

Ilkka Liimatainen

TUOTANTOHALLIN VALAISTUKSEN KEHITTÄMINEN

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2013**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieskan yksikkö	Aika Huhtikuu 2013	Tekijä/tekijät Ilkka Liimatainen
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi Tuotantohallin valaistuksen kehittäminen		
Työn ohjaaja Jari Halme	Sivumäärä 47 + 17	
Työelämäohjaaja Mauno Hietala		
<p>Työ tehtiin Oulun Teollisuuskojeistot Oy:lle, joka valmistaa sähkö- ja automaatiokeskuksia asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Yritys on aloittanut toimintansa vuonna 1995 ja toimii Oulussa, Pohjois-Suomen suurimpana keskusvalmistajana.</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin, koska haluttiin saada parempi käsitys tilojen valaistusvoimakkuuksista ja laadullisista ominaisuuksista.</p> <p>Opinnäytetyössä mitattiin jokaisen tilan ja työpisteen valaistusvoimakkuudet käyttäen apuna teoriapohjaa ja valaistusvoimakkuusmittaria. Valaistuksen laadulliset ominaisuudet mm. luminanssi ja häikäisy arvioitiin tarpeen mukaan silmämääräisesti. Ongelmakohtiin laadittiin uudet valaistussuunnitelmat</p> <p>Tilojen valaistuksen tasosta saatiin laaja kuva. Näitä tuloksia apuna käyttäen laadittiin uudet valaistussuunnitelmat.</p>		

Asiasanat valaistus, valaistusmittaukset, valaistussuunnitelma
--

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date April 2013	Author Ilkka Liimatainen
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Developing the lighting in a production hall		
Instructor Jari Halme		Pages 47 + 17
Supervisor Mauno Hietala		
<p>This work was commissioned by Oulun Teollisuuskojeistot Oy, a company manufacturing electric- and automation centers according to customer needs. The company was established in 1995 and is located in Oulu. They are the biggest manufacturer of these types of products in Northern Finland.</p> <p>This study was carried out in order to get a better view of the illuminance and the quality of lighting in the rooms and workstations.</p> <p>Illuminance in all premises and at each workstation was measured using an illuminance meter and theory base. The quality of lighting such as luminance and glare was estimated by eye, if considered necessary. New lighting plans were also produced to the most problematic areas.</p> <p>A broad picture of the lighting level in spaces was formed. New lighting plans were made using these results.</p>		

<p>Key words lighting, lighting measurement, lighting plan</p>

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TIETOA VALAISTUKSESTA.....	2
2.1	Lait ja suositukset.....	2
2.2	Valaistussuureet ja yksiköt.....	3
2.2.1	Valovirta	3
2.2.2	Valovoima.....	3
2.2.3	Luminanssi.....	3
2.2.4	Väriämpötila	3
2.2.5	Valaistusvoimakkuus	3
2.2.6	Heijastumissuhde	4
2.2.7	Häikäisyindeksi.....	4
2.3	Valaistus ja näkeminen.....	4
3	VALAISTUSSUUREIDEN MITTAAMINEN	6
3.1	Valaistusvoimakkuuden mittaaminen	6
3.2	Heijastussuhteen määrittäminen.....	9
3.3	Luminanssin mittaaminen valaistusvoimakkuusmittarilla	10
4	VALAISIMEN JA LAMPUN VALINTA	12
4.1	Valaisin.....	12
4.2	Lampputyypit	13
5	VALAISTUKSEN NYKYTILA.....	15
5.1	Mittaukset sisätiloissa	15
5.2	Tilat ja työpisteiden sijainnit	17
5.3	Yleisvalaistuksen mittaukset	21
5.4	Tiloissa sijaitsevien seinämateriaalien heijastussuhteita.....	27
5.5	Työpisteiden valaistusvoimakkuuden mittaukset.....	28
6	VALAISTUSSUUNNITELMA	35
6.1	Tietoa työtiloista.....	35
6.2	Tila- ja tehtäväkohtaiset suositukset	36
6.3	DIALux	37
6.4	Tilakohtaiset suunnitelmat	37
6.5	Työpistekohtainen valaistus	43
7	TULOKSET JA POHDINTA	45
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tässä insinöörityössä tarkastellaan tuotantohallin valaistuksen laadullisia tekijöitä käyttäen apuna laajaa teoriapohjaa, nykyaikaisia valaistusstandardeja ja valaistusvoimakkuuden mittalaitetta. Teoria koostuu useista valaistuksen, valaistuksen laadullisten tekijöiden ja valaistuksen suureiden mittaamista käsittelevistä teoksista, laeista, standardeista ja luotettavista Internet-lähteistä.

Työssä lähdetään liikkeelle laajan työhön liittyvän teoriapohjan avulla. Käydään läpi valaistuksen ominaisuuksia ja yksiköitä. Seuraavaksi käsitellään valaistukseen liittyvien suureiden mittaamista ja määrittämistä. Tarkastellaan valaisimen ja lampun valintakriteerejä. Valaistuksen nykytila käydään läpi sekä tilojen- että työpisteiden osalta käyttäen piirtämispuna AutoCAD-ohjelmistoa. Lopuksi laaditaan ongelmakohtiin uudet valaistussuunnitelmat käyttäen apuna DIALux-ohjelmistoa, sekä pohditaan työn onnistumista ja jatko-työideoita.

Idean työhöni sain ollessani yrityksessä töissä puoli vuotta. Toisinaan hyllyt, työpisteet ja pöydät ovat vaihtaneet paikkaansa ja valaistus on jäänyt jälkeen muutoksissa. Valaistus on toteutettu kaksikymmentä vuotta sitten, joten valaisinten tekniikkakin on ottanut harppauksia eteenpäin. Ajattelinkin, että valaistuksen nykytila olisi hyvä mitata sekä yleisesti että työpistekohtaisesti. Tämän pohjalta voitaisiin suunnitella valaistusta uudelleen ja paikkaila nykyisen valaistuksen puutteita.

2 TIETOA VALAISTUKSESTA

Hyvällä valaistuksella saavutetaan viihtyvyyttä, turvallisuutta, terveellisyyttä ja tuottavuutta. Kun kokonaisuus on kunnossa, on vireystila maksimissaan. Hyvässä valaistuksessa silmien rasitusoireet ja terveyshaitat vähenevät (esim. silmien kuivuminen). (Työterveyslaitos 2013.)

Hyvää valaistusta voidaan lähteä luomaan huomioimalla:

- riittävä valaistusvoimakkuus
- valaistuksen tasaisuus
- häikäsemättömyys
- kohtuulliset luminanssiarvot
- riittävät värintoisto-ominaisuudet
- sopiva valon väri
- valaistuksen muunneltavuus työntekijän mukaan
- oikea valon suuntaus
- sopiva varjon muodostus

(Työterveyslaitos 2013.)

2.1 Lait ja suositukset

Lain mukaan työpaikalla tulee olla työn edellyttämä ja työntekijöiden edellytysten mukainen sekä riittävän tehokas valaistus. Sinne tulisi mahdollisuuksien mukaan päästä myös riittävästi luonnonvaloa. (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.)

Näkötehtävien tehokkaaseen ja tarkkaan suorittamiseen tarvitaan sopiva ja riittävä valaistus. Sen järjestämiseen voidaan käyttää keinovaloa tai luonnonvaloa sekä näiden yhdistelmää. Työpaikasta riippuen työtehtävän tyyppi sekä kesto vaikuttavat vaadittavaan näkömukavuuteen ja näkyvyyteen. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2010.)

2.2 Valaistussuureet ja yksiköt

2.2.1 Valovirta

Valovirran Φ yksikkö on luumen (lm). Valovirta muodostuu valonlähteen, eli lampun tuottamasta säteilytehosta painotettuna silmän spektriherkkyyskäyrällä (Uusi valaistuskirja 2010, 7).

2.2.2 Valovoima

Valovoiman I yksikkö on kandela (cd). Valovoima on valovirta avaruuskulmassa (Uusi valaistuskirja 2010, 7). Valovoimalla kuvataan tiettyyn suuntaan kohdistuvan valon määrää (Kasurinen 1996, 18–19).

2.2.3 Luminanssi

Luminanssin L yksikkö on cd/m^2 . Luminanssi kuvaa kappaleen näkyvää pintakirkkautta. (Kasurinen 1996, 23.)

2.2.4 Värilämpötila

Värilämpötilan yksikkö on kelvin (K). Värilämpötilalla ilmaistaan lampun värisävyä. (Motiva Oy 2013.)

2.2.5 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden E yksikkönä käytetään luksia (lx). Tämä kuvaa pinta-alalle kohdistuoraan suuntautuvan valovirran määrää. ($\text{lx}=\text{lm}/\text{m}^2$). Valaistusvoimakkuutta käytetään kuvaamaan valaistusolosuhteiden tasoa. Valaistusvoimakkuudella sekä sen jakaumalla

työalueella ja lähiympäristössä on merkittävä vaikutus siihen, miten turvallisesti, nopeasti ja mukavasti näkötehtävä hahmotetaan ja suoritetaan. (Uusi valaistuskirja 2010, 7.)

2.2.6 Heijastumissuhde

Heijastumissuhde p kertoo pinnalta heijastuneen valovirran suhteen sille saapuneeseen valovirtaan. Esimerkiksi valkoiseksi maalatun pinnan heijastussuhde on suurempi kuin 0.9 ja asfaltin heijastussuhde on alle 0.1. (Uusi valaistuskirja 2010, 8.)

2.2.7 Häikäisyindeksi

Sisävalaistuksessa valaisimien aiheuttama kiusahäikäisy (eli häikäisy, joka aiheuttaa epämiellyttävän tunteen heikentämättä kuitenkaan näkemistä) määritetään käyttäen kansainvälisen valaistuskomission (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) kehittämää Unified glare rating menetelmää (UGR). Suosituksissa annetaan suurin sallittu UGR-arvo, jota ei saa ylittää. Tämä arvo riippuu taustasta heijastuvan valon määrästä sekä jokaisen valaisimen osan luminanssista ja osien sijaintikertoimesta (poikkeamasta katseen suunnassa). (Työterveyslaitos 2010.)

