmonisia yliaaltoja. Virran harmonisien yliaaltojen mittaustuksista haluttiin saada selville, miten siirryttäessä spn-valaisimista led-valaisimiin virran harmonisien yliaaltojen pitoisuudet muuttuvat. Näiden tietojen pohjalta voidaan arvioida mahdollista tarvetta yliaaltojen torjumiselle tai aiheutuuko led valaisimiin siirtymisestä mahdollisesti muita ongelmia sähkön laadun näkökulmasta.

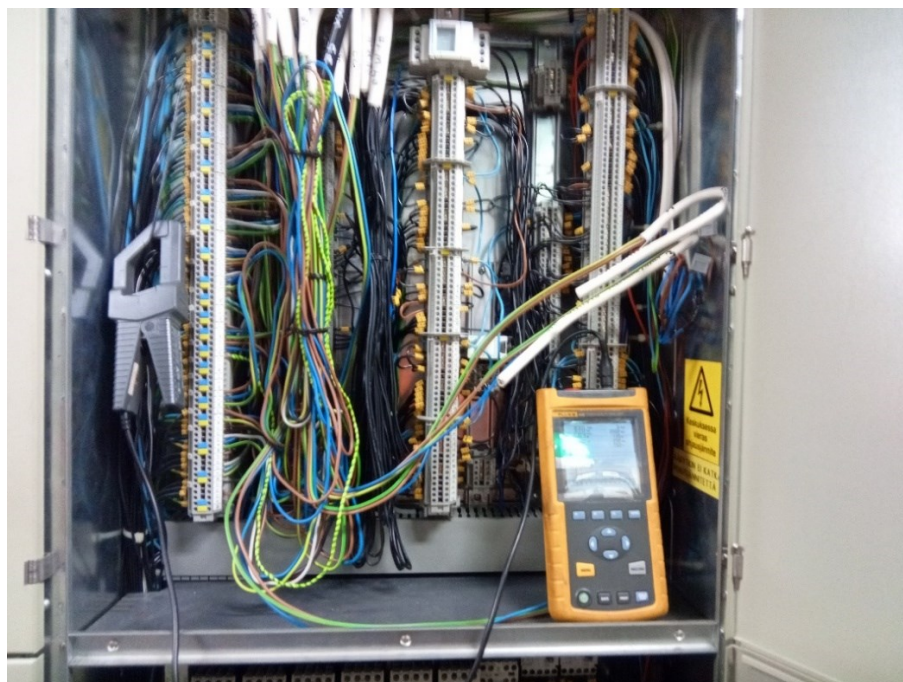
4.2.1 Virran yliaaltojen mittaus

Virran harmonisia yliaaltoja mitattiin kahdesta keskuksesta. Ensimmäinen mittaus tehtiin sellaisesta valaistusryhmästä, jossa oli pelkkiä suurpainenatriumvalaisimia. Ensimmäisen mittauksen valaisimet sijaitsivat pienpuulinjan yläkerrassa. Toinen mittaus tehtiin T3 dimensiolajittelulaitoksen valaisinryhmästä, jossa on jo käytössä uudet led-valaisimet. Mittarina näissä mittauksissa oli FLUKE 43B power quality analyzer, joka näkyy kuvassa 22.



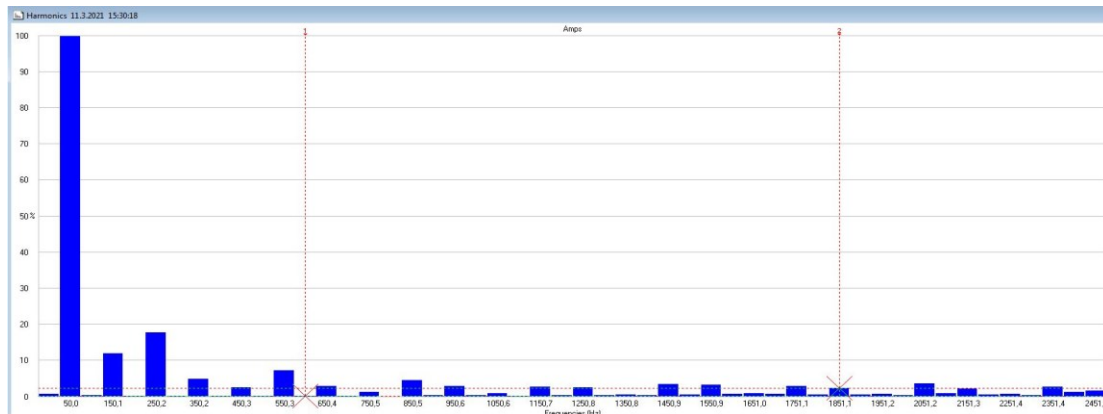
Kuva 22. käytetty sähkönlaatu mittari Fluke 43B power quality analyzer (Fluke-direct.com)

Virran yliaaltojen mittaus tapahtui asettamalla pihtimittari halutun vaiheen johtimen ympärille. Mittaukset tehtiin jokaisen valaisinryhmän jokaisesta vaiheesta siirtämällä aina pihtimittari seuraavan vaihejohtimen ympärille. Mittausjärjestelyt pienpuulinjan yläkerran spn-valaisimien yhdestä vaiheesta esitetty kuvassa 23.

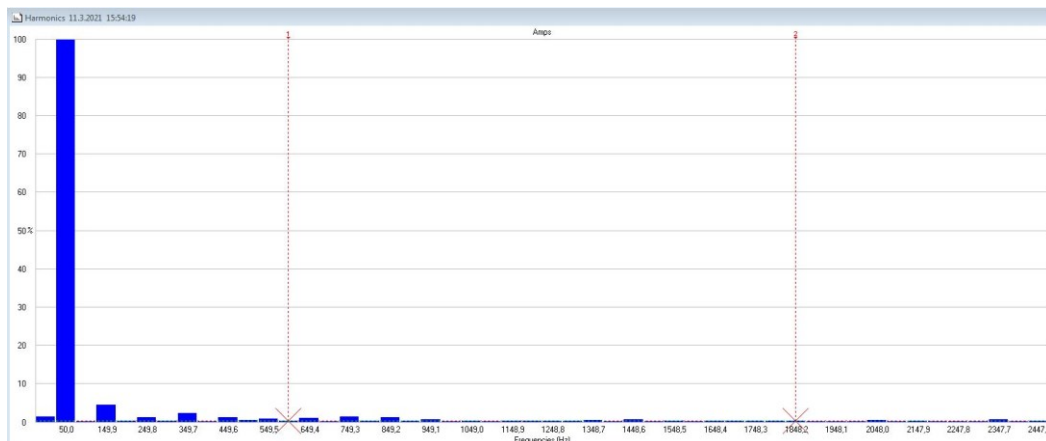


Kuva 23. Pienpuulinjan yläkerran spn-valaistuksen yhden vaiheen harmonisten yliaaltojen mittaus. (Topi Venäläinen, 2021)

Mittarilla mitattiin virran harmonisia yliaaltoja ja tiedot kerättiin mittariin tallennus- toiminnolla, jolloin mittari keräsi mitattamansa tiedot jokaisesta vaiheesta tiedostoiksi, jotka voitiin sitten siirtää tietokoneelle analysoitavaksi. Mittari esitti tiedot pylväskaaviona, joissa näkyi jokaisen yliaallon kerrannaiset prosentteina. Mittarista haetut tiedot esitetty kuvissa 24. ja 25. Mittarin luomista kaavioista tehtiin taulukoita, jotta tulokset saatiin helpommin ymmärrettävään ja havainnollisempaan muotoon.



Kuva 24. Pienpuulinjan yläkerran spn-valaisimien yhdestä vaiheesta harmonisten yliaaltojen mittarin tekemä kuvaaja.



Kuva 25. T3 dimensiolajittelulaitoksen led-valaisimien yhdestä vaiheesta harmonisten yliaaltojen mittarin tekemä kuvaaja.

4.2.2 Mittaustulokset ja tulosten käsittely

Mittauksista saatiin hyvät arvot, joiden perusteella voidaan tehdä arvioita uuteen valaistus ratkaisuun siirtymisestä sähkön laadun näkökulmasta.

Ensimmäisessä mittauksessa pienpuulinjan yläkerran valaistuksen virran THD (kokonais harmoninen särö) arvot olivat ensimmäisessä vaiheessa 27,2 %, toisessa vaiheessa 33,6 % ja kolmannessa vaiheessa 38,0 %. Toisessa mittauksessa T3 dimensiolajittelulaitoksen virran THD arvot olivat ensimmäisessä vaiheessa 8 %, toisessa vaiheessa 7,9 % ja kolmannessa vaiheessa 7,8 %. Kaikki mittauksesta saadut tulokset on esitetty taulukoissa 3 ja 4.

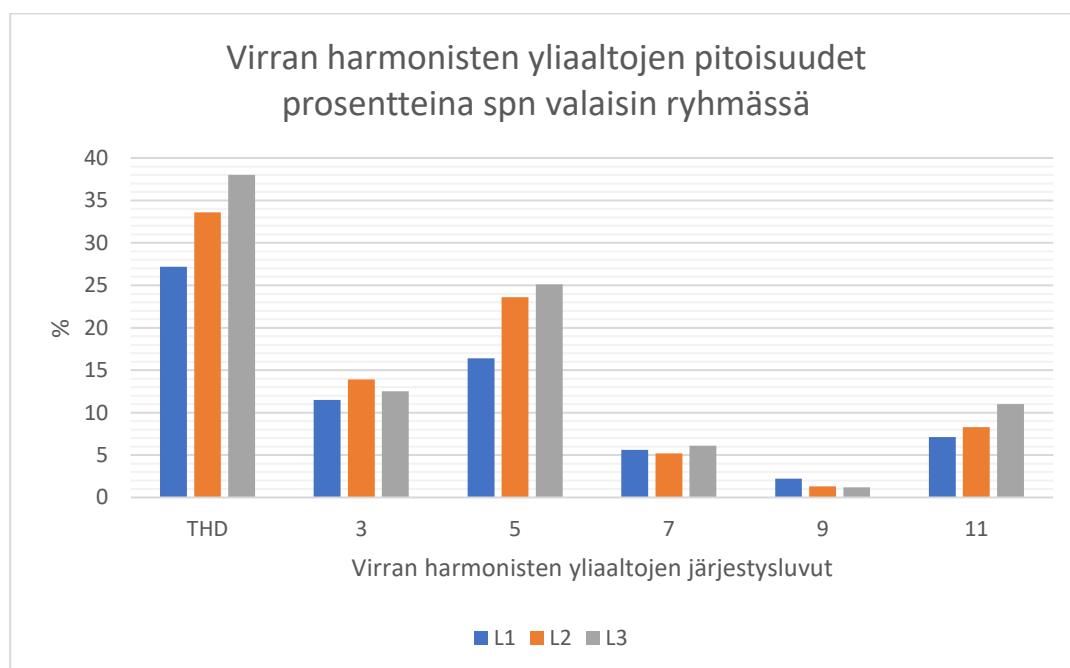
Taulukko 3. Virran harmonisten yliaaltojen mittaustulokset spn-valaisinryhmästä.

	rms A	THD	3	5	7	9	11
L1	5,92	27,20	11,50	16,40	5,60	2,20	7,10
L2	6,02	33,60	13,90	23,60	5,20	1,30	8,30
L3	5,71	38,00	12,50	25,10	6,10	1,20	11,00

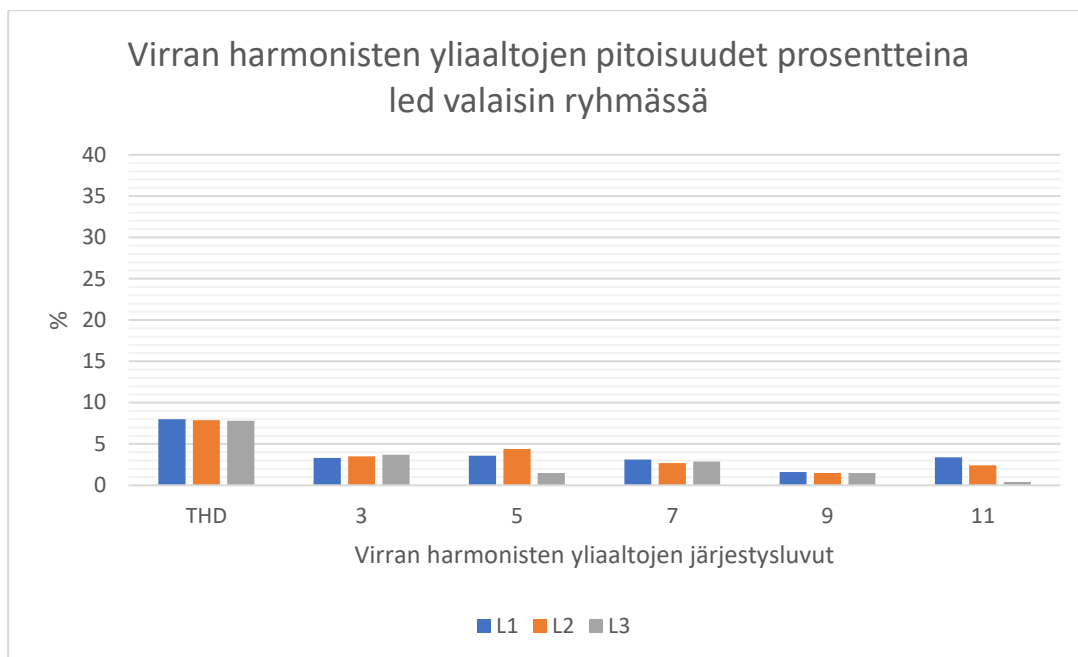
Taulukko 4. Virran harmonisten yliaaltojen mittaustulokset led-valaisinryhmästä.

	rms A	THD	3	5	7	9	11
L1	2,46	8,00	3,30	3,60	3,10	1,60	3,40
L2	2,01	7,90	3,50	4,40	2,70	1,50	2,40
L3	2,24	7,80	3,70	1,50	2,90	1,50	0,40

Virran harmonisten yliaaltojen pitoisuuksista tehtiin myös pylväskaaviot, jotka havainnollistavat paremmin yliaaltojen pitoisuuksia prosentteina. Kuviossa 1. on esitetty virran harmonisien yliaaltojen pitoisuudet prosentteina spn-valaisinryhmästä. Kuviossa 2. näkyy virran harmonisien yliaaltojen pitoisuudet prosentteina led-valaisinryhmästä.