2.3 Valaistus ja näkeminen

Näkökentässä olevat kirkkaat alueet aiheuttavat häikäisyn tunnetta. Häikäisyä on olemassa kahta lajia, kiusahäikäisyä ja estohäikäisyä. Kiusahäikäisy ei välttämättä heikennä näkemistä, mutta se aiheuttaa epämiellyttävän tunteen. Estohäikäisy puolestaan heikentää näkemistä, mutta epämiellyttävää tunnetta se ei aiheuta. (Uusi valaistuskirja 2010, 6.)

Muodonanto on tärkeä valaistukseen liittyvä ominaisuus kaikissa tiloissa. Se korostaa tilan yleisvaikutelmaa, koska tilan rakenteet sekä siellä olevat ihmiset valaistaan tavalla, jolla rakenne ja muoto saadaan selkeästi esille. Näin tapahtuu kun valo tulee pääasiassa yhdestä suunnasta. Tällöin varjot muodostuvat selkeästi. Suora valo ei saa kuitenkaan olla liian

voimakasta, sillä tällöin jyrkät varjot häivyttävät kohteen muodot. (Uusi valaistuskirja 2010, 6.)

Pinnat heijastavat valoa eri tavoin. Vaalea heijastaa valoa takaisin paljon, ja tumma vain vähän. Silmin havaittavat kontrastit syntyvät pintojen erilaisten heijastussuhteiden ja valon yhteisvaikutuksesta. Pelkästään valoa lisäämällä näkyvyyttä ei voida juuri parantaa, jos ympäristön pintojen heijastussuhteissa ei ole riittävän suuria eroja. Toisaalta ilman tehokasta valaistusta hyvätkään pintojen kontrastit, eli suhteelliset luminanssierot eivät tule näkyviin. (Uusi valaistuskirja 2010, 6.)

Lampun värivaikutelmalla tarkoitetaan sen säteilevän valon näkyvää väriä. Lämmin värivaikutelma saadaan, kun valitaan alle 3300 K (kelvin) värilämpötila. Neutraali värivaikutelma saadaan puolestaan 3300...5300 K välillä, ja kylmään värivaikutelmaan päästään yli 5300 K värilämpötilassa. Värivaikutelman valinta riippuu tilan väreistä, valaistusvoimakkuudesta, tilan käyttötarkoituksesta sekä ympäröivästä ilmastosta. Kylmää värivaikutelmaa suositetaan yleensä lämpimän ilmaston alueella, kun taas kylmässä ilmastossa suositetaan lämmintä valoa. (Uusi valaistuskirja 2010, 7.)

Näön tehokkuuden, hyvinvoinnin ja mukavuuden kannalta on tärkeää, että ympäröivän tilan ja siellä olevien kohteiden värit toistuvat oikeina ja luonnollisina. Sisätiloissa tärkeää on myös turvavärien oikea toistuminen. Ra on yleinen värintoistoindeksi, joka on kehitetty valonlähteiden värintoisto-ominaisuuksien tasapuolista määrittämistä varten. Sen suurin arvo on 100. Indeksien arvo on sitä suurempi, mitä parempi on valonlähteen värintoisto-ominaisuus. Standardeissa on annettu värintoistoindeksien minimiarvot erityyppisille tehtäville, toiminnoille ja tiloille. Yli 60 Ra on hyvä arvo ulkona työskenneltäessä sekä kulkualueilla. Tyydyttävänä arvona pidetään yli 40 Ra. Sisävalaistuksessa arvoa yli 40 Ra pidetään kuitenkin riittämättömänä. (Uusi valaistuskirja 2010, 7.)

Valaistuksen olisi hyvä olla muunneltavissa työntekijän mukaan. Esimerkiksi ikääntyneet työntekijät tarvitsevat huomattavasti enemmän valoa kuin nuoret. 60-vuotiaan näköterveys on keskimäärin puolet 20-vuotiaan näköterveydestä. Saadakseen saman näkövaikutelman kuin 20-vuotias, tarvitsee 60-vuotias 12-kertaisen valaistusvoimakkuuden. (Työterveyslaitos 2013.)

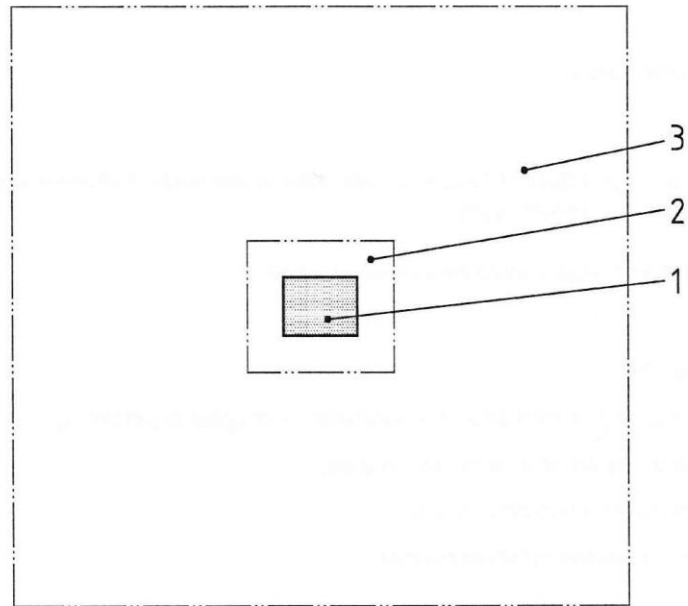
3 VALAISTUSSUUREIDEN MITTAAMINEN

3.1 Valaistusvoimakkuuden mittaaminen

Valaistusvoimakkuutta voidaan mitata valaistusvoimakkuusmittareilla. Valaistusvoimakkuusmittari koostuu valokennosta, värikorjaussuotimesta, kosinikorjaimesta sekä virtamittarista (Työterveyslaitos 2011). Näiden mittareiden tärkeimpiin ominaisuuksiin lukeutuvat hyvä värikorjaus sekä kosinikorjaus, joka huomioi tulevan valon suunnan vaikutuksen mitausarvoon. Korjaus ei kuitenkaan ole täysin ideaalinen ja tuloksessa on aina virhettä. Virheen suuruus kasvaa kun valo osuu mitattavalle pinnalle suuressa kulmassa. (Halonen & Lehtovaara 1992, 362–363.)

Kun mitataan työpisteen valaistusvoimakkuutta, tarkastellaan työpisteen yleis- sekä kohdevalaistuksen voimakkuutta ja tasaisuutta. Työpisteen valaistusvoimakkuus mitataan asettamalla luksimittari työtasolle ja lukemalla mittari. (Työterveyslaitos 2011.)

Tasaisuus saadaan selville mittaamalla valaistusvoimakkuus työpisteen välittömästä lähiympäristöstä (0,5 metrin etäisyydellä työpisteestä olevalta vyöhykkeeltä). Suuret valaistusvoimakkuuden vaihtelut työalueen ympärillä saattavat aiheuttaa epämukavuuden tunnetta sekä silmien väsymistä. Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden tulee olla suhteessa työalueen valaistusvoimakkuuteen, vaikkakin se saa olla hieman alhaisempi. Valaistusvoimakkuus ei saisi kuitenkaan alittaa taulukon 1 arvoja. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2010.)



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

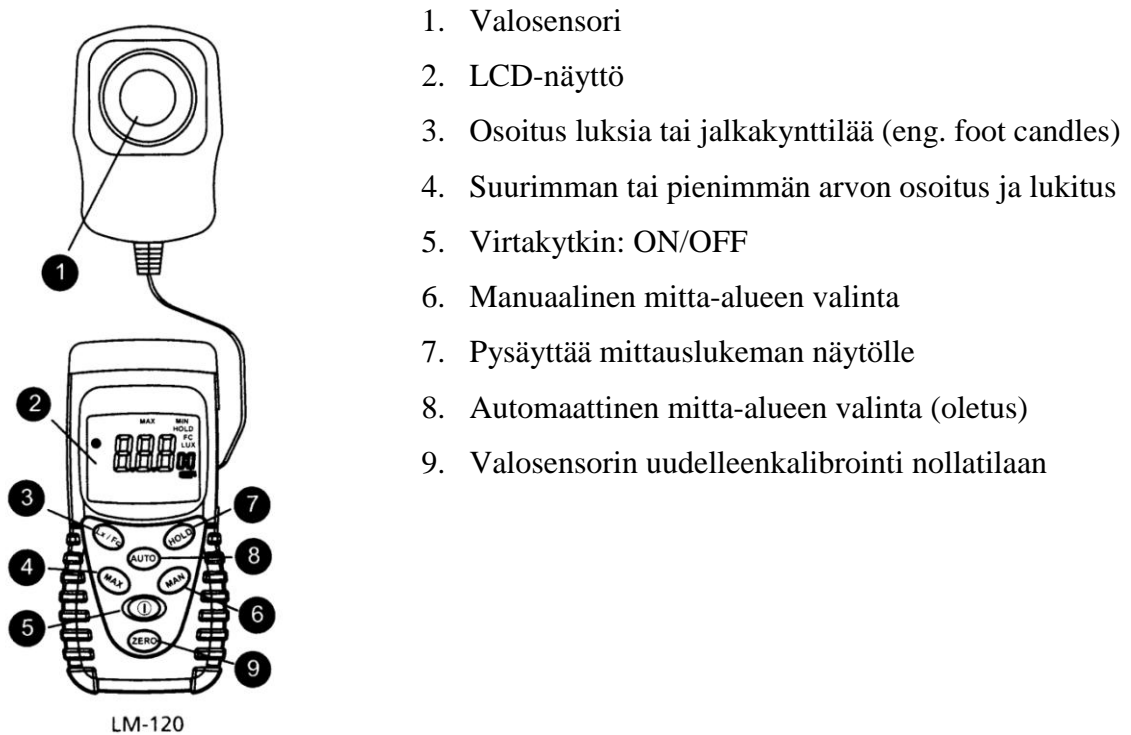
KUVIO 1. Välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen selite. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2010.)