Kuvio 1. Virran harmonisten yliaaltojen pitoisuudet prosentteina spn-valaisinryhmässä.



Kuvio 2. Virran harmonisten yliaaltojen pitoisuudet prosentteina led-valaisinryhmässä.

Näiden tulosten pohjalta voidaan todeta, että virran yliaaltojen pitoisuuksien kohdalla ei pitäisi tulla uusia ongelmia siirryttäessä spn-valaistuksesta led-valaistukseen. Uudistaminen vähentääkin virran yliaaltojen pitoisuuksia huomattavasti ja näin ollen parantaa sähkön laatua.

5 UUDEN VALAISTUKSEN MITOITTAMINEN

Mittausten perusteella sahan valaistusta tulisi hieman lisätä, jotta päästäisiin halutulle valaistusvoimakkuustasolle. Valaisimien valinnassa päädyttiin LED Victor 750M 2x 31,5 W teollisuus led-valaisimeen. Kyseiset valaisimet soveltuvat hyvin sahalaitoksen tarpeisiin korkean IP64 suojausluokkansa ansiosta. Kyseiset valaisimet ovat jo käytössä uuden T3 dimensiolajittelulaitoksen tiloissa, joten onkin järkevää laittaa myös muihin tiloihin samat valaisimet. Laittamalla samanlaiset valaisimet joka paikkaan saadaan aikaiseksi yhtenäisen näköinen valaistus sahall. Lisäksi valaisin on kotimainen ja sen saatavuus on hyvä, mikä helpottaa mahdollisia huoltotöitä. Led Victor 750M valaisimia on saatavilla erilaisilla valonjakokäyrästä ominaisuuksilla, mikä mahdollistaa sopivan valaisimen löytymisen hankalampiinkin paikkoihin. Led Victor 750M teollisuusvalaisimen tarkemmat tekniset tiedot ja valonjaot on esitetty liitteissä 1 ja 2.

5.1 Dialux evo 9.2

DIALux evo 9.2 on valaistussuunnitteluun soveltuva ohjelma, jolla voidaan suunnitella ja simuloida ulko- ja sisävalaistusta. DIALux evo- ohjelmaan on mahdollista ajaa tietyt valaisimet ja niiden ominaisuudet kuten valonjakokäyrät. DIALux evo- ohjelma tekee laskelmat tilojen valaistusominaisuuksista kuten valaistusvoimakkuuksista, valon tasaisuudesta yms. DIALux evo -ohjelmalla voidaan suunnitella kokonaisia rakennuksia tai yksittäisiä huoneita. Tässä työssä sahalaitos on jaettu pienempiin aluekokonaisuuksiin, jotka on mallinnettu erikseen omina tiloinaan.

Tässä työssä DIALux evo- ohjelmaan valittiin käyttöprofiilin asetukseksi puutyö ja puunkäsittely ja tarkennuksena sovellukseksi kehysaha. Näillä käyttöprofiilin asetuksilla saadaan laskentadokumenttien ohjeartot suoraan vastaamaan sahan tarpeita. Huoltokertoimen laskennassa on käytetty yleistä alenemakertoimen MF arvoa 0,8.

5.2 Sahan päänhalli

Sahalaitoksen päänhallista tehtiin pohjapiirros DIALux evo-ohjelmaan, jolla voitiin simuloida hallin uutta valaistusta ja sen riittävyttä. Kuvassa 26. tummemmat alueet ovat korkeammalla kuin vaaleammat alueet. Hallin vasen puoli on suurelta osin varastotilana ja tila on vapaa lattiasta kattoon. Kuitenkin toimistot, varasto ja pienpuulinjan sahauslinja ovat samassa tasossa hallin oikean puolen kanssa.

Valaisimien sijoittelussa on pyritty siihen, että voitaisiin hyödyntää jo olemassa olevia kaapelihyllyjä ja johdotuksia mahdollisimman paljon siirryttäessä uuteen järjestelmään. Valaisimien sijoittelussa on huomioitu myös huollon tarvetta esim. valaisimen vaihtoa siten, että valaisimet eivät sijaitisi sellaisissa paikoissa, joihin ei päästä normaaleissa olosuhteissa tekemään mahdollisia huoltotoimenpiteitä. Myös hallissa sijaitsevat laitteet asettavat rajoituksia valaisimien sijoitteluun esim. katon rajassa kulkevat nostimet. Kuvassa 26. on esitetty uuden valaistuksen valaisimien sijainti ja valonjakokäyrästä.

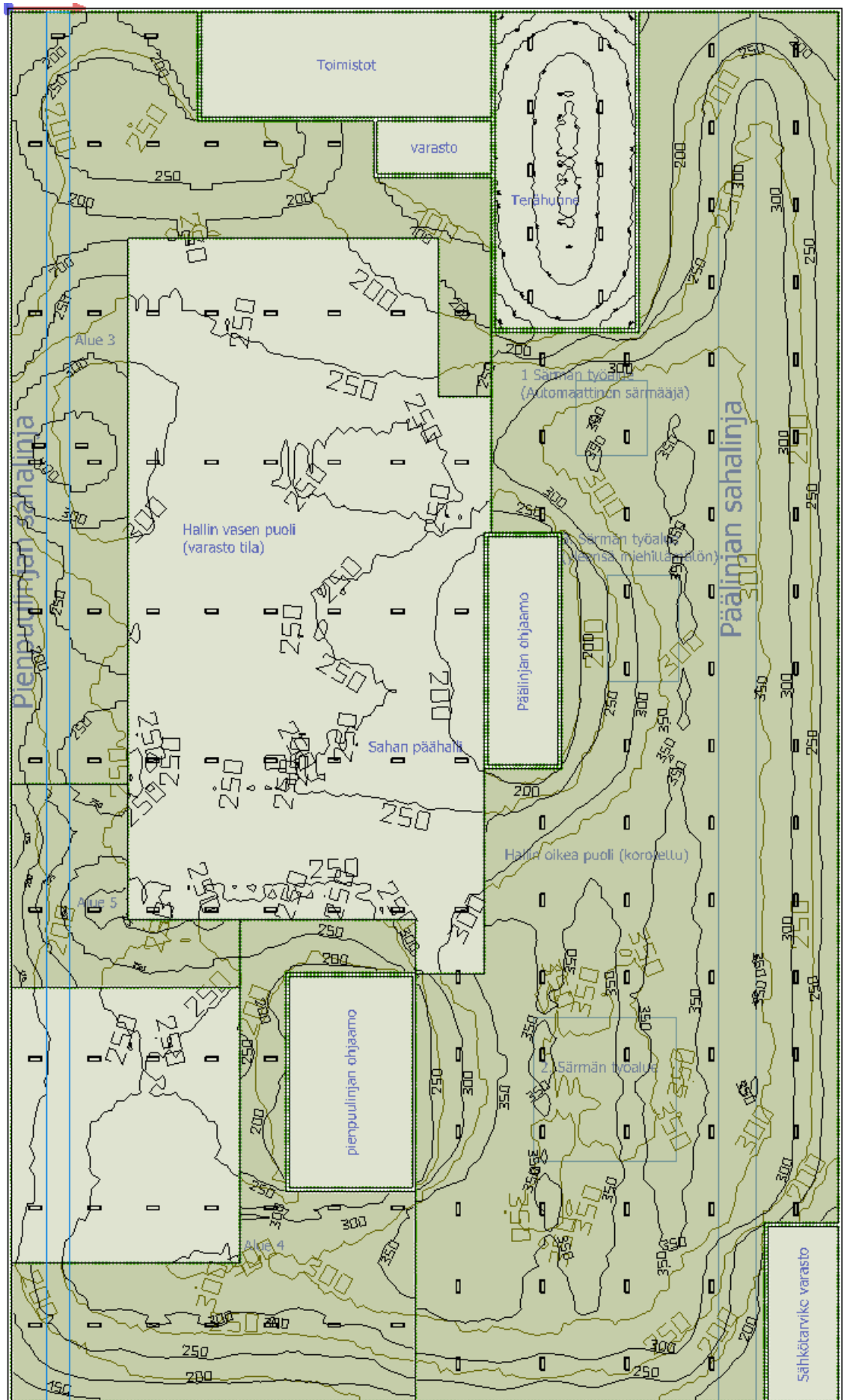
Kuvasta 26. nähdään että hallin oikealla puolella päästään vaadittuun 300 lx valaistusvoimakkuuteen keskeisillä paikoilla. Seinän vierustat jäävät hieman alle 300 lx. Kuvassa 26. on piirretty molemmat sahalinjojen sahauslinjat ja särmien 1,2 ja 3 työalueet havainnollistamaan niitä paikkoja, joissa työn

tekeminen pääasiassa tapahtuu. Sahan päähallissa onkin erityisen tärkeää päästä standardeissa asetettuihin vaatimuksiin, koska alueella on paljon pyöriviä ja liikkuvia laitteita ja tilassa tehtävät työt voivat olla vaarallisia suorittaa huonossa valaistuksessa. Stroboskooppi-ilmiön estäminen tässä tilassa on erityisen tärkeää, koska esim. terien vaihdon yhteydessä joudutaan menemään sahalinjojen koneiden sisään, jotta terät saadaan vaihdettua. Terien vaihto pitää pystyä suorittamaan turvallisesti ja valojen välkyntä voi saada terät näyttämään pysähtyneiltä, vaikka ne todellisuudessa vielä pyörivät.

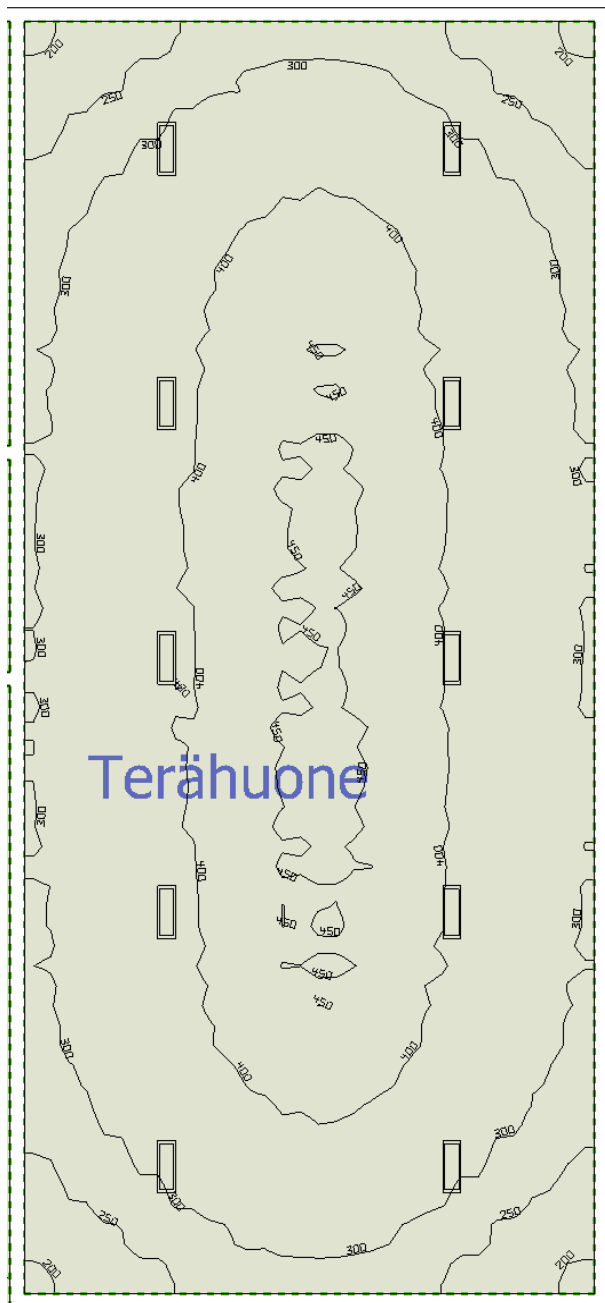
Dialux evo- ohjelmalla tehtyjen laskelmien mukaan hallin oikean puolen käyttötason keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi tulisi 305 lx mikä on sahalaitoksessa riittävä. Hallin vasemman puolen keskimääräinen valaistusvoimakkuus jää käyttötasolla hieman alle 300 lx mutta se on riittävä varastotilaan. Kuitenkin Pienpuulinjan sahalinjalla tarvitaan enemmän valoa, jotta pystytään hoitamaan tarvittavat työtehtävät. Pienpuulinjan sahanterien kohdalle onkin sijoitettu kaksi kohdennettua valaisinta siten että terien vaihto voidaan tehdä paremmassa valaistuksessa kuin varastotilan yläpuolella oleva valaistus. Dialux evo-ohjelmalla tehdyt laskelmat on esitetty kokonaisuudessaan liitteissä 3 ja 4. Yhteensä sahan päähallin yläkertaan menisi 134 kpl led Victor 750M valaisimia.