TAULUKKO 1. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden suhde. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2010.)

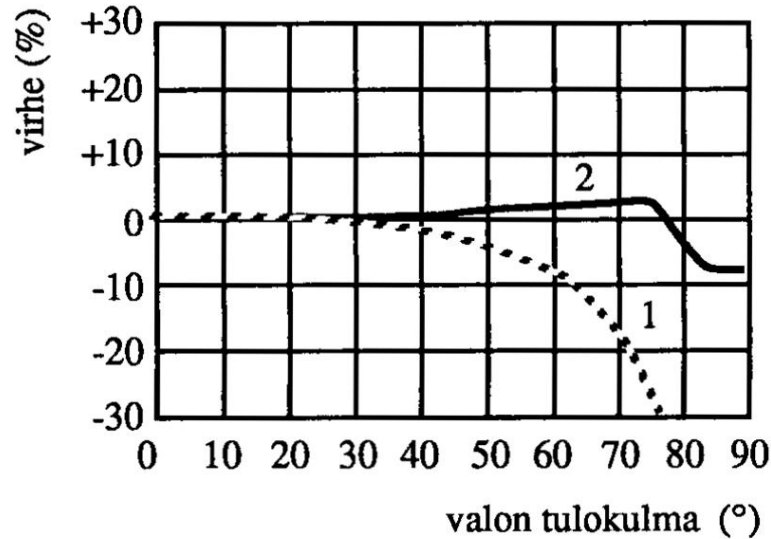
Työalueen valaistusvoimakkuus E_{task} lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

Valaistusvoimakkuuden mittauskorkeus työtasolla on seisomatyössä 90 cm ja istumatyössä 75 cm. (Työterveyslaitos 2011.)

Yleisvalaistuksen valaistusvoimakkuus mitataan tasavälisin mittauspistein koko tilasta tai tilan osasta, jossa valaisimet sijaitsivat symmetrisesti. (Työterveyslaitos 2011.)



KUVIO 2. Työssä käytetyn valaistusvoimakkuusmittarin (Amprobe LM-120) osat sekä ominaisuudet. (Amprobe LM-100/LM-120 Light meters user's manual 2008, 3–6.)



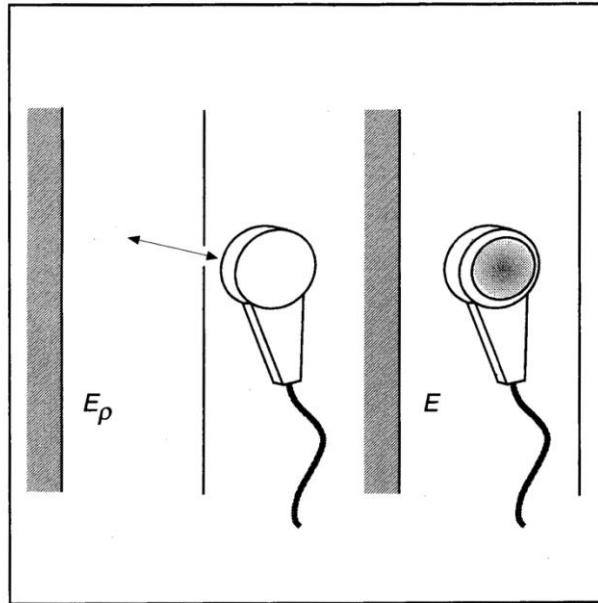
KUVIO 3. Valaistusvoimakkuusmittarille tyypillinen kosinivirhe. 1) Korjaamaton ja 2) kosinikorjattu. (Halonen & Lehtovaara 1992, 363.)

3.2 Heijastussuhteen määrittäminen

Tavallisesti heijastussuhde määritetään silmämääräisesti värikarttoja apuna käyttäen. Kartta asetetaan määritettävän pinnan päälle ja siitä etsitään vastaava väri, sekä tummuus- tai vaaleusaste. (Ahponen & Timonen 1996, 143.)

Heijastussuhde voidaan myös mitata valaistusvoimakkuusmittarilla. Tällöin mitataan valaistusvoimakkuus mittarin valokennon ollessa suunnattuna kohti mitattavaa pintaa (E_p) ja valaistusvoimakkuus kennon ollessa poispäin mitattavasta pinnasta (E). Mittauslukemien suhde on tällöin heijastussuhde (p). (Ahponen & Timonen 1996, 143.)

$$p = \frac{E_p}{E} \quad (1.)$$

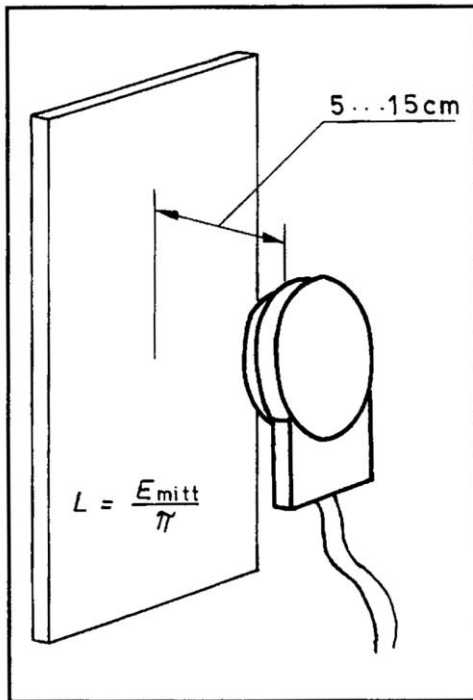


KUVIO 4. Heijastussuhteen määrittäminen valaistusvoimakkuusmittarilla. (Ahponen & Timonen 1996, 142.)

3.3 Luminanssin mittaaminen valaistusvoimakkuusmittarilla

Pintojen ollessa hajaheijastavia luminanssin likimääräiseen mittaamiseen voidaan käyttää valaistusvoimakkuusmittaria. Mittarin valokenno suunnataan kohti mitattavaa pintaa ja siirretään etäisyydelle, jolla mittari antaa suurimman lukeman. Valaistusvoimakkuusmittarin luksiosoitus (E) jaetaan piillä (π) on pinnan luminanssi (L). (Ahponen & Timonen 1996, 142.)

$$L = \frac{E}{\pi * sr} \quad (2.)$$



KUVIO 5. Luminanssin mittaaminen valaistusvoimakkuusmittarilla. (Ahponen & Timonen 1996, 142.)

4 VALAISIMEN JA LAMPUN VALINTA

Valaisinta ja lampua valittaessa tulisi huomioida ainakin:

- haluttu valon väri
- värintoisto-ominaisuudet
- hankintahinta
- käyttöikä
- hyötysuhde

(Työterveyslaitos 2013.)

4.1 Valaisin

Valaisin valitaan halutun valontuottotavan mukaan. Teollisuuskohteisiin on hyvä valita laadukas valaisin. Näin se kestää ympäristön vaihteluista huolimatta. Laadukas valaisin voi myös tulla edullisemmaksi, sillä sen käyttöikä on pitkä. Tärkeä tekijä on myös valaisimen hyötysuhde. Lampun tuottamasta valosta saadaan käyttöön mahdollisimman suuri osa. Toisinaan on syytä kiinnittää huomiota myös valaisimen visuaaliseen puoleen, kun sen halutaan sopivan tilan sisustukseen. (Laatuvalo Oy, 2010.)

Teollisuuskohteissa on tärkeää huomioida tehtävän työn laatu. Valaisinta valittaessa olisi siten otettava huomioon valaistusstandardien määräämä värintoistoindeksi, valaistusvoimakkuus ja UGR-indeksi. Jos työ vaatii erityistä tarkkuutta voi olla perusteltua ylittää standardien asettamat arvot valaistusvoimakkuudelle ja värintoistoindeksille. Korkeampi värintoistoindeksi vähentää myös työvirheitä tarkkuutta vaativissa töissä. (Oy Nylund Group Ab, 2013.)

4.2 Lampputyypit

Hehkulampun valon väri on lämmin ja värintoistokyky erinomainen. Sen polttoaika on lyhyt ja se käyttää pääosan energiastaan lämmön tuottamiseen. Hehkulamppu on hyvin energiatehoton vaihtoehto. (Työterveyslaitos 2013.) Useat maat maailmassa ovat asettaneet osittaisia kieltoja tai täyskieltoja hehkulamppujen myymiselle. Myös EU on kieltänyt kaikkien hehkulamppujen tuomisen EU maihin, lukuun ottamatta uunilamppuja ja joitain erityislamppuja. (European union 2012.)

Loistelamput ovat olleet käytössä jo kauan energiatehokkuutensa ja pitkän käyttöiän ansiosta (Työterveyslaitos 2010). Niiden etuna on myös nopea syttyminen sekä jälleensyttyminen (Setälä 1998, 69). Kolmikomponenttiloisteaineella loisteputken värintoistoindeksi on 85. De luxe -loisteaineella (päivänvalon spektri) päästään yli 90 värintoistoindeksiin, tällöin kuitenkin loistelampun valotehokkuus putoaa jopa puoleen. (Setälä 1998, 69–70.)

Halogeenilamput soveltuvat parhaiten kohdevalaisimiksi. Ominaisuuksia ovat mm. pitkä polttoikä ja hyvät värintoisto-ominaisuudet. Halogeenilamput tarvitsevat paloturvallisuussyistä ympärilleen esteettömän suoja-alueen, sillä 95 % lampun käyttämästä energiasta muuttuu lämmöksi. Tämä suoja-alue on ilmoitettu asennus- ja käyttöohjeissa valmistajien toimesta. (Työterveyslaitos 2013.)