Terähuone on osana sahan päähallia omana tilanaan. Terähuoneen valaistuksen tulee olla riittävällä tasolla ja stroboskooppi-ilmiön estäminen on myös tässä tilassa tärkeää, jotta esim. teroituskoneiden käyttö voidaan tehdä turvallisesti. Terähuoneen valaisimien sijainti ja valonjakokäyrästä on esitetty kuvassa 27. Kuvasta 27. nähdään että terähuoneessa päästään helposti halutulle 300 lx valaistusvoimakkuustasoon. DIALux evo-ohjelmalla tehtyjen laskelmien mukaan käyttötason keskimääräinen valaistusvoimakkuus terähuoneessa on 355 lx. DIALux evo-ohjelmalla tehdyt laskelmat esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 5. Terähuoneeseen menisi yhteensä 10 kpl Led Victor 750M valaisimia.

Sahan päähallin yläkerran ja terähuoneen valaistus saadaan hoidettua yhteensä 144 kpl led Victor 750M valaisimia. Sahan päähallin alakerran valaisimien sijoitteluun ei pystytä tekemään suuria muutoksia tilojen ahtauden takia. Hallin alakerran nykyiset valaisimet vaihdetaan uusiin led Victor valaisimiin, jolloin valaistustilanne paranee hieman entisestä. Hallin alakerran valaistus saadaan hoidettua 35 kpl led Victor 750M valaisimia. Tämä nostaakin tarvittavien valaisimien lukumäärän hallissa yhteensä 179 kpl terähuone mukaan lukien.



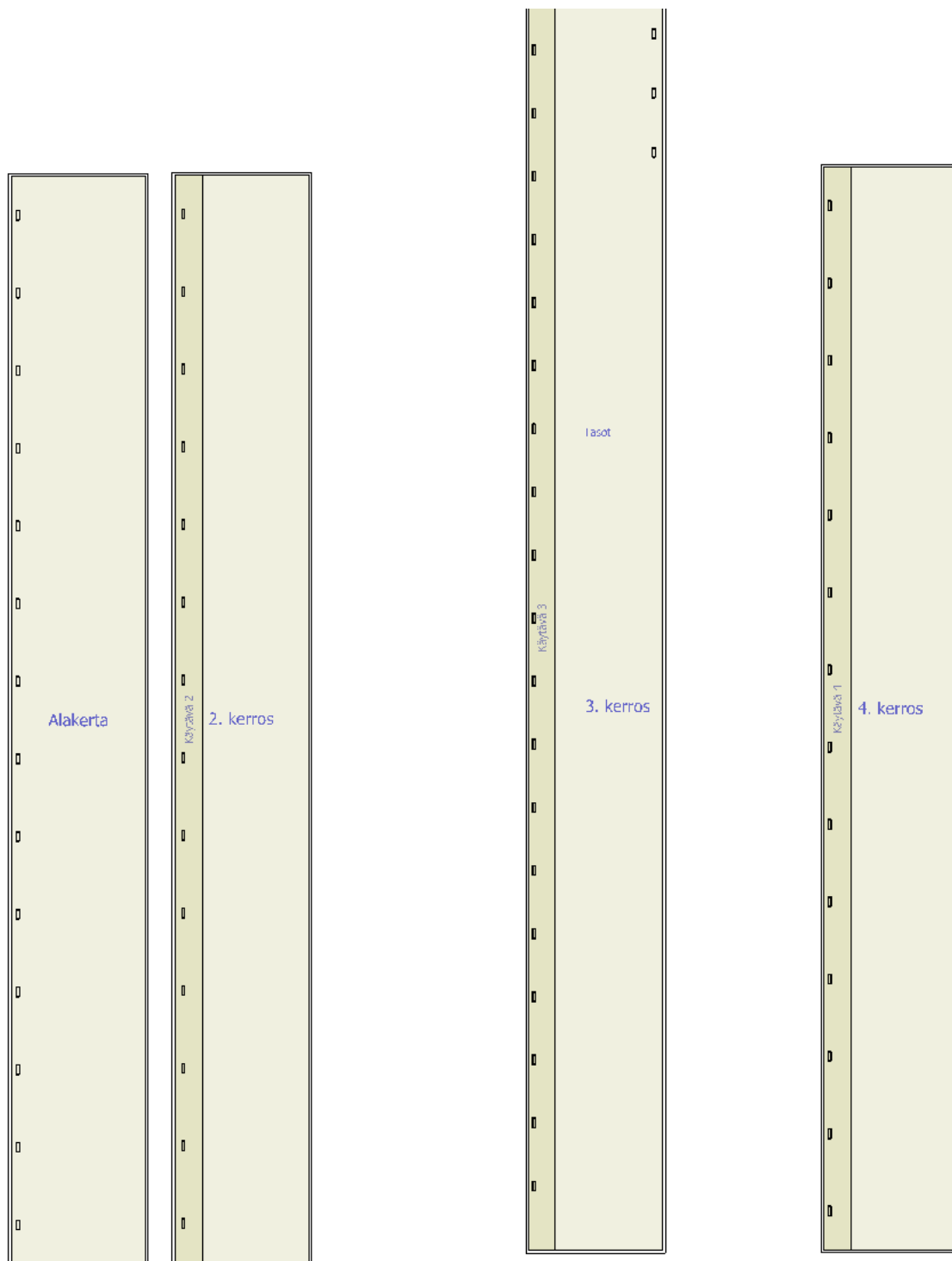
Kuva 26. Sahan päähallin valaisimien sijoittelu ja valonjako. (DIALux evo 9.2)



Kuva 27. Terähuoneen valaisimien sijoittelu ja valonjako. (DIALux evo 9.2)

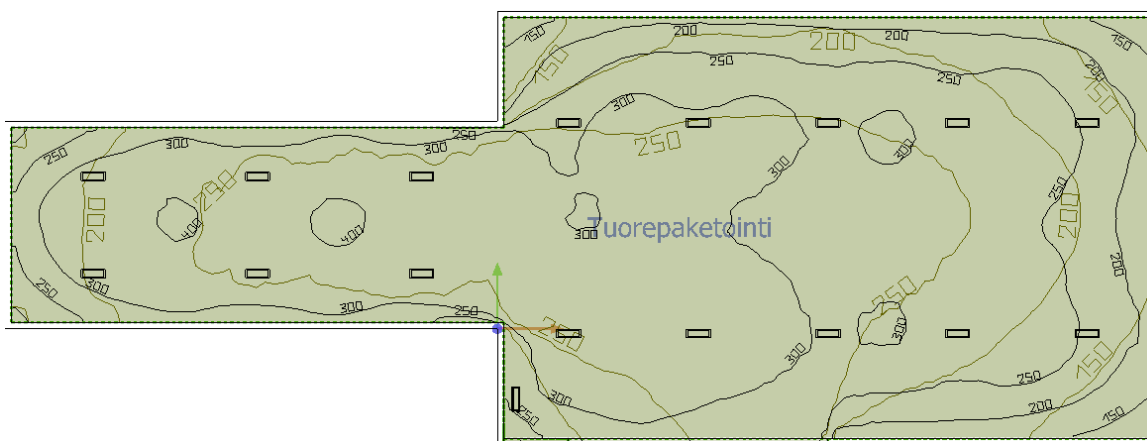
5.3 Uusi dimensiolajittelulaitos ja tuorepakointi

Uuden dimensiolajittelulaitoksen ajopaikka sijaitsee sahan päähallin osana, jolloin ajopaikan valaistus onkin hoidettu jo hallin yhteydessä. Uuden dimensiolajittelulaitoksen linjan valaisemiseksi kuitenkin tarvitaan vielä yhdeksän led Victor 750M valaisinta ennen tasojen alkua. Valaisimien sijoitteluun ei voida juuri vaikuttaa, koska valaisimet sijaitsevat käytävän varrella ja trimmerin yhteydessä. Tasojen kohdalla valaisimet tulevat neljään kerrokseen kapean käytävän kohdalle. Tuorepakointin ajopaikka sijaitsee kolmannen kerroksen tasolla. Kolmanteen kerrokseen menisi 20 kpl valaisimia. Muihin kerroksiin menisi 14 kpl valaisimia. Valaisimien sijoittelu kerroksittain käytävän varrelle esitetty kuvassa 28. Yhteensä uuden dimensiolajittelulaitoksen tiloihin menisi 71 kpl Led Victor 750M valaisinta.



Kuva 28. Tasojen viereisen käytävän valaisimien sijoittelu kerroksittain. (DIALux evo 9.2)

Tuorepaketoinnin kattoon tulisi 19 kpl valaisimia, jolloin yläkerran valaistus olisi riittävä. Tuorepaketoinnin yläkerran valaisimien sijoittelu ja valonjako on esitetty kuvassa 29. Kattoon asennettavien valaisimien lisäksi tuorepaketoinnin alakerran valaisemiseksi valaisimia menisi vielä 6 kpl. Näiden valaisimien sijoitteluun ei voida vaikuttaa tilan monimutkaisuuden ja ahtauden takia. Lisäksi alakerran rimataakan pohjarautojen käsittelypaikalle tarvitaan vielä 14 kpl valaisimia. Yhteensä tuorepaketoinnin tiloihin menisi 39 kpl Led Victor 750M valaisinta. Kaikkiaan uuden dimensiolajittelulaitoksen ja tuorepaketoinnin tiloihin tarvitaan 110 kpl valaisimia. Dialux evo-ohjelmalla tehdyt laskelmat esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 7.



Kuva 29. Tuorepaketoinnin yläkerran valaisimien sijoittelu ja valonjako. (DIALux evo 9.2)

5.4 Vanha dimensiolajittelulaitos

Vanha dimensiolajittelulaitos on 127 m pitkä ja 10 m leveä suorakulmainen tila, jonka muoto ja käyttö on hyvin samankaltaisia uuden tuorelajittelulaitos 3 kanssa. Vanhan dimensiolajittelulaitoksen yläkerran valaistus on mallinnettu tässä työssä käyttäen samoja Led Victor 750M valaisimia kuin uudella tuorelajittelulaitos 3. Valaisimien sijoittelu on myös tehty noudattaen samaa kaavaa kuin tuorelajittelulaitos 3, koska sen valaistus on riittävä ja se on koettu miellyttäväksi. Led Victor 750M valaisimille on valittu tähän tilaan epäsymmetrinen valonjako, jotta saadaan enemmän valoa tilan keskelle. Lisäksi seinän viereen sijoitettavia valaisimia on kallistettu 15 astetta kohti tilan keskustaa. Valaisimet joudutaan sijoittamaan lähelle seiniä kulkuväylien kohdalle, koska tilan keskellä sijaitsee vanhan dimensiolajittelulaitoksen lajittelulinja. Suoraan linjan yläpuolelle ei sijoiteta valaisimia, koska niiden huolto olisi normaaleissa olosuhteissa hankalaa. Trimmerin kohdalle on kuitenkin sijoitettu kaksi valaisinta, joiden tarkoituksena on antaa parempi valaistus trimmerin huoltotöitä varten. Lisäksi linjan ylityksen mahdollistavan kulkusillan kohdalle on sijoitettu kaksi valaisinta parantamaan valaistusta. Trimmerin ja linjan ylityssillan kohdalla sijaitsevat valaisimet ovat symmetrisellä valonjaolla varustettuja valaisimia. Vanhan dimensiolajittelulaitoksen alkupäässä on lyhyt käytävä lattian ja yläkerran välissä, jossa on kolme valaisinta. Nämä valaisimet korvataan uusilla Led Victor 750M valaisimilla.

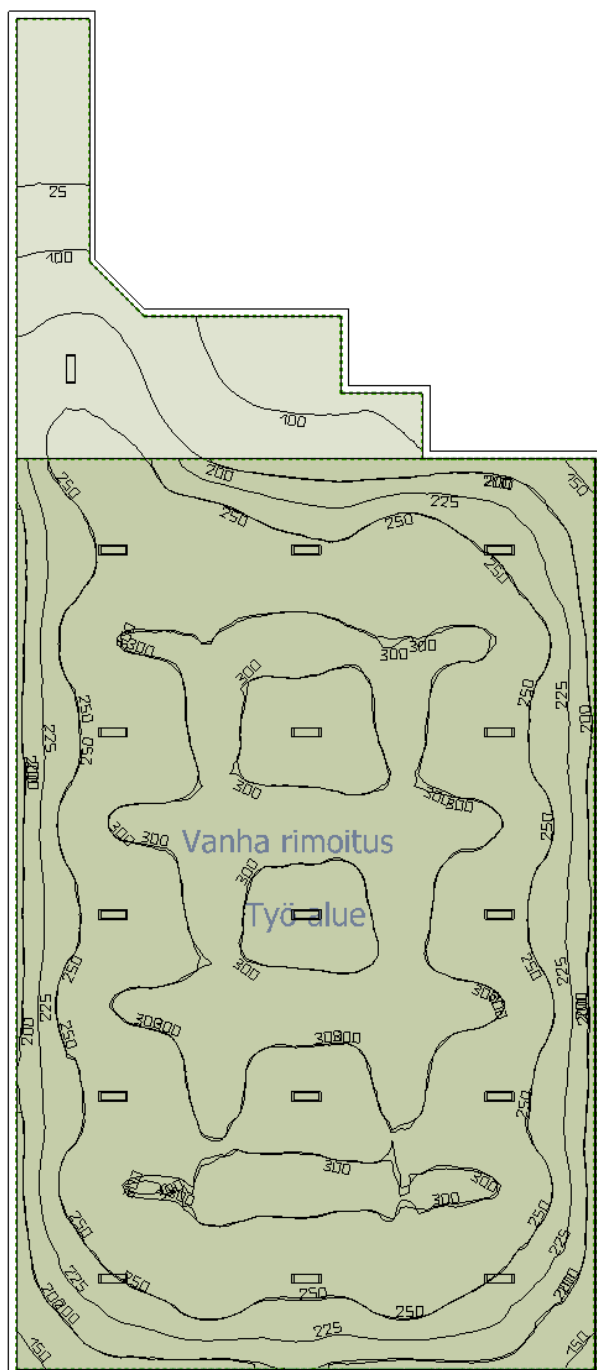
Dialux evo-ohjelmalla tehtyjen laskelmien perusteella vanhalle dimensiolajittelulaitokselle yläkertaan menisi yhteensä 67 kpl Led Victor 750M valaisimia epäsymmetrisellä valonjaolla ja 4 kpl Led Victor 750M valaisimia symmetrisellä valonjaolla. Yhteensä valaisimia menisi 71 kpl vanhan dimensiolajittelulaitoksen yläkerran ja keskikäytävän valaisemiseen.

Vanhan dimensiolajittelulaitoksen alakerrassa sijaitsee hakkurihuone, jonka nykyiset valaisimet korvataan Led Victor 750M valaisimilla. Hakkurihuoneen valaisimien sijoitteluun ei voida tehdä suuria muutoksia vanhaan järjestelmään verrattuna tilan ahtauden ja monimutkaisuuden takia. Hakkurihuoneeseen menisi 8 kpl Led Victor 750M valaisimia. Vanhan dimensiolajittelulaitoksen muu alakerran alue on keskellä lajittelulinja ja seinien vieressä käytävät. Hakkurihuoneessa sijaitsevien valaisimien lisäksi vanhan dimensiolajittelulaitoksen alakertaan käytävien varrelle menisi vielä 29 kpl Led Victor 750M valaisimia. Myös vanhan dimensiolajittelulaitoksen loppupäässä lokeroston toisella puo-

lella on vielä yksi käytävä eri tasossa, jonka valaistukseen menisi vielä 8 kpl Led Victor 750M valaisinta. Kaikkiaan valaisimia koko vanhandimensiolajittelulaitoksen alueelle menisi siis 116 kpl. Dialux evo-ohjelmalla tehdyt laskelmat esitetty liitteessä 9.

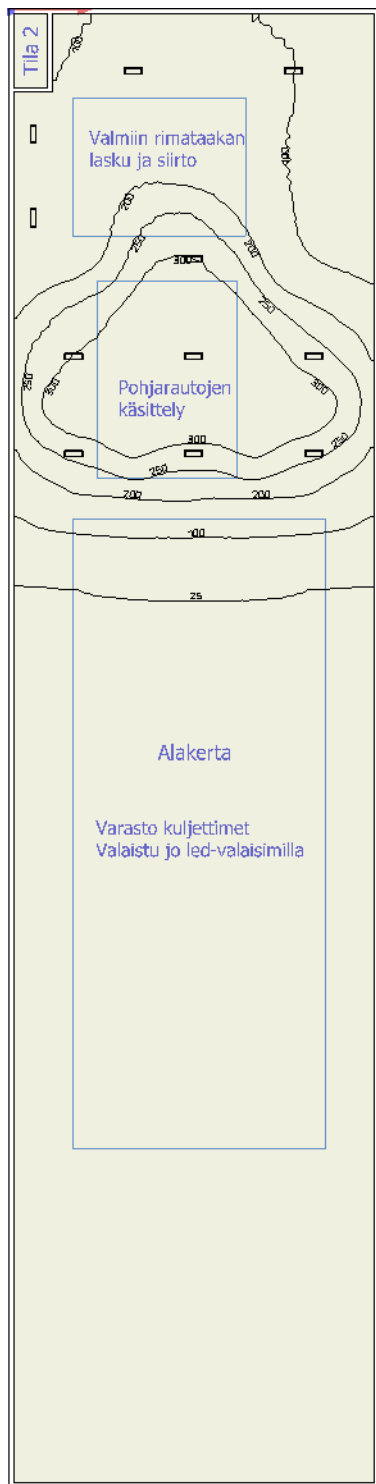
5.5 Vanha rimoitus

Vanhan rimoituksen yläkerrasta tehdyn mallinnuksen perusteella rimoituksen yläkerran työalue saadaan valaistua 16 kpl Led Victor 750M valaisimella. Vanhan rimoituksen valaistusvoimakkuus olisi keskeisillä paikoilla yli vaaditun 300 lx tason. Vanhan rimoituksen valaistukseen voi hieman vaikuttaa vanhan dimensiolajittelulaitoksen valaistus, koska se sijaitsee rimoituksen vieressä ja seinässä on aukko, josta näkee vanhan dimensiolajittelulaitoksen lokeroihin. Vanhan rimoituksen yläkerran valaisimien sijainti ja valonjako on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Vanhan rimoituksen yläkerran valaisimien sijoittelu ja valonjako. (DIALux evo 9.2)

Vanhan rimoituksen alakerran valaistuksesta tehtiin oma simulaatio. Alakerran valaistuksen valaisimien sijoittelussa on rajoittavina tekijöinä varastokuljettimien sijainti ja valmiin rimataakan siirtoon tarvittava tila. Alakerran valaistuksen ei tarvitse olla yhtä hyvä kuin yläkerran valaistuksen, koska työ tapahtuu lähes kokonaan yläkerrassa. Alakerran valaisimet on sijoitettu siten että ne valaisevat rimataakan pohjarautojen käsittelypaikan ja kulkuväylät. Varastokuljettimien viereiset valaisimet on vaihdettu jo aikaisemmin led-valaisimiksi. Alakerran valaisimien sijoittelu ja valonjako esitetty kuvassa 31. Dialux evo-ohjelmalla tehdyt laskelmat rimoituksesta esitetty liitteessä 8.

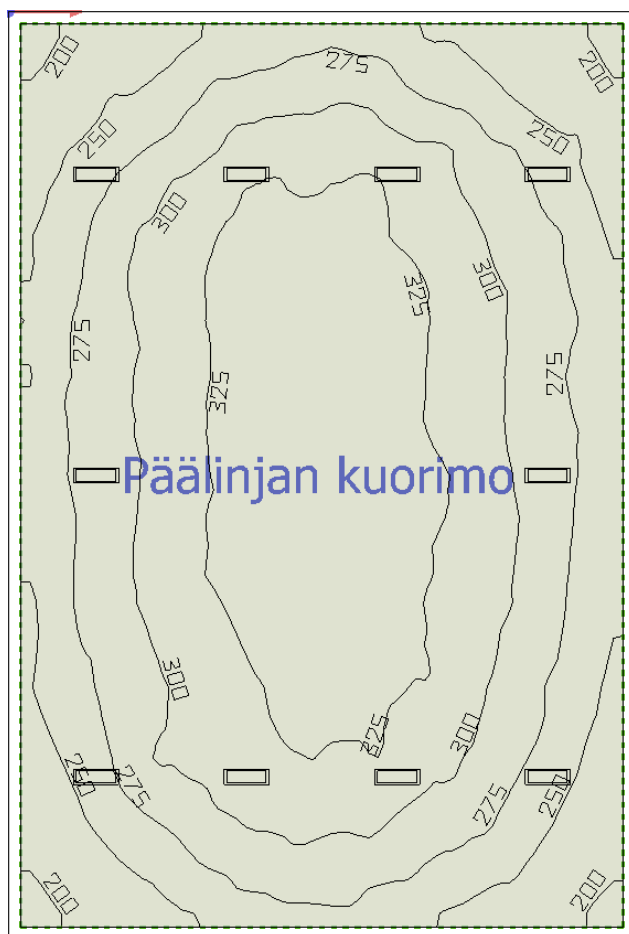


Kuva 31. Vanhan rimoituksen alakerran valaisimien sijainti ja valonjako. (DIALux evo 9.2)

Yhteensä vanhan rimoituksen tiloihin menisi yläkertaan 16 kpl ja alakertaan 11 kpl Led Victor 750M valaisinta. Valaisimien kokonaismäärä vanhassa rimoituksessa olisi näin ollen 27 kpl.

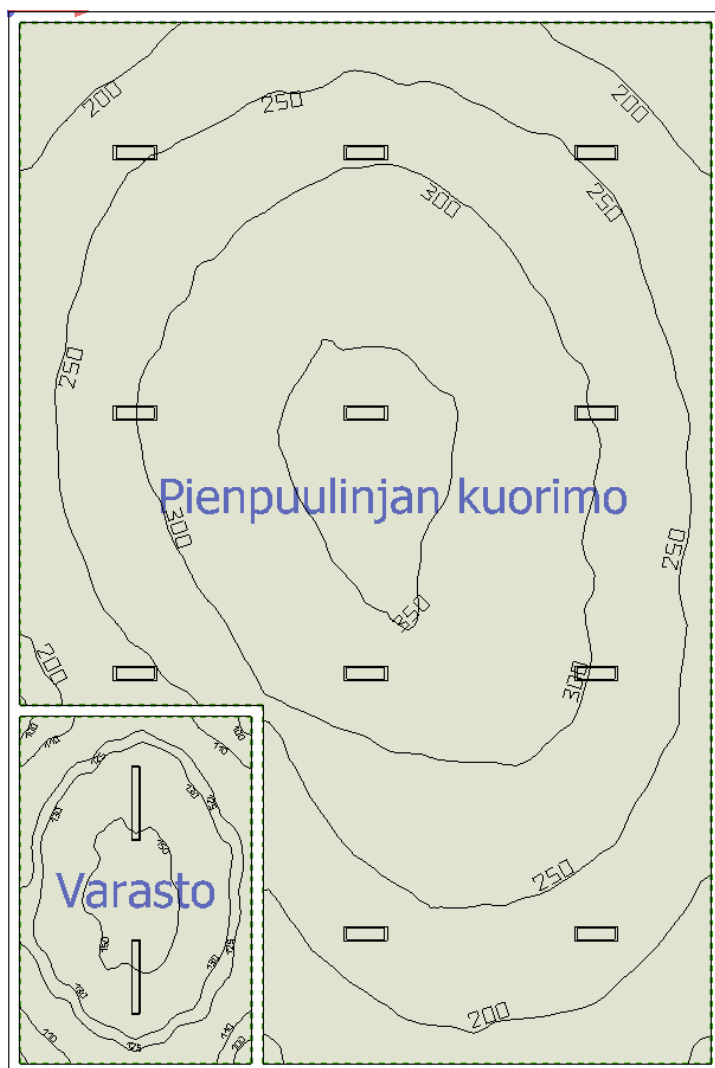
5.6 Kuorimot

Sahalaitoksella on kaksi kuorimoa, joissa kuoritaan puusta kaarna pois. Kuorinta tapahtuu automaattisesti eikä vaadi työntekijää paikanpäälle valvomaan prosessia jatkuvasti. Päälinjan kuorimo on 15 m kertaa 10 m suorakulmainen tila, jonka valaistuksesta tehtiin simulaatio dialux evo-ohjelmalla. Kuorimoon menisi simulaation perusteella 10 kpl Led Victor 750M valaisimia. Päälinjan kuorimon valaisimien sijoittelu ja valonjako esitetty kuvassa 32. Kuvasta voidaan nähdä, että valaistusvoimakkuus ylittää keskeisillä paikoilla 300 lx arvoon, jolloin kuorimon terien huollot ja vaihdot pystytään suorittamaan riittävässä valaistuksessa.



Kuva 32. Päälinjan kuorimon valaisimien sijoittelu ja valonjako. (DIALux evo 9.2)

Pienpuulinjan kuorimo on 12 m kertaa 18 m suorakulmion muotoinen tila, jonka valaistuksesta tehtiin simulaatio dialux evo-ohjelmalla. Kuorimon yhteydessä on pienempi tila, jota käytetään varastona. Ohjelman tekemän simulaation perusteella kuorimoon menisi 11 kpl Led Victor 750M valaisimia. Lisäksi varastotilaan menisi kaksi PC-LED 1300/145 56W valaisinta. Pienpuulinjan kuorimon valaisimien sijoittelu ja valonjako esitetty kuvassa 33. Kuvasta voidaan nähdä, että kuorimon keskeisillä alueilla päästään 300 lx arvoon, jolloin kuorimon terien huollot ja vaihdot pystytään suorittamaan riittävässä valaistuksessa.



Kuva 33. Pienpuulinjan kuorimon valaisimien sijoittelu ja valonjako. (DIALux evo 9.2)

Yhteensä molempien kuorimoiden valaistukseen menisi 21 kpl Led Victor 750M valaisimia ja kaksi PC-LED 1300/145 56 W valaisinta. DIALux evo-ohjelmalla tehdyt laskelmat molemmista kuorimoista on esitetty liitteessä 6.