Purkauslamput ovat tehokkaita, pitkäikäisiä ja pienikokoisia valonlähteitä. Kaikki purkauslamput tarvitsevat kuristimen ja osa lampuista myös sytyttimen toimiakseen. Syttymisaika on kuitenkin suuri, sillä ne saavuttavat lopullisen valovirtansa vasta 2...15 minuutin kuluttua sytyttämisestä. (Työterveyslaitos 2013.)

LED on valoa säteilevä puolijohdekomponentti (eng. Light-Emitting Diode) (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK, 2011). LED-lamput ovat tulossa valaisinmarkkinoille suuritehoisen (yli 1 W) ledin kehittämisen myötä. Sen säteilykeila on kapea verrattuna muihin lampputyyppeihin. Energiatehokkuus ja sytytys sekä jälleensyttymisajat ovat kuitenkin erinomaiset. (Työterveyslaitos 2013.)

Led-valaisimissa on tavallisesti kymmeniä ledejä. Kehitys on tuonut markkinoille myös lämpimät värisävyt sekä laajan tehovalikoiman. Valkoista valoa antavien ledien valotehokkuus on yleensä 20...30 lm/W (lumenia per watti), laadukkaimpien LED-lamppujen yltäessä jopa 80 lm/W-tasoon. Vertailukohtia valotehokkuudelle ovat mm. hehkulampun n. 10 lm/W, energiansäästölampan n. 40 lm/W ja loisteputkien jopa 80 lm/W. Ledien valotehokkuuden oletetaan kasvavan vielä kehityksen mennessä eteenpäin. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK, 2011.) LED-lamput ovat vielä kehityskaarensa alkuvaiheessa ja ovat siksi verraten kalliita (Työterveyslaitos 2013).

5 VALAISTUKSEN NYKYTILA

5.1 Mittaukset sisätiloissa

Tutkittava huone tai alue jaetaan suorakaiteen muotoisiin tai neliömäisiin yhtä suuriin ruutuihin, joiden sivujen pituudet määräytyvät huoneen koon mukaan. Pituuksien tulisi olla 0,5...2 metriä (kuitenkin enintään ¼...½ työtason ja valaisimien välisestä etäisyydestä). Yleensä suorakaiteen muotoinen ruudukko on helpommin sovellettavissa tiloihin. Suurennettaessa ruudukkoa kärsii mittaustarkkuus, mutta liian pienikään ruudukko ei ole tarkoituksenmukainen. Taulukossa 2 on esitetty vähimmäislukumäärä mittauspisteille mittasuhteiltaan erilaisissa huoneissa. Huoneen kokoa ja muotoa siinä on kuvattu ns. huoneindeksillä (k), joka saadaan huoneen tai alueen mitoista seuraavasti:

$$k = \frac{lw}{(l+w)h_m} \quad (3.)$$

missä

l on huoneen pituus (metriä)

w huoneen leveys (metriä)

h_m valaisimien asennuskorkeus työtasolta mitattuna (metriä)

k huoneindeksi. (Ahponen & Timonen 1996, 127.)

TAULUKKO 2. Mittauspisteiden lukumäärän riippuvuus huoneindeksistä. (Ahponen & Timonen 1996, 128.)

Huoneindeksi	Mittauspisteiden lukumäärä
$k < 1$	4
$1 \leq k < 2$	9
$2 \leq k < 3$	16
$3 \leq k$	25

Mittauspisteitä voidaan joutua lisäämään, jotta pisteet saadaan sovitettua tilaan symmetrisesti. Tilan pohjapiirroksen piirretään ruudukot ja merkitään kiinteät rakenteet sekä valaisimien paikat. Valaistusvoimakkuus mitataan jokaisen ruudun keskipisteestä. Mittaus suoritetaan työtason korkeudella, joka istuvilla työntekijöillä on 0,75 metriä ja seisontatyössä 0,85 metriä, ellei toisin ole määritelty. Mittauksessa on hyvä käyttää apuna jalustaa. Kalustetussa tilassa merkitään edellä mainittujen lisäksi myös työpisteet, koneet, kalusteet sekä muu varustus. Tuloksista saadaan selville esimerkiksi valon jakautuminen tärkeisiin kohteisiin. (Ahponen & Timonen 1996, 128.)

Mikäli valaistuksen tasaisuudesta halutaan saada luotettava kuva, saatetaan pienin ja suurin arvo joutua hakemaan kuljettamalla mittaria ruudukon sisällä. Suurimman ja pienimmän tuloksen löytymiskohdat merkitään muistiin pohjapiirroksen, näitä ei kuitenkaan huomioida keskiarvoa laskettaessa. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m on ruutujen keskipisteistä saatujen tulosten keskiarvo. (Ahponen & Timonen 1996, 128–129.)

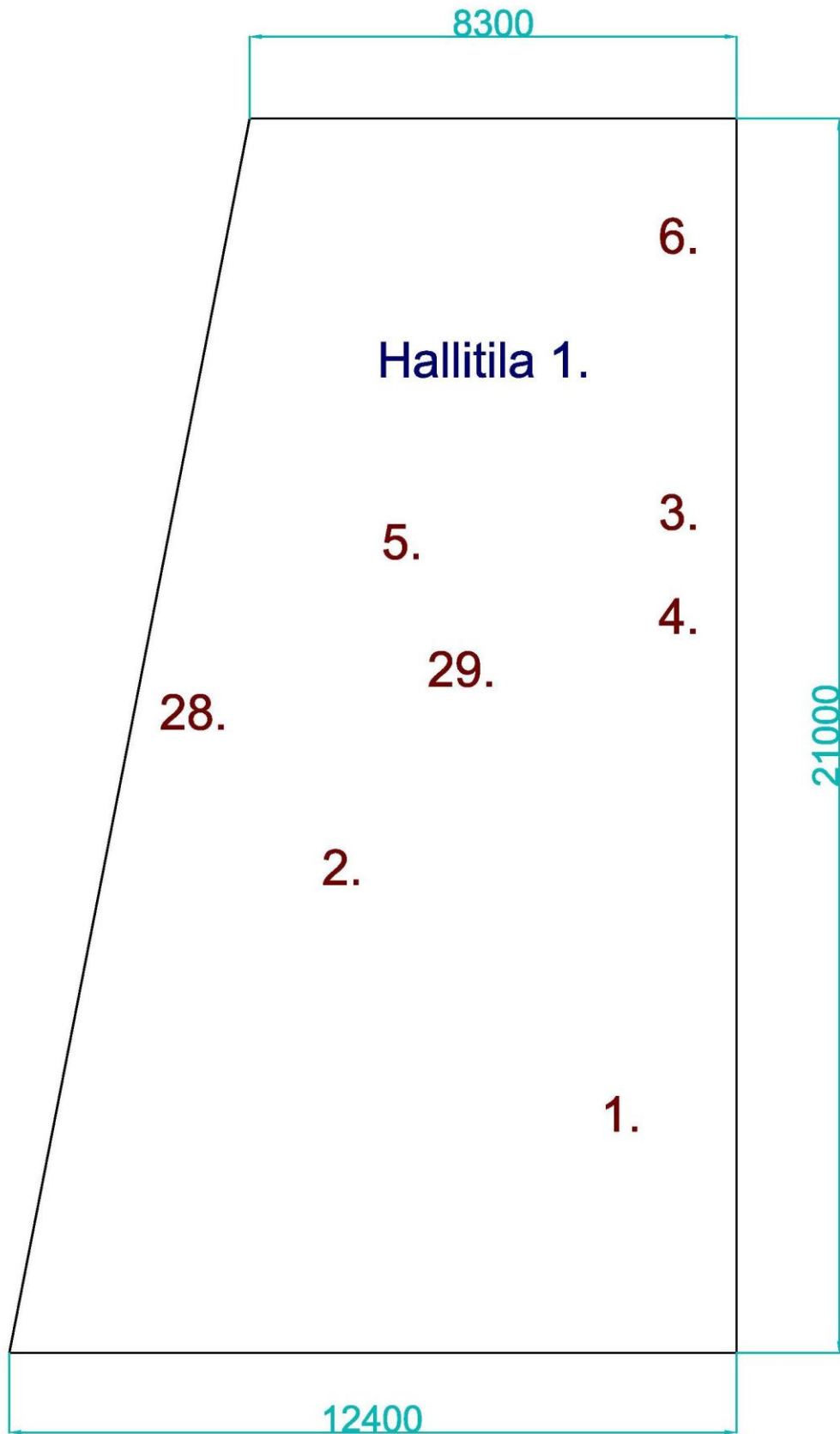
Valaistuksen tasaisuuden määrittämiseksi kuvasta haetaan pienin ja suurin arvo. Näistä lasketaan tasaisuudet E_{min}/E_m ja E_{min}/E_{max} . Jos tilassa on eri valaistusvoimakkuuden vaatimusluokkaan kuuluvia alueita käsitellään alueet erikseen edellä esitetyn kaltaisesti. Epäoleellisissa paikoissa sijaitsevat hyvin matalat tai korkeat lukemat voidaan jättää pois tasaisuuslaskuista. Jos valaistusta on täydennetty paikallisvalaistuksella, mitataan valaistusvoimakkuus näissä pisteissä näkökohteesta, joissa valaistusta tarvitaan. Kenno asetetaan tasolle samoin kuin näkökohde (vaakasuoraan, pystysuoraan tai kaltevaan asentoon). (Ahponen & Timonen 1996, 128–129.)

5.2 Tilat ja työpisteiden sijainnit

Käyn aluksi läpi tilat sekä niissä sijaitsevat työpisteet ja niiden sijainnit. Piirrustukset olen luonut käyttäen apuna AutoCAD ohjelmistoa. Muunsin AutoCAD-ohjelmistolla luodut pdf-tiedostot jpeg-kuvatiedostoiksi ja rajasin niitä hieman kuvankäsittelyohjelmalla.

Tiloja havainnollistavissa kuvissa (Kuviot 6...9) punaiset numerot kuvaavat työpisteiden likimääräistä sijaintia. Tilojen sisämitat ovat turkoosin väriset. Yläkerta ja alakerta esittävässä kuvissa eri huoneet on merkitty tummansinisin numeroin. Nämä huoneet ovat:

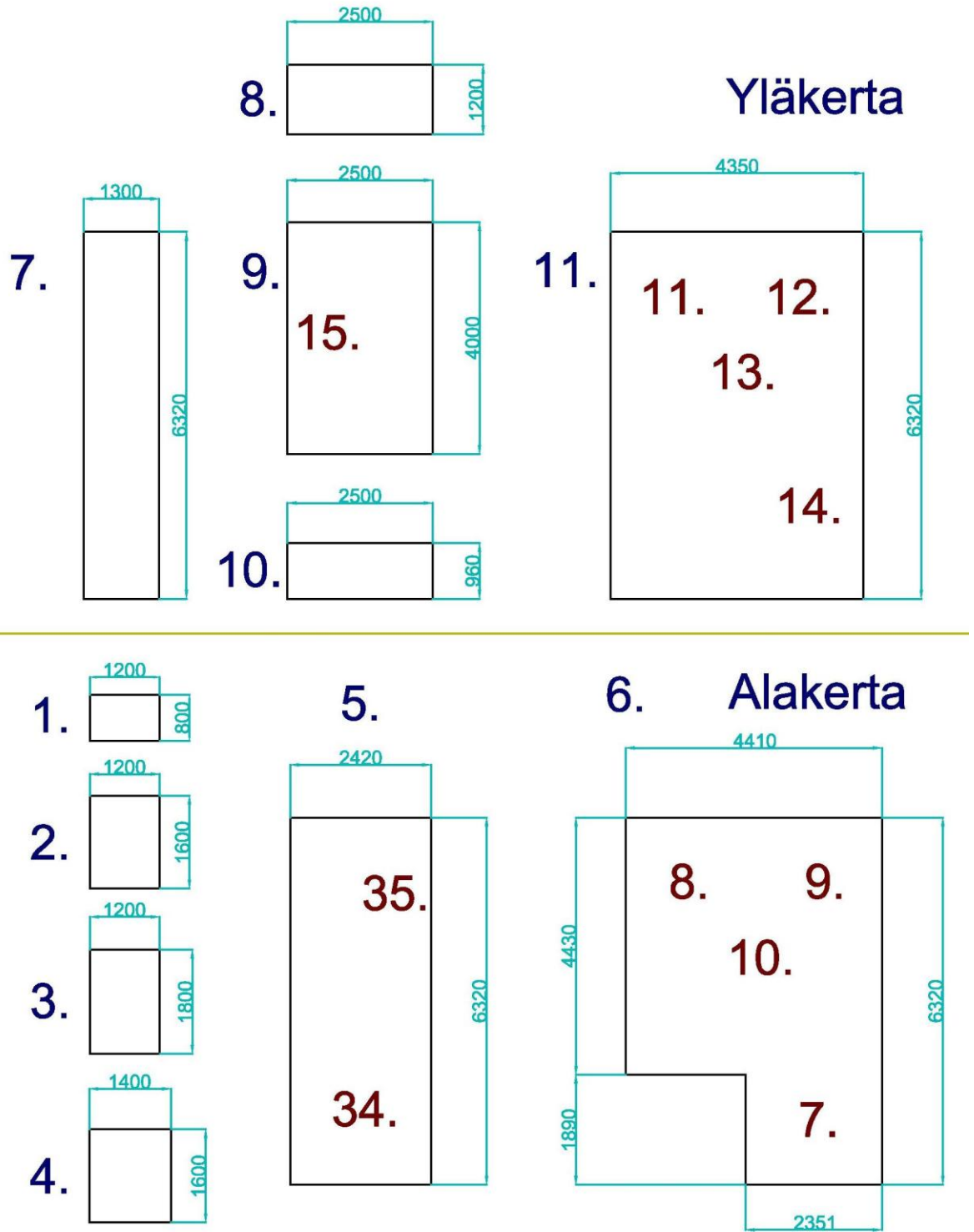
1. Miesten WC
2. WC
3. Naulakkotila
4. Kopiointinurkkaus
5. Taukotila
6. Alakerran suunnittelu- ja toimistotilat
7. Yläkerran hyllytila
8. Arkisto
9. Pukeutumistila
10. Käytävä
11. Yläkerran suunnittelu- ja toimistotilat



KUVIO 6. Ensimmäisen hallitilan sisämitat ja työpisteiden sijainti.

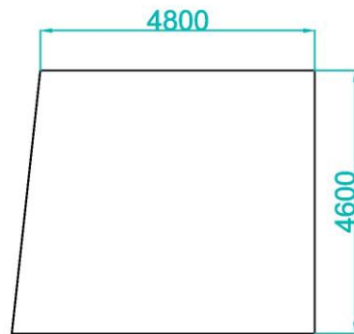


KUVIO 7. Toisen hallitilan sisämitat ja työpisteiden sijainti.

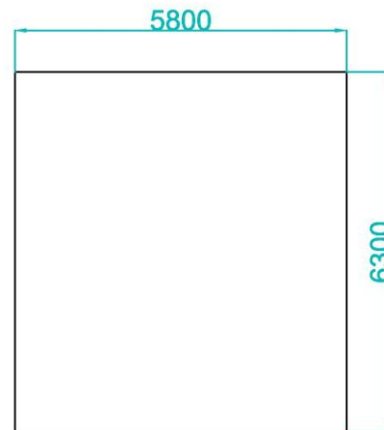


KUVIO 8. Ylä- ja alakerran tilojen sisämitat, työpisteiden sijainnit ja huonenumerot.

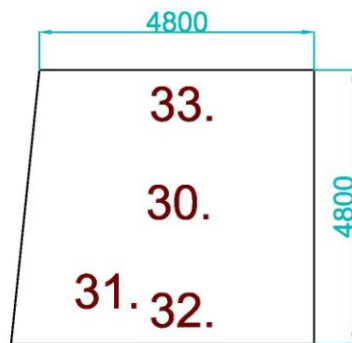
Yläkerran varastotila



Hyllytila



Metallityö / Maalaus



KUVIO 9. Yläkerran varastotilan ja hyllytilan sekä metallityö- ja maalaustilan sisämitat ja työpisteiden sijainnit.

5.3 Yleisvalaistuksen mittaukset

Yleisvalaistusta laskiessa lähdin liikkeelle mittaamalla huoneiden sisämitat ja huonekorkeuden. Näistä sain laskettua huoneindeksin käyttämällä kaavaa (3.). Ensimmäisen hallitilan pituudeksi sain 21 metriä ja leveydeksi 12,4 metriä. Halli on noin viisi metriä korkea, joten asennuskorkeus työtasolta mitattuna on noin 4,2 metriä.

$$k = \frac{21m * 12,4m}{(21m + 12,4m) * 4,2m} = 1,855629 \approx 1,86$$

Taulukon 2 mukaan huoneindeksillä 1,86 tilaan tulisi vain yhdeksän mittauspistettä.

Mittausruudukon sivun pituus saa olla kuitenkin korkeintaan vain kaksi metriä, joten hallitilaan tulee kokonaisuudessaan 63 mittauspistettä.

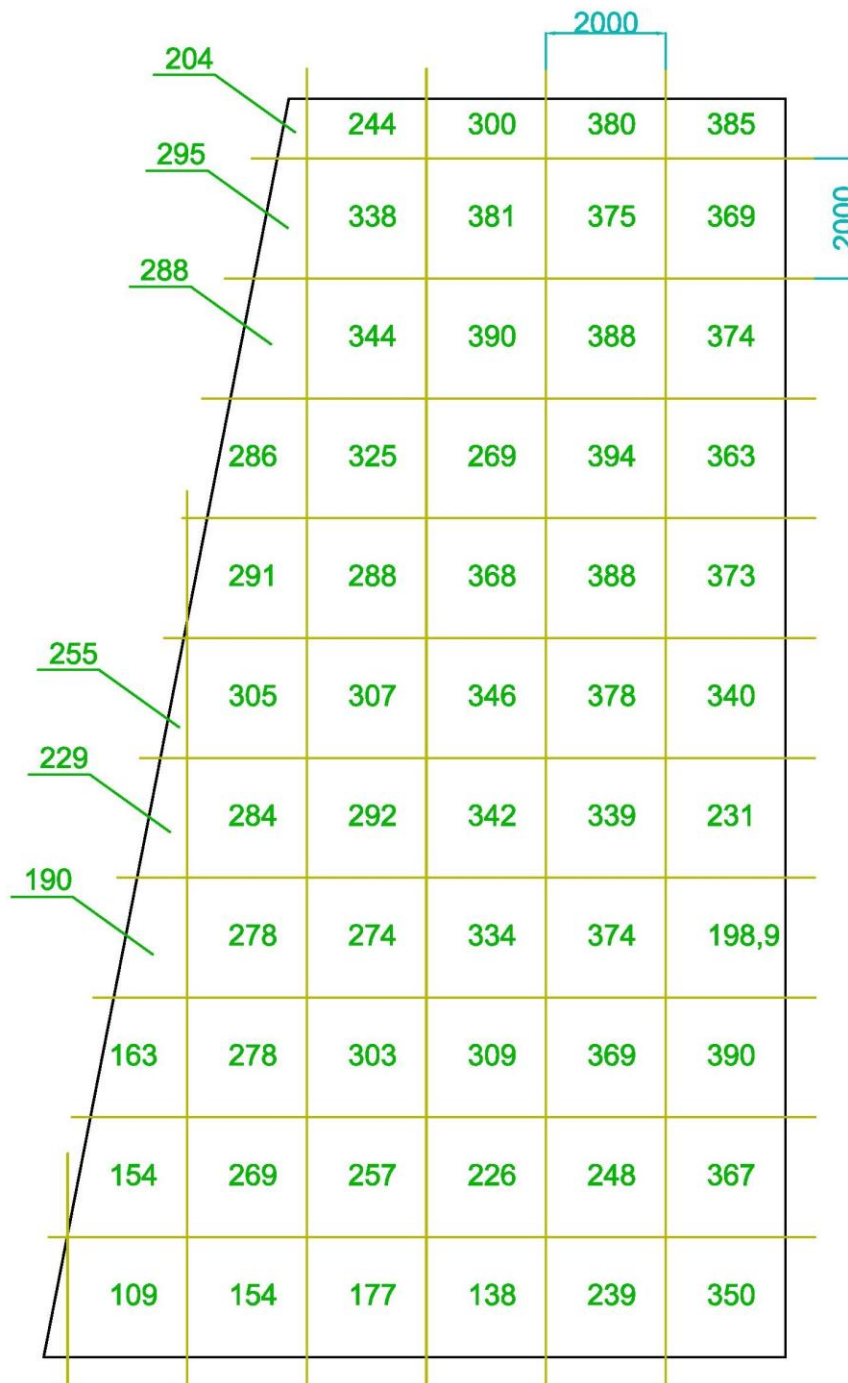
TAULUKKO 3. Muille tiloille vastaavat huoneindeksit ja lopulliset mittauspisteiden lukumäärät.