5.7 Yhteenveto

Led valaisimia koko sahalaitokselle tulisi yhteensä 453 kpl. Valaisimien sijainti alueittain esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Led-valaisimien määrät sahalaitoksella alueittain.

Led-valaisimien määrät sahalalla	sahan päähalli	terähuone	uusi dimensiolajittelulaitos	tuorepaketointi	vanha dimensiolajittelulaitos	rimoitus	kuorimot	yhteensä
(kpl)	169	10	71	39	116	27	21	453

Valaisimien kokonaistehoksi tulisi:

$$P_{LED} = P_{led\ ottoteho} * n_{valaisimien\ lukumäärä} \rightarrow 70\ W * 453 = 31710\ W = 31,71\ kW\ (5)$$

Uudet led-valaisimet ovat teholtaan 8000 Lm, mikä tarkoittaa, että kyseisiä valaisimia ei tarvitse laittaa sahalle yhtä paljon kuin olemassa olevia spn-valaisimia saman valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi. Nykyiset spn-valaisimet tuottavat 10000 Lm mutta koska lamppu säteilee valoa joka suun-

taan, joudutaan suuri osa valosta heijastamaan valaisimen sisäpinnoilta ulos heijastavia pintoja käyttäen, jolloin lampun hyötysuhde pienenee. Spn-valaisimien hyötysuhde on noin 40-60 % kun taas ledeillä se on noin 90 %.

LED Victor 750M 2x 31,5 W teollisuusvalaisimien elinikä on myös riittävän pitkä >100000 h, minkä ansiosta huollon tarve vähenee huomattavasti. Siirryttäessä led-valaisimiin lamppujen vaihdon tarve vähenisi ja näin ollen säästyisi ainakin yksi lamppujen vaihtokerta verrattuna entiseen spn-valaistustilanteeseen.

6 TULOSTEN ARVIOINTI

Tulosten arvioinnissa tarkastellaan valaistuksen uudistamista LED-valaistukseen. Verrataan nykyisten spn-valaisimien energiankulutusta uusien LED-valaisimien energiankulutukseen. Tuloksista nähdään, kuinka paljon säästetään energian hinnassa ja millä aikavälillä investointi maksaisi itsensä takaisin.

6.1 Valaisimien energian tarve ja kustannukset

Nykyisen tilanteen arvioinnissa laskettiin kaikkien spn-lamppujen ottotehosta vaadittu energian määrä. Spn-valaisimia on koko sahan tiloissa yhteensä 452 kpl ja niissä on 100 W lamput. Kaikkien spn-lamppujen kokonaisteho on laskettu kaavalla (6). Spn-lamppujen lisäksi sahalla on 2 kpl loisteputkivalaisinta, jotka korvataan uudessa suunnitelmassa led-valaisimilla. Loisteputkilamppujen kokonaisteho on laskettu kaavalla (7). Spn- ja loisteputkilamppujen yhteinen kokonaisteho on laskettu kaavalla (8). Lamppujen oletetaan palavan vuorokauden ympäri lähes päivittäin. Sahaustoimintaa harjoitetaan kolmessa vuorossa sunnuntai ilta kymmenestä perjantai iltaan klo 23:00 saakka yhtäjaksoisesti. Lisäksi lauantaina sahataan yhden vuoron ajan aamu kuudesta iltapäivä kahteen. Lauantaina ja sunnuntaina tehdään myös sellaisia huoltotöitä, joita ei pystytä tekemään sahan ollessa toiminnassa. Näin ollen sahan lamput ovat käytössä lähes koko ajan, eikä niitä juurikaan välillä sammuteta. Lamput ovat pimeänä ainoastaan perjantai illasta lauantai aamuun ja lauantai illasta sunnuntai aamuun. Tämä vähentää lamppujen käyttöaikaa viikossa noin 16 tuntia. Lamput ovat siis päällä viikossa noin 152 tuntia.

$$P_{spn} = P_{spn\ ottoteho} * n_{valaisimien\ lukumäärä} \rightarrow 100W * 452 = 45200W = 45,2kW \quad (6)$$

$$P_{loisteputki} = P_{loisteputki\ ottoteho} * n_{valaisimien\ lukumäärä} \rightarrow 50W * 2 = 100W = 0,1kW \quad (7)$$

$$P_{kokonais} = P_{spn\ ottoteho} + P_{loisteputki\ ottoteho} \rightarrow 45,2kW + 0,1kW = 45,3kW \quad (8)$$

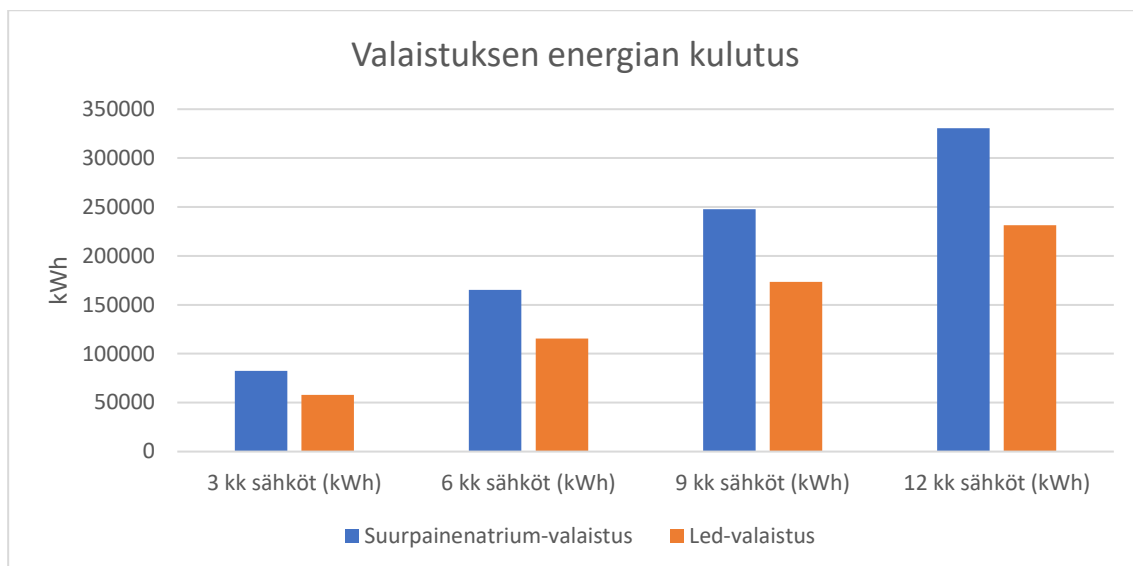
Päivittäistä kokonaisenergian määrää laskettaessa ensin tulee laskea energian tarve tunnissa, jonka jälkeen voidaan laskea energian kulutusta eri aikaväleillä, kuten kuukaudessa tai vuodessa. kaavoissa (9-11) on laskettu energian tarve tunnissa, viikossa ja kuukaudessa.

$$E_{tunnissa} = P_{kokonais} * t \rightarrow 45,3kW * 1h = 45,3kWh \quad (9)$$

$$E_{viikossa} = P_{kokonais} * t \rightarrow 45,3kW * 152h = 6885,6kWh \quad (10)$$

$$E_{kuukaudessa} = P_{kokonais} * t \rightarrow 45,3kW * 608h = 27542,4kWh \quad (11)$$

Kuviossa 3. on esitetty energian tarve eri valaisimilla eri aikaväleillä. Kuviossa on pylväät spn-lampuille ja led-lampuille esitettynä eri pituisina jaksoina. Jaksot on laitettu kuvioon 3 kk välein niin että päästään vuositasolle asti, eli 12 kk.



KUVIO 3. Valaistuksen energian kulutus eri ajanjaksoilla.

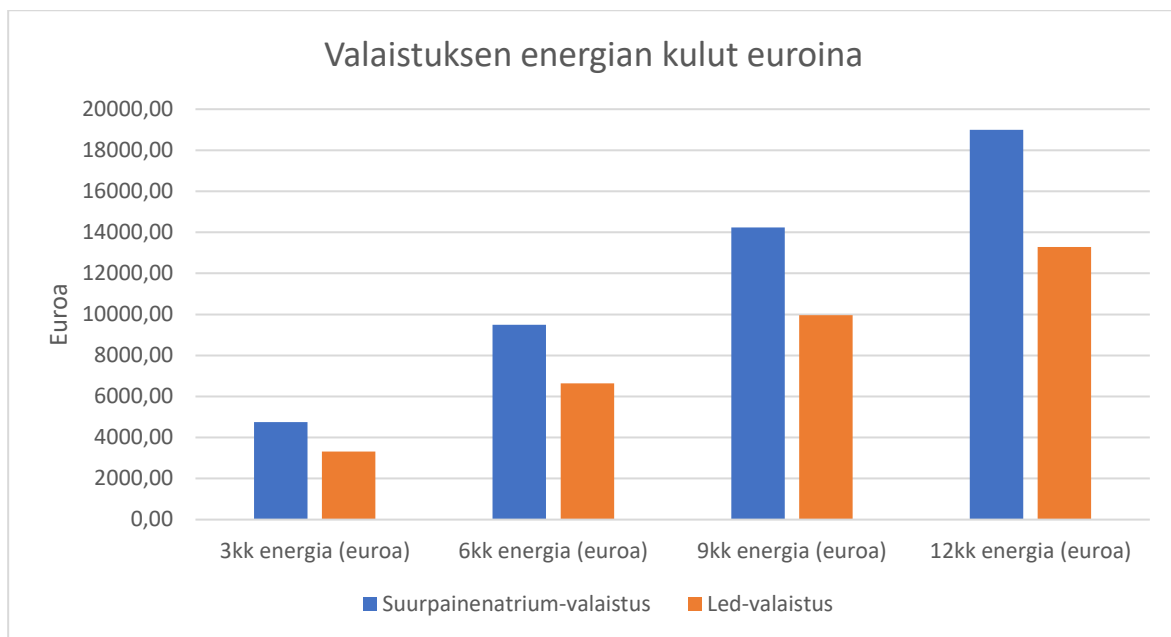
Siirryttäessä vanhoista riittämättömistä spn-valaisimista uusiin riittävän tehokkaiisiin led-valaisimiin säästetään energian kulutuksessa noin 30 %. Uusilla led-valaisimilla valaistusvoimakkuus lisääntyy huomattavasti, jolloin päästään standardeissa vaadituille tasoille.

Kaavoissa (12) ja (13) on esitetty spn- ja led-valaistuksen energiaan kuluvat kustannukset kuukaudessa. Sähkön hintana on käytetty keskiarvo hintaa Kuhmo Oy:n hankkimasta energiasta. Kuhmo Oy:n energian hintaan vaikuttaa sahan läheisyydessä toimiva lämpölaitos, josta saadaan energiaa halvemmalla kuin muutoin hankkimalla. Energian hinta onkin sidoksissa lämpölaitoksen toimintaan, joten tarkan kWh hinnan määrittäminen on hieman hankalaa. Tässä työssä keskiarvo hinnaksi on arvioitu 57,45 €/MWh → 0,05745 €/kWh.

$$\frac{P_{spn}}{kk} * energian\ hinta \frac{\text{€}}{kWh} \rightarrow 27542,4 \frac{kWh}{kk} * 0,05745 \frac{\text{€}}{kWh} = 1582,31 \frac{\text{€}}{kk} \quad (12)$$

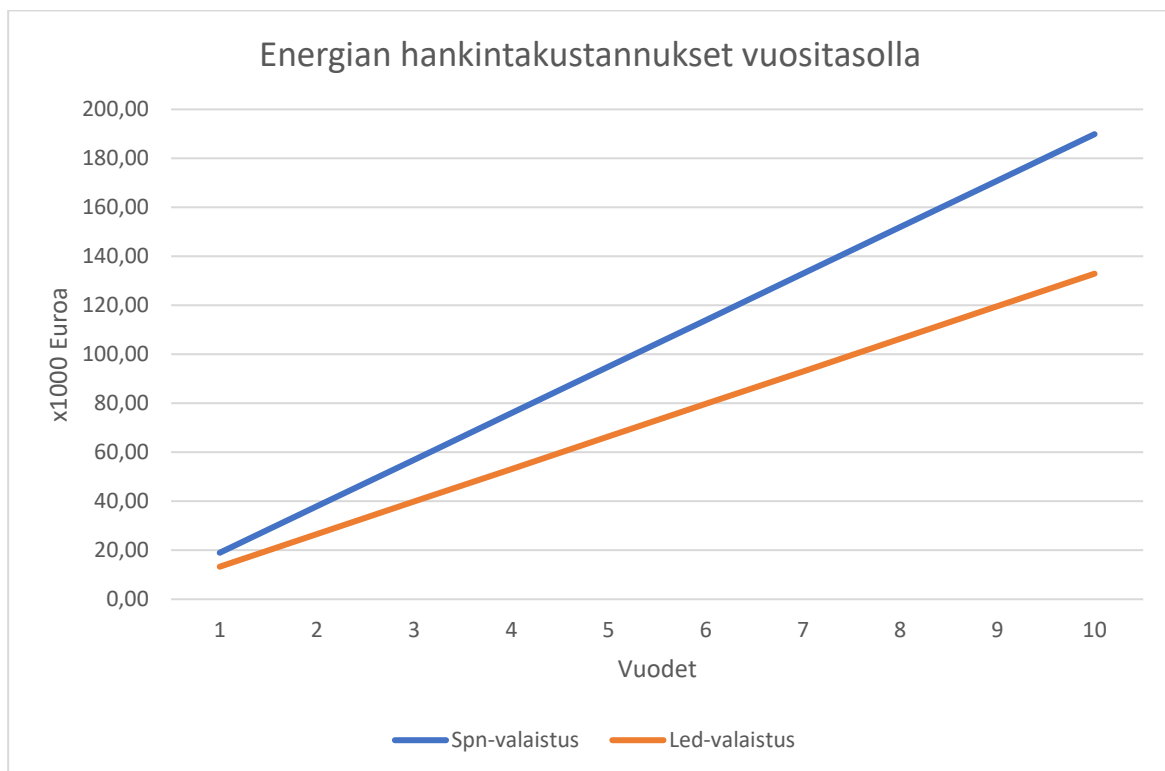
$$\frac{P_{led}}{kk} * energian\ hinta \frac{\text{€}}{kWh} \rightarrow 19279,68 \frac{kWh}{kk} * 0,05745 \frac{\text{€}}{kWh} = 1107,62 \frac{\text{€}}{kk} \quad (13)$$

Kuviossa 4. on esitetty energian hankintakustannukset eri valaisimilla eri aikaväleillä. Kuviossa on pylväät spn-lampuille ja led-lampuille esitettynä eri pituisina jaksoina. Jaksot on laitettu kuvioon 3 kk välein niin että päästään vuositasolle asti, eli 12 kk.