Tila	Valaisinten asennuskorkeus työtasosta (80cm)	Huoneindeksi k	Mittauspisteiden lukumäärä
Hallitila 1	4,2 m	1,86	63
Hallitila 2	4,2 m	1,47	56
Metallityö- ja maalaustila	1,62 m	1,55	9
Varastotila	1,53 m	1,61	9
Hyllytila	4,2 m	0,72	12
Miesten WC	1,56 m	0,33	4
WC	1,56 m	0,44	4
Naulakkotila	1,56 m	0,47	4
Kopiointinurkkaus	1,67 m	0,43	4
Taukotila	1,56 m	1,12	8
Alakerran suunnittelu- ja toimistotilat	1,56 m	1,66	11
Yläkerran hyllytila	1,62 m	0,67	4
Arkisto	1,56 m	0,52	4
Pukeutumistila	1,56 m	0,99	8
Käytävä	1,56 m	0,44	4
Yläkerran suunnittelu- ja toimistotilat	1,56 m	1,65	12

Esimerkiksi ensimmäisen hallitilan mittaustulosten 200 luksia alittavat arvot ja toisen hallitilan 120 luksia alittavat arvot johtuvat hyllyköistä ym. kiinteistä kalusteista. Loistelampuja oli myös epäkunnossa mm. seuraavissa tiloissa: hallitila 2., metallityö- ja maalaustila, pukeutumistila, yläkerran suunnittelu- ja toimistotila, alakerran suunnittelu- ja toimistotila.

Osansa tekivät myös valaisimista osittain puuttuvat tai likaiset heijastimet. Myös loistelamppujen ikä ja valaisimien likaisuus vaikuttivat huomattavasti valaistusvoimakkuuteen.

Hallitila 1.

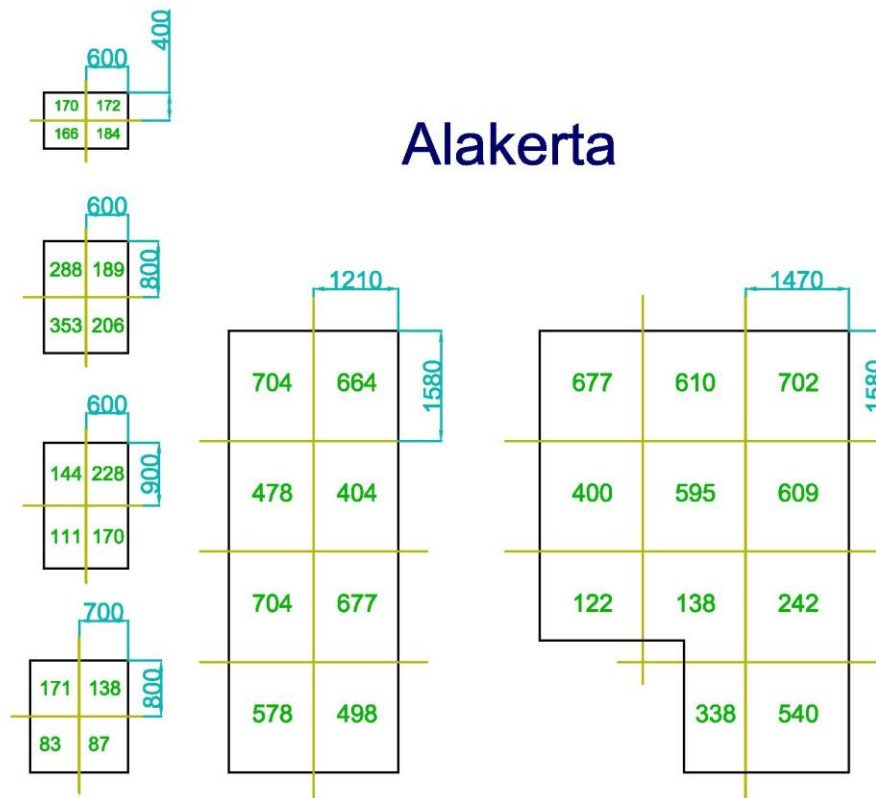
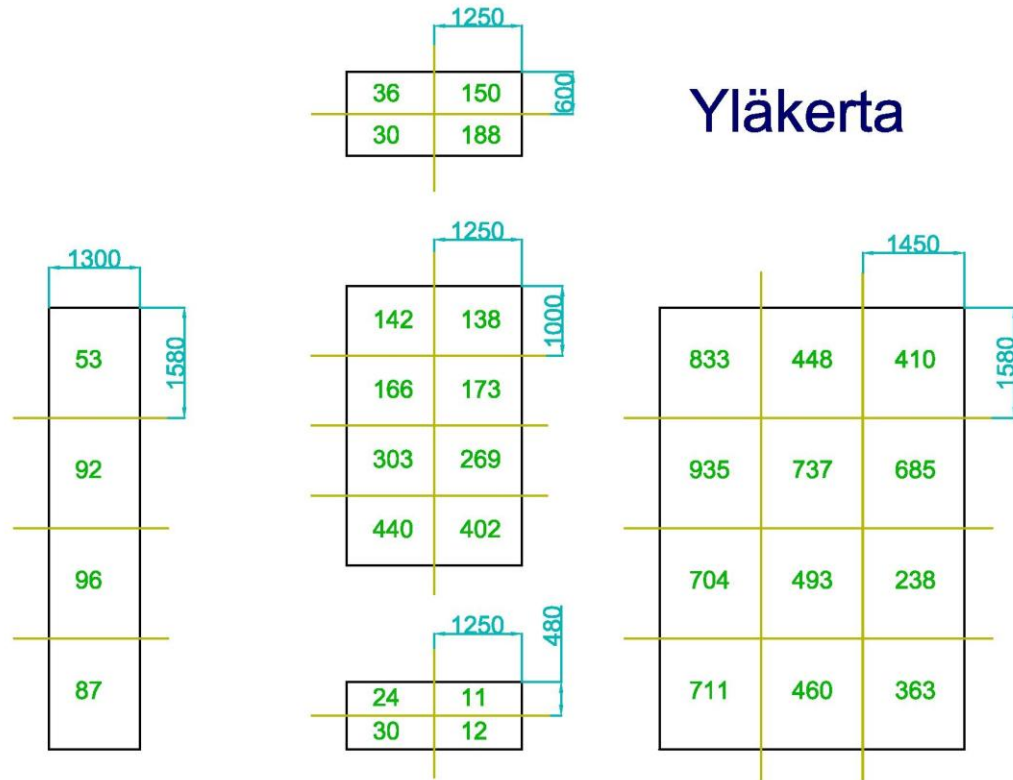


KUVIO 10. Ensimmäisen hallitilan yleisvalaistuksen mittaustulokset.

Hallitila 2.

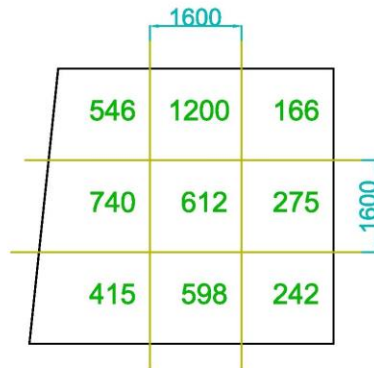
304	253	218	181	
169	285	272	295	2000
273	249	276	319	
298	255	281	380	
108	196	294	502	
33	80	236	458	
130,7	63,4	128	174	
43	105	167	206	
116	170	184	172	
288	236	232	129	
282	218	123	173	
231	203	151	211	
185	177	188	212	
137	158	197	164	

KUVIO 11. Toisen hallitilan yleisvalaistuksen mittaustulokset.

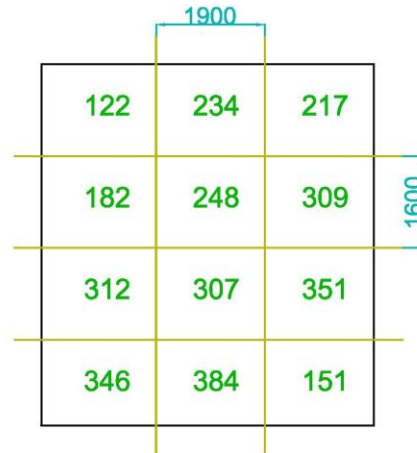


KUVIO 12. Yläkerran ja alakerran tilojen yleisvalaistuksen mittaustulokset.