KUVIO 4. Valaistuksen energian kulut euroina eri ajanjaksoilla.

Valaistuksen energian hankintakustannuksista vuositason tasolla tehtiin kaavio, jossa näkyy energian hankintakustannukset 10 vuoden tasolle asti. Energian hankintakustannukset vuositason tasolla esitetty kuviossa 5. Energian hankintakustannukset eivät tuo suurempia säästöjä vanhaan järjestelmään verrattuna, koska sahalaituksen vanha järjestelmä ei ole standardien näkökulmasta riittävä ja valaistusvoimakkuutta jouduttiin lisäämään uuteen järjestelmään.



KUVIO 5. Valaistuksen energian hankintakustannukset vuositason tasolla.

Uusien valaisimien hankintakustannukset on esitetty kaavassa (14). Uusia koteloita tulee sahalle yhteensä 453 kpl ja niiden sisälle 2x31,5 W led-moduulit. Yhden valaisimen kokonaishinta on pyydetty

tehdasvalolta. Tehdasvalolta saatiin tämän selvityksen tekemistä varten yhden Led victor 750M valaisinpaketin hinnaksi 200 €. Toinen vaihtoehto olisi ottaa muutospaketti vanhoille käytössä oleville koteloille, jolloin entinen valaisimen sisusta ja kupu vaihdettaisiin uusiin leditekniikalle soveltuviksi vaihtoehtoiksi. Muutostyön tekeminen jo olemassa oleviin runkoihin maksaisi noin 130 €/valaisin, jolloin yhteishinnaksi saataisiin kaavan (15) mukainen hinta.

$$\text{kokonaishinta} = \text{yksikköhinta} * n_{\text{valaisimien määrä}} \rightarrow 200\text{€} * 453 \text{ kpl} = 90600 \text{ €} \quad (14)$$

$$\text{kokonaishinta} = \text{yksikköhinta} * n_{\text{valaisimien määrä}} \rightarrow 130\text{€} * 452 \text{ kpl} = 58760 \text{ €} \quad (15)$$

Kaikkia valaisimia ei pystytä kuitenkaan tekemään muutoksilla, koska osa sahan nykyisistä valaisimien rungoista on saanut osumia vuosien saatossa ja näin ollen ovat ruttaantuneet. Lisäksi muutostöiden tekeminen tällä hinnalla vaatisi vanhojen runkojen lähettämistä tehtaalle, jossa muutostöitä tehdään. Vanhojen runkojen lähettäminen tehtaalle aiheuttaa ongelmia, koska sahalla lamput palavat nykyisin lähes koko ajan. Valaisimien lähettäminen tehtaalle aiheuttaisikin seisokin ainakin siihen sahan osaan, josta lamput ovat tehtaalla. Muutostyöt voitaisiin tehdä myös paikan päällä ammattitaitoisen sähkömiehen toimesta. Muutostyönä valaisimien uudistaminen vaatisi myös nykyisten 2 kpl loisteputkivalaisimen korvaamisen kokonaan uusilla rungoilla ja lampuilla, mikä lisäisi kokonaishankintahintaa vielä:

$$\text{kokonaishinta} = \text{spn}_{\text{kokonaishinta}} + \text{loisteputket} \rightarrow 58760 \text{ €} + 2 * 200\text{€} = 59160 \text{ €} \quad (16)$$

6.2 Investoinnin kannattavuus

Investoinnin kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa arvioidessa laskettiin millä aikavälillä energian kulutuksen säästöt ylittävät investoinnin kokonaiskustannukset. Energian hankintakustannuksissa säästetään vuodessa noin 5696,28 € ja kaikkien valaisimien hankintakustannukset uutena on noin 90600 €. Tämän perusteella voidaan laskea takaisinmaksuaika vuosissa ilman korkoja:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{kokonaisinvestointi}}{\text{vuosittainen säästö}} \rightarrow \frac{90600\text{€}}{5696,28\text{€}} = 15,9 \text{ a} \quad (17)$$

Energian hankintakustannusten säästöt ylittävät investoinnin kokonaiskustannukset hieman vajaassa 16 vuodessa. Laskennan lähtöarvot ja tulokset esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Investoinnin laskennan lähtöarvot ja laskentatulokset.

Energian säästö	99,2	MWh/a
Yksikköhinta	57,5	€/MWh
Energian nettosäästöt vuodessa	5696	€/a
Suora takaisinmaksuaika	15,9	a

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä valaistuksen mitoituksen pohjalta alustava suunnitelma led-valaistukseen siirtymisestä Kuhmo Oy:n sahalaitoksella. Suunnitelmasta selviää kattavasti uudistuksen vaikutukset. Valaistussuunnitelmasta saatiin tulokset, joista selviää nykyisten ja uusien valaisimien määrät, energian kulutus, energian hankintakustannukset ja virran yliaaltojen esiintyvyydet. Tämän lisäksi laskettiin valaisimien kokonaishankintakustannukset ja investoinnin suora takaisinmaksuaika.

Työstä saatujen tulosten pohjalta voitaisiin tehdä päätös mahdollisesta valaistuksen uudistamisesta. Tehtyjen laskelmien perusteella energian kulutus ja energian hankintakustannukset laskisivat noin 30 %. Virran yliaaltojen esiintyvyydet laskisivat noin 27-38 % arvoista noin 8 % tasolle. Valaisimien kokonaishankintakustannukset olisivat noin 90600 € ja uudistuksella saavutetut säästöt ylittäisivät hankintakustannukset hieman vajaassa 16 vuodessa.

Tehdyn suunnitelman avulla myös valaistuksen ominaisuudet paranisivat huomattavasti. Valaistusvoimakkuus, tasaisuus ja värintoisto paranisivat entiseen verrattuna ja ylittäisivät keskeisillä paikoilla standardissa SFS-EN 12464-1 vaadituille tasoille. Uusien led-valaisimien tuottama valo on sävyltään kylmemmän valkoinen kuin vanhojen spn-valaisimien tuottama oranssin sävyinen valo. Tämän ansiosta uusi valaistus voidaan kokea miellyttävämmäksi ja sillä voi olla vaikutuksia mm. työntekijöiden viihtyvyyteen ja yleiseen vireystilaan. Tämä johtaa siihen, että työtehtävät voidaan suorittaa turvallisemmin ja tehokkaammin, jolla voi olla jopa epäsuora vaikutus tuotantoon. (ttl.fi)

Valaistuksen uudistamista voidaan pitää kokonaisuutena kannattavana. Rahalliset säästöt jäivät hieman pienemmiksi kuin mitä ensin oletettiin. Muiden saavutettujen hyötyjen määrä on kuitenkin huomioitava ja valaistustilanne paraneekin entisestään huomattavan paljon.

Työstä saadut tulokset ovat suuntaa antavia, joiden pohjalta tulisikin tehdä vielä tarkemmat suunnitelmat, joista kävisi ilmi tarkemmat yksityiskohdat, ennen lopullista uudistamispäätöstä.

LÄHTEET

- Aaltomuoto.wordpress.com [ei pvm.] haettu 22.04 2021 osoitteesta <https://aaltomuoto.wordpress.com/valo/nayttamovalaisun-perusteet/valo-ja-varit/>
- Ahponen, Veikko. 1999. Lamput ja valaisimet. Espoo: Sähköinfo 1999.Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry:n ja suomen valotekniikan seura ry:n julkaisu. Lamput ja valaisimet. valaistus tekniikka-sarja osa 2.
- Fluke-direct.com [ei pvm.] Haettu 22.04 2021 osoitteesta <https://www.fluke-direct.com/product/fluke-43b-003-power-quality-analyzer>
- hidealite.com [ei pvm.] Haettu 12.02 2021 osoitteesta <https://www.hidealite.com/fi-fi/tuki/led-koulu>
- IEC 62717 LED-modules for general lighting – Performance requirements
- Korpinen, Leena [ei pvm.] Yliaalto-opus. Haettu 20.04 2021 osoitteesta <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>
- Kuhmo Oy. (2021). Kuhmo Oy – Historia. Haettu 10.03 2021 osoitteesta <https://www.kuhmo.eu/yrittys/historia/>
- Kuhmo Oy. (2021). Kuhmo Oy – tuotanto. Haettu 10.03 2021 osoitteesta <https://www.kuhmo.eu/yrittys/tuotanto/>
- Lampputieto.fi [ei pvm.] Haettu 12.02 2021 osoitteesta <https://lampputieto.fi/valaistussuunnittelu/huomioi-sahkoturvallisuus/valaisimien-koteloituokat/>
- SFS-EN 12464-1 työkohteiden valaistus. Suomen standardisoimisliitto SFS 2011
- ST57.40 perussuureet ja määritelmät. Sähkötieto Ry. 2017
- ST 58.08 Valonlähteet. Sähkötieto Ry. 2018
- Suljettu tehdasvalaisin Victor 010 M 00 D2 – ME 100W – E27 kuva haettu 12.5 2021 osoitteesta <https://www.sahkonumerot.fi/4480344/id/165337/>
- Sähkömagneettisen säteilyn spektri kuva noudettu 12.5 2021 osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:EM_spectrum_fi.svg muokkaaja: Ykstoinen.
- Tehdasvalo LED VICTOR 750M tuotekortti [5/2005] haettu 10.3 2021 osoitteesta https://www.tehdasvalo.fi/wp-content/uploads/LedVictor750M_tuotekortti_052021_V1.pdf
- tt.fi [ei pvm.] Haettu 19.5 2021 osoitteesta <https://www.ttl.fi/tyoymparisto/sisaymparisto/hyva-valaistus-tyotilassa/>

LIITE 1: LED VICTOR 750M VALAISIMEN TIEDOT (TEHDASVALO.FI)

LED VICTOR 750M

Teollisuuden varma valaisija

Led Victor 750M on erinomainen yleisvalaisin teollisuuden mataliin tiloihin, asennuskorkeuksille 3-8m, soveltuen perinteisten 100-150W purkauslamppuvalaisimen tilalle. Purkauslamppuvalaisimista tuttu luja mekaaninen rakenne on todistanut kestäväytensä kolmen vuosikymmenen ajan erilaisissa vaativissa teollisuuden sisä- ja ulkovalaistuskohdeissa.

Yleisiä käyttökohteita ovat mm. *teollisuuden erilaiset tuotantotilat, sellu- ja paperitehtaiden matalat tilat, kemianteollisuus, kattilahuoneiden välitasot, ulkotilat esim. huoltotasot ja portaikot, kaivosteollisuuden prosessitilat ja maanalaiset tunnelit, sahat.*

Led Victorissa tekniikka on helposti vaihdettavissa ledien ja liitäntälaitteen eliniän tullessa täyteen.