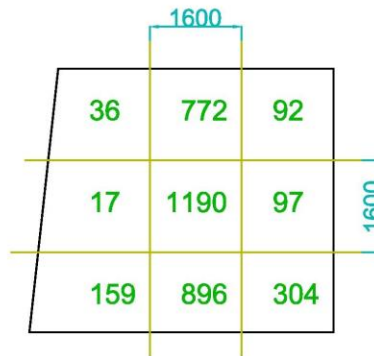
Metallityö / Maalaus



Hyllytila



Varastotila



KUVIO 13. Yläkerran varastotilan ja hyllytilan sekä metallityö- ja maalaustilan yleisva-
laistuksen mittaustulokset.

5.4 Tiloissa sijaitsevien seinämateriaalien heijastussuhteita

Mittasin valaistusvoimakkuusmittarilla myös seinäpintojen heijastussuhteita. Tämä onnistuu käyttämällä kaavaa (1.).

Esimerkiksi valkoiseksi maalattu puhdas gyproc-levy hallitilassa 1.

$$p = \frac{156lx}{176lx} = 0,886364 \approx 0,89$$

TAULUKKO 4. Mitattavien seinäpintojen materiaalit ja heijastussuhteet.

Tila	Seinämateriaali	Heijastussuhde p
Hallitila 1	Valkoinen puhdas gyproc-levy	0,89
Hallitila 1	Sininen aaltopelti	0,15
Hallitila 2	Valkoinen likainen gyproc-levy	0,59
Hallitila 2	Aaltopelti	0,57

5.5 Työpisteiden valaistusvoimakkuuden mittaukset

Työpisteiden valaistusvoimakkuutta mitattaessa piirsin työpöydät mittakaavaan ja suoritin mittaukset kohdista, joissa valaistusvoimakkuusmittauksen lukemat kuvissa ovat. Kuviin on piirretty työpisteiden tärkeät mitat turkoosilla. Työpisteen valaistusvoimakkuuden mitaustulokset on piirretty vihreäksi. Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden mitaustulokset ovat väriltään punaiset. Mittaustulosten jälkeen olevat kirjaimet p ja a tarkoittavat esimerkiksi esineen tai tason päältä ja alapuolelta otettuja tuloksia.

Olen myös piirtänyt kuviin hyllytasot, näppäimistöt, hiiret, näytöt, tietokoneet ja tulostimet. Luminanssia ja häikäisyä tutkin silmämääräisesti. Käyn seuraavaksi läpi jokaisen työpisteen tärkeimmät tulokset. Tarkemmat mittaustulokset ja piirustukset löytyvät liitteistä.

Työtaso 1 (Liite 1.) Työ on pääasiassa toimistotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi tällöin olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus jää kuitenkin 300...400 luksin arvoihin. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 370 luksia, valaistus on siis tasainen. Valaistus onkin miltei riittävä, eikä näkökentässä ole suuria luminansseja tai mahdollista häikäisyä aiheuttavia kohteita.

Työtaso 2 (Liite 1.) Työ on jakokeskusten kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 270...300 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 280 luksia, joten valaistus on tasainen. Valaistus ei ole riittävä työtehtävään nähden. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja. Työpisteen 28. (Liite 14.) työvalot saattavat päällä ollessaan aiheuttaa hieman häikäisyä.

Työtasot 3 ja 4 (Liite 2.) Työpisteellä kojeistetaan valmiita jakokeskuksia. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla vähintään 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuudeksi työtasolla saadaan 200...700 luksia. Työtason valaistusvoimakkuus onkin osittain riittämätön. Työtason takana olevalla lattiapinnalla, jossa keskukset pääosin ovat niitä tarkistettaessa, on valaistusvoimakkuus työtason korkeudella noin 500...600 luksia. Työpisteiden lähiympäristön valaistusvoimakkuuksiksi mitattiin 520 luksia (Työtaso 3) ja 470 luksia (Työtaso 4).

Valaistus on kohtalaisen tasainen. Työpisteen näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisykohteita.

Työtaso 5 (Liite 3.) Työ on jakokeskuksien kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 260...290 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 280 luksia, joten valaistus on tasainen. Valaistus ei ole riittävä työtehtävään nähden. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia näkökohteita.

Työtaso 6 (Liite 3.) Työpisteellä tehdään tuotantohallien tulostustöitä ja valaistusvoimakkuuden olisi hyvä olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 250...340 luksia. Lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi muodostui 340 luksia. Valaistus on siis tasainen, mutta ei riittävä työtehtäviin nähden. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia näkökohteita.

Työtaso 7 (Liite 4.) Työpisteellä tehdään keskusten suunnittelutyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 750 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 250...540 luksia. Lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 410 luksia. Valaistus on siis kohtalaisen tasainen, mutta ei riittävä työtehtäviin nähden. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia näkökohteita. Työpisteen päällä olevasta valaisimesta on toinen loisteputki pimeänä. Toimivana se lisäisi työpisteen valaistusvoimakkuutta ja tasaisuutta. Tällöin työpisteen valaistus voisi olla riittävä.

Työtaso 8 (Liite 4.) Työpisteellä tehdään keskusten suunnittelutyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 750 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 360...820 luksia. Lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 580 luksia. Valaistus ei ole kovin tasainen ja riittämätön työtehtäviin nähden. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja. Työpisteen edessä olevassa ikkunassa on kaihtimet mahdollisen häikäisyn estämiseksi.

Työtaso 9 (Liite 5.) Työpisteellä tehdään toimistotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 250...910 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 600 luksia. Valaistus ei ole kovin tasainen, mutta muuten riittävä työtehtäviin nähden. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia näkökohteita.

Työtaso 10 (Liite 5.) Työtasojen 8 ja 9 välissä oleva pöytätaaso, jossa tehdään toimistotyötä ja valaistusvoimakkuuden olisi hyvä olla 500 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuus on 470...710 luksia. Lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 370 luksia. Valaistus ei ole kovin tasainen, mutta valaistusvoimakkuus on riittävä työtehtäviin nähden. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia näkökohteita.

Työtaso 11 (Liite 6.) Työpisteellä tehdään toimistotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 250...710 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 790 luksia. Valaistus ei ole kovin tasainen, mutta muuten riittävä työtehtäviin nähden. Työpiste jää katossa olevan valaisimen ja rakennuslevyn katveeseen. Ikkuna voi aiheuttaa kirkkaana talvi- tai kesäpäivänä luminanssia ja häikäisyä.

Työtaso 12 (Liite 6.) Työpisteellä tehdään toimistotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 160...490 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 470 luksia. Valaistus ei ole kovin tasainen ja riittämätön työtehtäviin nähden. Työpiste jää katossa olevan valaisimen ja rakennuslevyn katveeseen. Lisäksi työpisteen kohdalla olevasta valaisimesta on toinen loisteputki pimeänä. Ikkuna voi aiheuttaa kirkkaana talvi- tai kesäpäivänä luminanssia ja häikäisyä.

Työtaso 13 (Liite 7.) Työtasojen 11 ja 12 välissä oleva pöytätaaso, jossa tehdään toimistotyötä ja valaistusvoimakkuuden olisi hyvä olla 500 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuus on 540...820 luksia. Lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 770 luksia. Valaistus on tasainen ja riittävä työtehtäviin nähden. Työtasojen 11 ja 12 ikkunat voivat aiheuttaa luminanssia ja häikäisyä kirkkaina kesä- ja talvipäivinä.

Työtaso 14 (Liite 7.) Tämä taso on neuvottelupöytä. Neuvottelu- ja kokoustilojen valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuus on 210...400 luksia. Lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 340 luksia. Valaistus on tasainen, mutta riittämätön työtehtäviin nähden. Tason yläpuolella olevasta valaisimesta on toinen loistelamppu pimeänä. Ei suuria luminansseja tai häikäisykohteita näkökentässä.

Työtaso 15 (Liite 8.) Työpisteellä ei ole enää jatkuvaa työskentelyä. Valaistusvoimakkuus on mitattaessa 70...180 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 180 luksia. Valaistus on tasainen ja riittävä jos työpisteellä ei työskennellä jatkuvasti. Työtaso jää hyllyjen katveeseen ja toinen valaisin on kaapiston päällä. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia näkökohteita.

Työtasot 16 ja 17 (Liite 8. ja Liite 9.) Työ on jakokeskuksien kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on tasolla 16 300...3600 luksia ja tasolla 17 190...320 luksia. Työtason 16 lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 270 luksia ja työtason 17 vastaava arvo on 240 luksia. Työtasolla 16 on käytössä työpistevalaisin ja paremmin suunnattuna se valaisee työtason erittäin hyvin, valaistus ei ole kuitenkaan tasainen. Työtason 17 valaistus on tasainen. Valaistusvoimakkuus ei kuitenkaan ole riittävä. Ei suuria luminansseja tai häikäisykohteita näkökentässä.

Työtasot 18 ja 19 (Liite 9. ja Liite 10.) Työ on jakokeskuksien kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on tasolla 18 210...330 luksia ja tasolla 19 150...250 luksia. Työtason 18 lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 250 luksia ja työtason 19 vastaava arvo on 230 luksia. Kummankin työtason valaistus on kohtalaisen tasainen, mutta työtehtäviin nähden riittämätön. Ikkunat saattavat aiheuttaa luminanssia ja häikäisyä etenkin kirkkaina kesä- ja talvipäivinä.

Työtaso 20 (Liite 10.) Työpisteellä tehdään jakokeskuksien kokoonpanotyötä, ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia. Mittauksissa valaistusvoimakkuudeksi saadaan noin 150...420 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 280 luksia. Myös tämän työpisteen päällä hallin katossa olevasta valaisimesta oli palanut loistelamppu. Valaistus on kohtalaisen tasainen, mutta työtehtävään nähden riittämätön. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia näkökohteita.