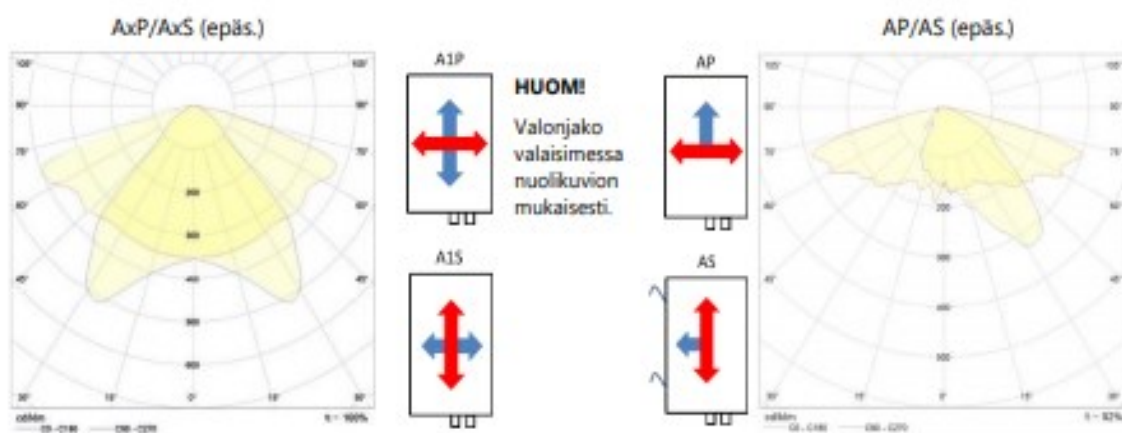


LED CE     IP64 4K Ta 45°C L80/B10 >100.000h 

LED-moduulit:	- 2x 31,5W 4990lm 159lm/W @700mA / - 4x 22W 3890lm 166lm/W @500mA
Ottoteho:	70W / 96W
Valaisimen valoteho:	8000—13100 Lm (114-136lm/W)
Väriämpötila:	4000K (muita saatavilla pyynnöstä)
Värintoistoindeksi CRI:	≥70 (muita saatavilla pyynnöstä)
MacAdam:	≤ 5 SDCM
Käyttölämpötila:	-40°C ... +45°C (vaihtelee valaisintyyppistä riippuen)
Suojausluokka:	I
Liitäntä:	-0- 5x2,5mm ² (ohjauksella -0- 7x2,5mm ²) / pistotulppa + 1,5m liitosjohto / CEE17-pistotulppa + 1,5m liitosjohto
Jännite:	230V AC
Käyttöikä:	L80B10 >100.000h
Ohjausoptiot:	Dali / StepDIM / AstroDIM / MainsDIM
Runko:	Pursotettu alumiini, päädyt valettu alumiini, silikonitiivisteet, hiukkassuodatin runkorakenteessa
Kupu:	Karkaistu lasi (optiona PC/PMMA), kuvun kehys AL, kupu saranoitu, salvat AL
Paino:	7,3 / 7,5 kg
Asennus:	Asennuskorkeus 3-8m. Suoraan kattopintaan, ripustuskiskoon tai kaapelihyllyyn. Ks. Soveltuvat kannakkeet s.5.
Takuu:	5 vuotta
Tekniikka vaihdettavissa:	Kyllä

LIITE 2: LED VICTOR 750M VALAISIMEN VALONJAOT (TEHDASVALO.FI)

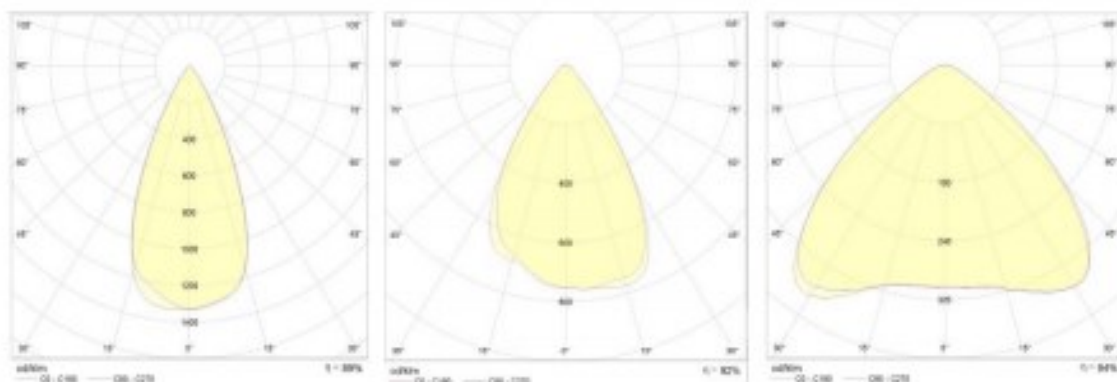
VALONJAOT



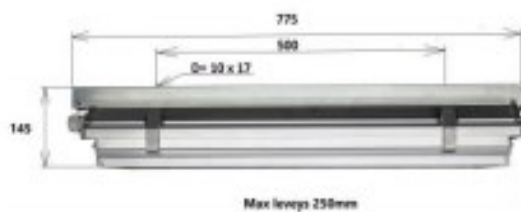
B (kapea 49°)

C (keskileveä 67°)

D (leveä 104°)



MITAT



JOHDONSUOJIEN KUORMITETTAVUUS

Max. Valaisinmäärä johdonsuoja-automaattia kohden

Tyyppi	B10A	B16A	C10A	C16A
070 O 28	7	12	11	19
095 O 28	7	11	11	17

LIITE 3: DIALUX SIMULAATION TULOKSET SAHAN PÄÄHALLI

sahan_päähalli

DIALux

Rakennus 1

Valaisinluettelo

Φ kokonaan 1202976 lm	P kokonaan 10080.0 W	Valotehokkuus 119.3 lm/W
-------------------------------	---------------------------	-----------------------------

Kpl	Valmistaja	Tavaranimero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
144	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W

sahan_päähalli

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Sahan päähalli

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	Ei-kohtisuora	259 lx	≥ 300 lx	✗	S14
	g_1	0.22	-	-	S14
Kulutussuureet	Kulutus	5850 kWh/a	maks. 192650 kWh/a	✓	
Ominaisliitäntäteho	Tila	0.80 W/m ²	-	-	
		0.31 W/m ² /100 lx	-	-	

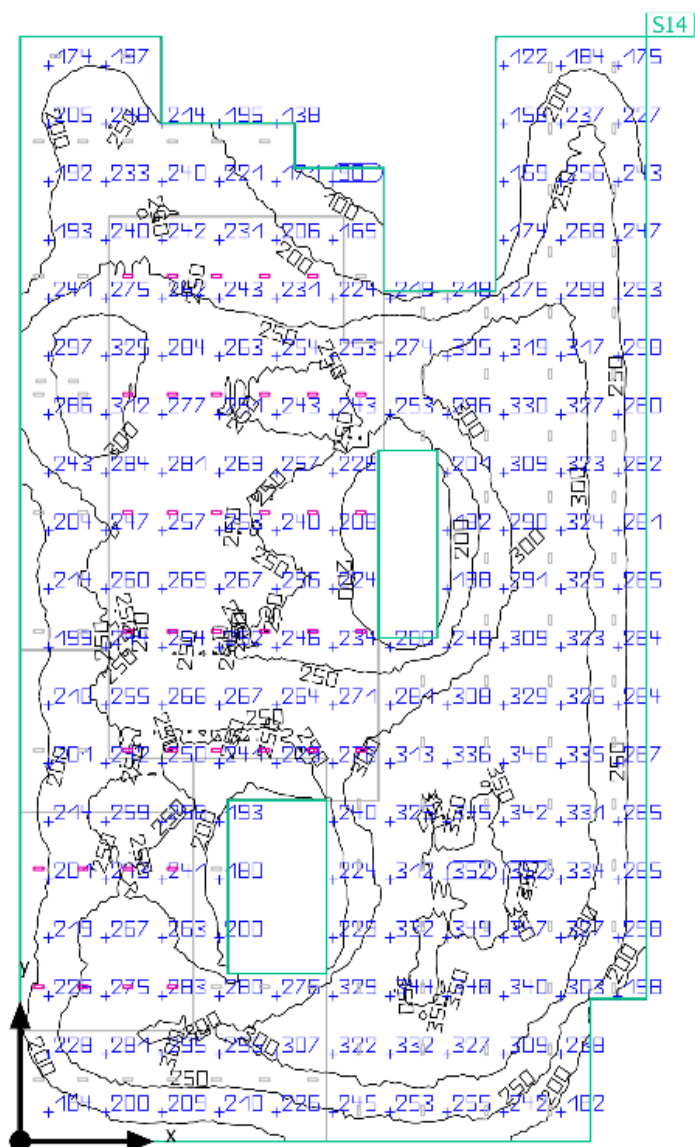
Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

sahan_päähalli

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Sahan päähalli

Yhteenveto



LIITE 4: DIALUX SIMULAATION TULOKSET SAHAN PÄÄHALLIN OIKEA PUOLI

sahan_päähalli

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Hallin oikea puoli (korotettu)

Laskennan kohteet

Käyttötasot

Ominaisuudet	E (Ohje)	E _{min.}	E _{maks}	g ₁	g ₂	Hakemisto
Käyttötaso (Hallin oikea puoli (korotettu)) Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 3.000 m, Reuna-alue: 0.000 m	305 lx (≥ 300 lx) ✓	93.4 lx	371 lx	0.31	0.25	S15

Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

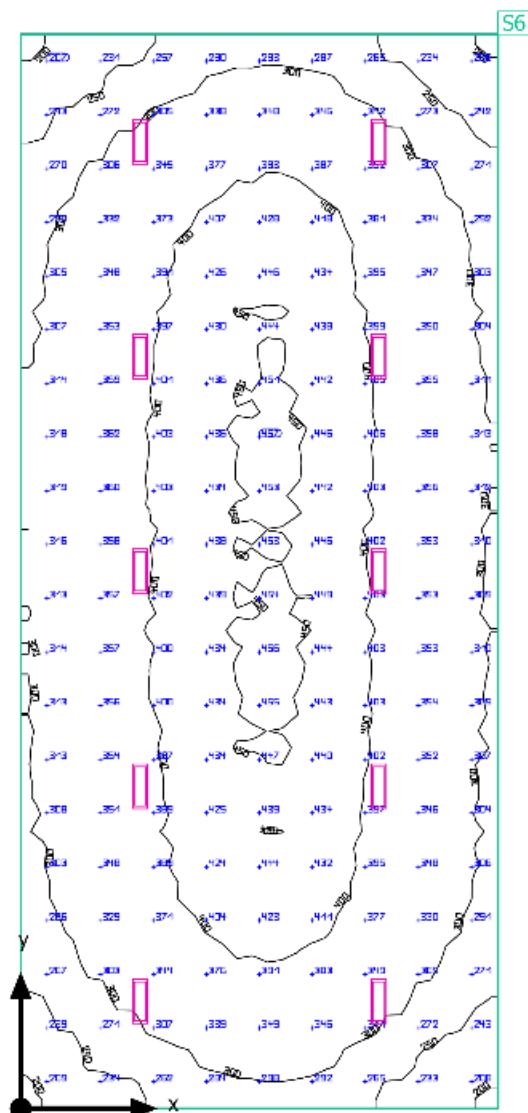
LIITE 5: DIALUX SIMULAATION TULOKSET TERÄHUONE

sahan_päähalli

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Terähuone

Yhteenveto



Rakennus 1 · Kerros 1 · Terähuone

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	Ē _{kohtisuora}	355 lx	≥ 300 lx	✓	S6
	g ₁	0.55	-	-	S6
Kulutussuureet	Kulutus	1600 kWh/a	maks. 5050 kWh/a	✓	
Ominaisliitäntäteho	Tila	4.86 W/m ²	-	-	
		1.37 W/m ² /100 lx	-	-	

Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

Valaisinluettelo

Kpl	Valmistaja	Tavaranimero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
10	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W

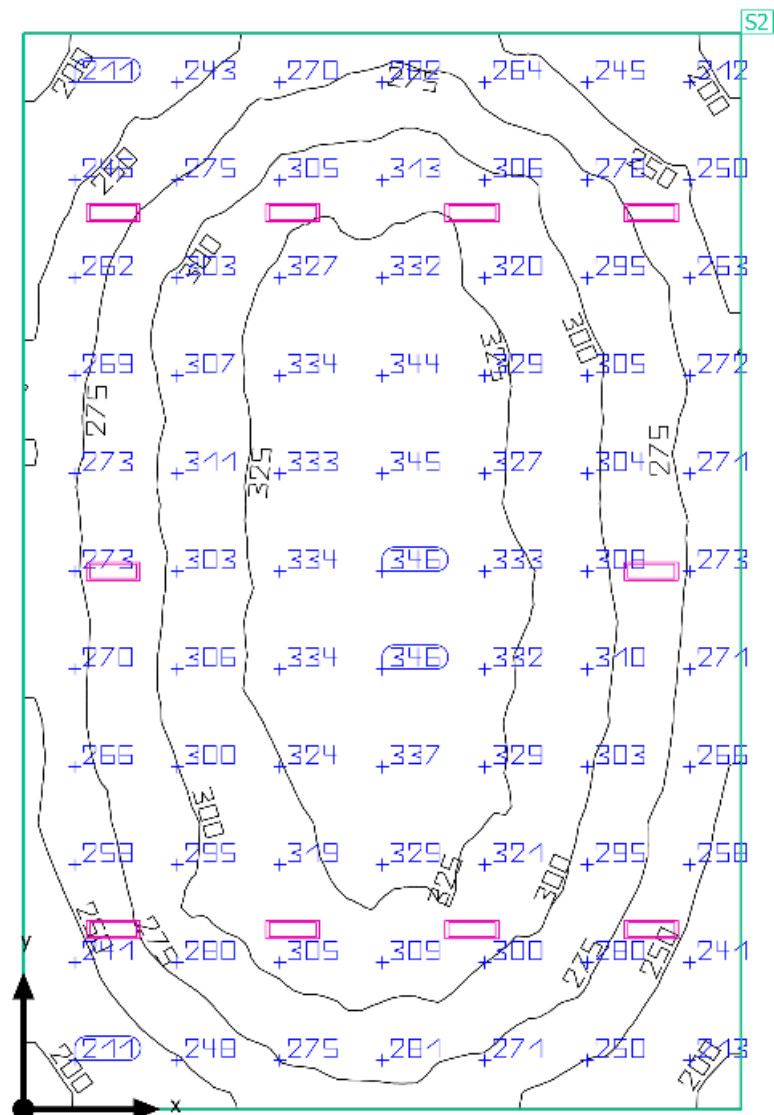
LIITE 6: DIALUX SIMULAATION TULOKSET KUORIMOT

päälinjan kuorimo

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Päälinjan kuorimo

Yhteenveto



päälinjan kuorimo

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Päälinjan kuorimo

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	Ē _{kohtisuora}	290 lx	≥ 300 lx	✗	S2
	g ₁	0.63	-	-	S2
Kulutussuureet	Kulutus	1600 kWh/a	maks. 5300 kWh/a	✓	
Ominaisliitäntäteho	Tila	4.67 W/m ²	-	-	
		1.61 W/m ² /100 lx	-	-	

Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

Valaisinluettelo

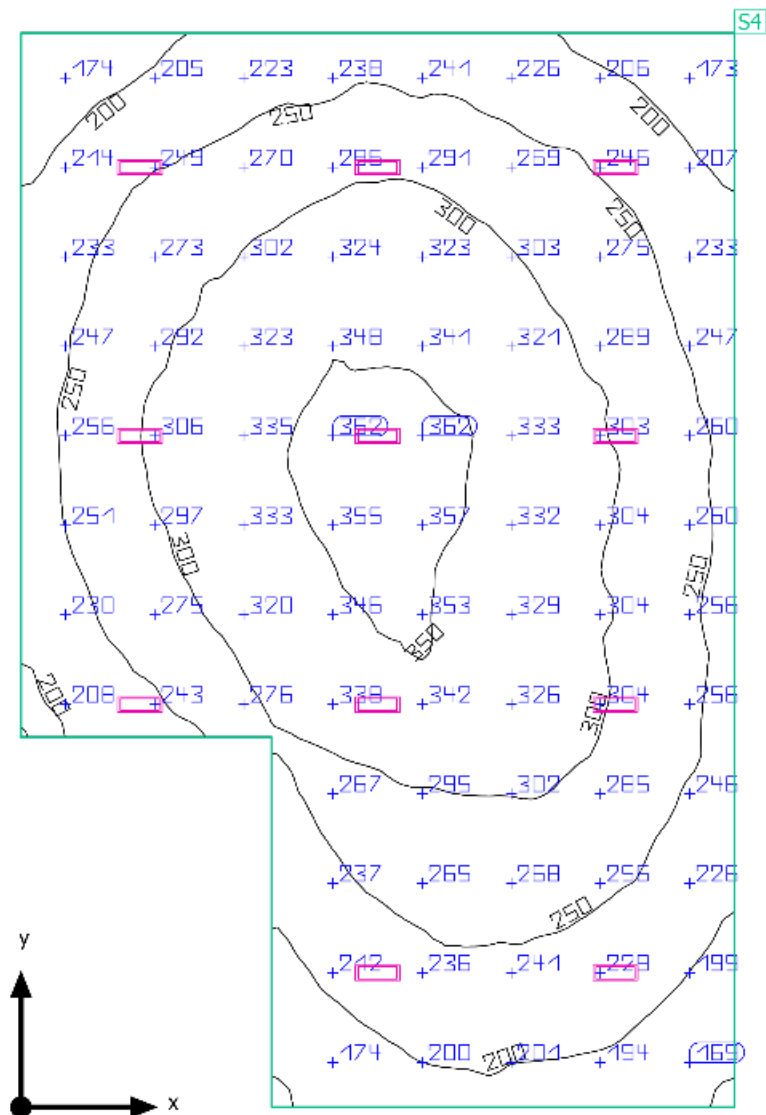
Kpl	Valmistaja	Tavarnumero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
10	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W

pienkuorimo

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Pienpuulinjan kuorimo

Yhteenveto



pienkuorimo

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Pienpuulinjan kuorimo

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	Ēkohtisuora	270 lx	≥ 300 lx	✗	S4
	g ₁	0.54	-	-	S4
Kulutussuureet	Kulutus	1750 kWh/a	maks. 6650 kWh/a	✓	
Ominaisliitäntäteho	Tila	4.07 W/m ²	-	-	
		1.51 W/m ² /100 lx	-	-	

Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

Valaisinluettelo

Kpl	Valmistaja	Tavaratnumero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
11	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W

LIITE 7: DIALUX SIMULAATION TULOKSET UUSI DIMENSIOLAJITTELU LAITOS JA TUOREPAKETOINTI

Uusi_dimi_ja_rimoitus

DIALux

Valaisinluettelo

Φ kokonaan 665204 lm	P kokonaan 5670.0 W	Valotehokkuus 117.3 lm/W
------------------------------	------------------------	-----------------------------

Kpl	Valmistaja	Tavarnumero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
62	TEHDASVA LO OY	070 O 28 AS1	Led Victor 750M Brick 2x8 epasymmetrinen	70.0 W	8169 lm	116.7 lm/W
19	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W

Uusi dimi ja rimoitus

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Tuorepaketointi

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	Ēkohtisuora	268 lx	≥ 300 lx	✗	S3
	g ₁	0.44	-	-	S3
Kulutussuureet	Kulutus	2700 kWh/a	maks. 12300 kWh/a	✓	
Ominaisliitântäteho	Tila	3.39 W/m ²	-	-	
		1.27 W/m ² /100 lx	-	-	

Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

Valaisinluettelo

Kpl	Valmistaja	Tavarnumero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
1	TEHDASVA LO OY	070 O 28 AS1	Led Victor 750M Brick 2x8 epasymmetrinen	70.0 W	8169 lm	116.7 lm/W
16	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W

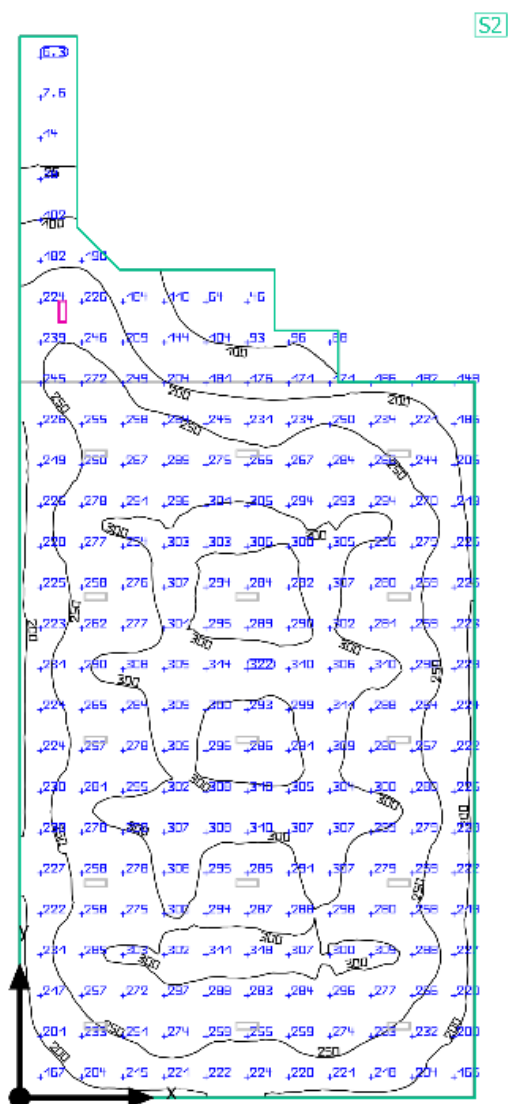
LIITE 8: DIALUX SIMULAATION TULOKSET RIMOITUS

vanha_rimoitus

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Vanha rimoitus

Yhteenveto



vanha_rimoitus

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Työ alue

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	$E_{\text{kohtisuora}}$	266 lx	≥ 300 lx	✗	S3
	g_1	0.48	-	-	S3
Kulutussuureet	Kulutus	2350 kWh/a	maks. 12400 kWh/a	✓	
Ominaisliitäntäteho	Tila	2.97 W/m ²	-	-	
		1.12 W/m ² /100 lx	-	-	

Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

vanha_rimoitus

DIALux

Valaisinluettelo

Φ_{kokonaan} 133664 lm	P_{kokonaan} 1120.0 W	Valotehokkuus 119.3 lm/W
---------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------

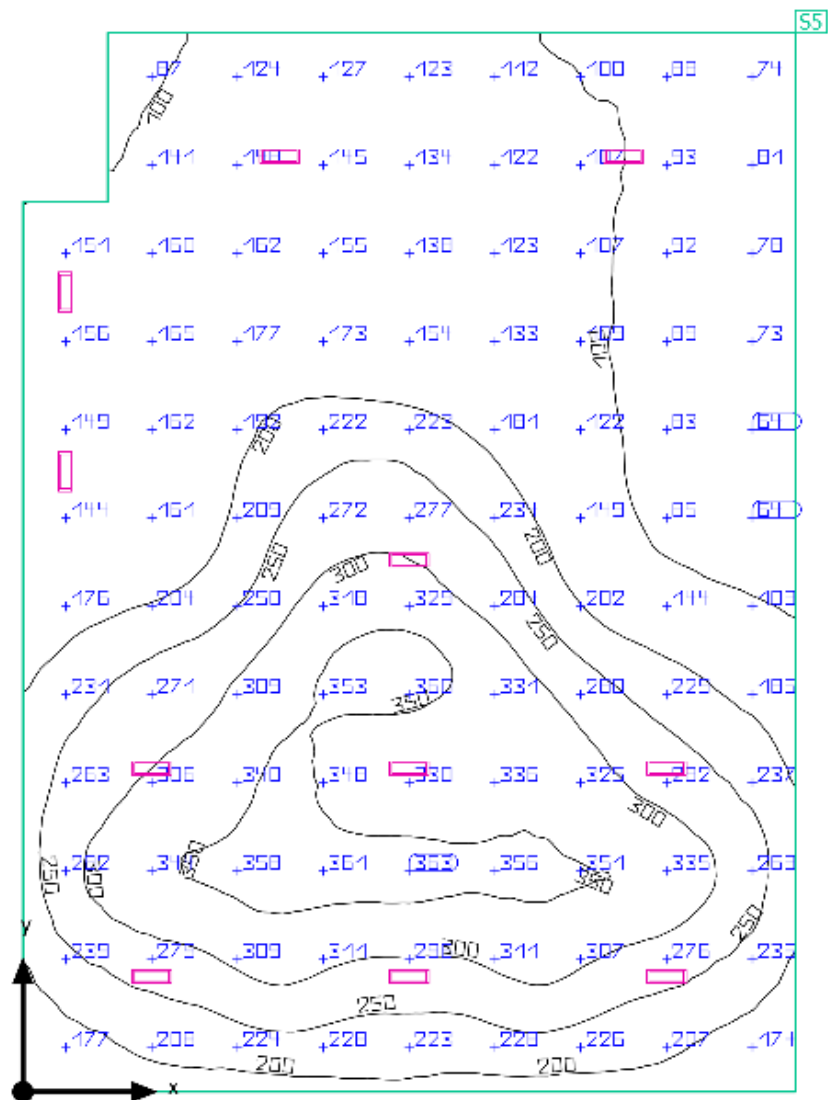
Kpl	Valmistaja	Tavarnumero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
16	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W

vanha rimoitus alakerta

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Alakerta

Yhteenveto



vanha rimoitus alakerta

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Alakerta

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	Ekohitsuora	206 lx	≥ 300 lx	✗	S5
	g1	0.28	-	-	S5
Kulutussuureet	Kulutus	1750 kWh/a	maks. 10100 kWh/a	✓	
Ominaisliitäntäteho	Tila	2.68 W/m ²	-	-	
		1.30 W/m ² /100 lx	-	-	

Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

Valaisinluettelo

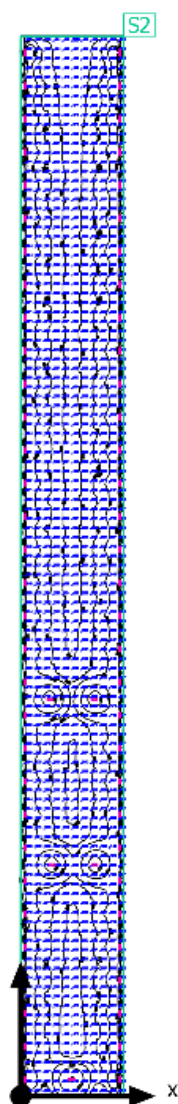
Kpl	Valmistaja	Tavaratnumero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
11	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W

LIITE 9: DIALUX SIMULAATION TULOKSET VANHA DIMENSIOLAJITTELULAITOS

vanhadimi

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Vanha dimensiolajittelulaitos

Yhteenveto

vanhadimi

DIALux

Rakennus 1 · Kerros 1 · Tila 1

Yhteenveto

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	$E_{\text{kohtisuora}}$	273 lx	≥ 300 lx	✗	S2
	g_1	0.52	-	-	S2
Kulutussuureet	Kulutus	10850 kWh/a	maks. 59050 kWh/a	✓	
Ominaisliitäntäteho	Tila	2.86 W/m ²	-	-	
		1.05 W/m ² /100 lx	-	-	

Käyttöprofiili: Teollisuus ja käsityö - puutyö ja puunkäsittely, Kehyssaha

Valaisinluettelo

Kpl	Valmistaja	Tavaratunnus	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
64	TEHDASVA LO OY	070 O 28 AS1	Led Victor 750M Brick 2x8 epäsymmetrinen	70.0 W	8169 lm	116.7 lm/W
5	TEHDASVA LO OY	070 O 28D1	Led Victor 750M	70.0 W	8354 lm	119.3 lm/W