Työtasot 21 ja 22 (Liite 11.) Työ on jakokeskuksien kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on tasolla 21 190...560 luksia ja tasolla 22 390...570 luksia. Työtason 21 lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 440 luksia ja työtason 22 vastaava arvo on 460 luksia. Kummankin työtason

valaistus on kohtalaisen tasainen, mutta työtehtäviin nähden osittain riittämätön. Ei suuria luminansseja tai häikäisykohteita näkökentässä.

Työtaso 23 (Liite 12.) Työpisteellä tehdään jakokeskusten kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia. Mittauksissa valaistusvoimakkuudeksi saadaan 170...380 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 260 luksia. Valaistus on kohtalaisen tasainen, mutta työtehtävään nähden riittämätön. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia näkökohteita.

Työtaso 24 (Liite 12.) Työ on jakokeskusten kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 60...330 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 240 luksia, joten valaistus on kohtalaisen tasainen. Valaistus ei ole kuitenkaan riittävä työtehtävään nähden. Ei suuria luminansseja tai häikäisykohteita näkökentässä.

Työtaso 25 (Liite 13.) Työpisteellä tehdään jakokeskusten kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia. Mittauksissa valaistusvoimakkuudeksi saadaan 240...360 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 280 luksia. Valaistus on kohtalaisen tasainen, mutta työtehtävään nähden riittämätön. Hallin ovien ikkunat saattavat häikäistä ja aiheuttaa luminanssia, etenkin kirkkaina kesä- ja talvipäivinä.

Työtaso 26 (Liite 13.) Työ on jakokeskusten kokoonpanotyötä ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuus on 160...290 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 240 luksia, joten valaistus on tasainen. Valaistus ei ole riittävä työtehtävään nähden. Hallin ovien ikkunat saattavat häikäistä ja aiheuttaa luminanssia, etenkin kirkkaina kesä- ja talvipäivinä.

Työtaso 27 (Liite 14.) Tasolla työtetään DIN-kiskoja. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla vähintään 300 luksia. Mittauksissa valaistusvoimakkuudeksi saadaan 100...440 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 180 luksia. Valaistus on kohtalaisen tasainen ja osittain riittämätön työtehtävään nähden. Työpisteen työvalo saattaa aiheuttaa häikäisyä.

Työtaso 28 (Liite 14.) Alumiini- ja kuparikiskojen työstöpiste. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla ainakin 500 luksia. Mittauksissa valaistusvoimakkuudeksi saadaan 465...840 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuus on 540 luksia. Valaistus on hiukan epätasainen, mutta työtehtävään nähden riittävä. Ei suuria luminansseja tai häikäisyä näkökentässä.

Työtaso 29 (Liite 15.) Työpisteellä työstetään peltiä ja muovia. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla ainakin 500 luksia, mitattaessa valaistusvoimakkuudeksi työtasolla saadaan lukemia väliltä 144...350 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 330 luksia. Vaikka valaistus on kohtalaisen tasainen, on se riittämätön työtehtävään nähden. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisykohteita.

Työtaso 30 (Liite 15.) Työtaso on metallin työstö ja maalauspyötä. Valaistusvoimakkuuden olisi hyvä olla vähintään 500 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuudeksi työtasolla saatiin 440...930 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi saatiin 760 luksia. Valaistus ei ole kovin tasainen, mutta riittävä työtehtävään nähden. Metallityö- ja maalaushuoneen palaneiden loisteputkien vaihto lisäisi valaistusvoimakkuutta vielä hieman ja saattaisi tasoittaa valaistusta. Ikkuna saattaa kirkkaina talvi- ja kesäpäivinä aiheuttaa häikäisyä tai suuria luminanssieroja näkökentässä.

Työtaso 31 (Liite 16.) Teräskiskojen katkaisukone. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla ainakin 500 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuutta työtasolla saatiin lukemia 400...620 luksin väliltä. Lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi saatiin 540 luksia. Valaistus on tasainen ja työtehtävään nähden riittävä. Pimeänä olevien loistelamppujen vaihto auttaisi valaistusta myös tässä työpisteessä. Näkökentässä ei ole suuria luminansseja tai häikäisykohteita.

Työtaso 32 (Liite 16.) Tasolla on mirkeli jolla hiotaan metallia. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla ainakin 500 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuudeksi tasolla saatiin 440...480 luksia. Työtason ympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi saatiin 510 luksia. Valaistus on tasainen, mutta hieman liian matala työtason vaatimukseen nähden. Pimeänä olevien loistelamppujen vaihto auttaisi valaistusta hieman myös tässä työpisteessä. Ei suuria luminansseja tai häikäisyä aiheuttavia kohteita näkökentässä.

Työtaso 33 (Liite 16.) Työpiste muovin taivutukseen. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla 500 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuus on 710...1190 luksia. Työpisteen lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 960 luksia. Valaistus on tasainen ja riittävä työtehtävään nähden. Työpistettä vastapäätä oleva ikkuna saattaa kirkkaina kesä- ja talvipäivinä aiheuttaa suuria luminanssieroja ja häikäisyä.

Taso 34 (Liite 17.) Taukotilan tai kahvihuoneen suurempi pöytä. Valaistusvoimakkuuden olisi hyvä ylittää 200 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuus on 280...800 luksia. Tason lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 490 luksia. Valaistus on riittävä mutta hieman epätasainen.

Taso 35 (Liite 17.) Taukotilan tai kahvihuoneen pienempi pyöreä pöytä. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla 200 luksia. Mitattaessa valaistusvoimakkuus on 500...830 luksia. Tason lähiympäristön valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 570 luksia. Valaistus on riittävä ja kohtalaisen tasainen.

6 VALAISTUSSUUNNITELMA

6.1 Tietoa työtiloista

Tuotantohalli sisältää kaksi hallitilaa, metallityö- ja maalaustilan, pienen varastotilan, hyllytilan, pukuhuoneen, taukotilan sekä kaksi toimistotilaa. Toimistotiloissa suuri osa työstä on niin sanottua päätetyötä eli työ tehdään tietokoneita apuna käyttäen. Yläkerran pieni varastotila on lähinnä tuotteille, joita ei tarvita kovin usein. Siellä säilytetään osia ja komponentteja, joiden saatavuudessa voi ilmetä ongelmia. Metallityö- ja maalaustilassa tehdään kaikki kyseinen työ, sekä taivutetaan ja valmistetaan muovisuojia keskusten jännitteisten osien suojiksi. Tuotantohallissa on työpisteitä, joiden ääressä suoritetaan keskusten kokoonpanotyötä. Hallitiloissa on myös keskuksen kiskostojen taivutukseen, katkaisemiseen sekä rei'itykseen soveltuva työpiste, pellin ja muovin rei'itykseen soveltuva työpiste ja DIN-kiskojen työstöön tarkoitettu piste.

Keskukset kootaan alusta loppuun käsin ja jokainen keskus suunnitellaan erikseen. Kooltaan keskukset voivat olla muutaman kymmenen senttimetrin korkeudesta ja leveydestä kahden metrin korkeuteen ja useiden metrien leveyteen asti. Jos keskus on liian leveä, suunnitellaan siihen kuljetuskatkokset, ja se kuljetetaan tilaajalle osissa. Voisikin sanoa, että jokainen keskus on yksittäiskappale, vaikka joskus pienimpiä keskuksia saatetaankin valmistaa pieniä eriä. Keskuksien kokoamistyö onkin tästä johtuen vaihtelevaa ja monipuolista.

Työpisteiden sijainti sekä lukumäärä saattavat vaihdella usein. Vaikka työpöydät olisivatkin pitkälti samoilla paikoilla, keskukset rakennetaan muutaman metrin päähän työpöydästä tilantarpeen vuoksi, tai jopa useamman työpisteen väliin jos työllä on monta tekijää. Valaisimet sijaitsevat tällä hetkellä hallin katossa ja korkealla hallin seinissä. Valaistusta ei voisi kuitenkaan laskea kovin matalalle, eikä se olisi tarkoituksenmukaistakaan, sillä se olisi tiellä keskuksia rakennettaessa ja niitä siirrettäessä. Tuotantohallit tulisikin valaista kauttaaltaan mahdollisimman hyvin, koska työ on toisinaan hyvin tarkkaa. Myös lampun

värintoisto-ominaisuudesta muodostuu tärkeä tekijä kokoonpanotyössä. Esimerkiksi johdinvärien tulee toistua oikein.

Päivänvaloa ei halleihin pääse kovinkaan paljon, joten keinovalaistuksella on erityisen suuri osuus valaistuksessa.

6.2 Tila- ja tehtäväkohtaiset suositukset

Standardissa SFS-EN 12464-1 on määritelty tila- sekä tehtäväkohtaiset suositukset. Taulukoista saadaan keskimääräinen valaistusvoimakkuuden huolto-arvo Em. Jakokeskusten kokoonpanotyölle saatu suositus valaistusvoimakkuuden huolto-arvolle on 500 luksia. Eli valaistus olisi huollettava, kun valaistusvoimakkuus putoaa tähän arvoon. Taulukoista saadaan selville myös suurin sallittu häikäisyindeksi (Unified Glare Rating limit, UGR_L) raja-arvo, sekä pienin sallittu arvo yleiselle värintoistoindeksille Ra. Häikäisyindeksi ei tulisi ylittää arvoa 22, kun taas värintoistoindeksi tulisi ylittää arvo 80. Taulukkoon on myös saatettu antaa erityisiä huomautuksia. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2010.)

TAULUKKO 5. Otteita SFS-EN 12464-1 Standardin antamista tilakohtaisista valaistuksen suositusarvoista. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2010.)

Tila- tai työtehtävä	Valaistusvoimakkuuden huolto-arvo Em	Häikäisyindeksi UGR _L	Värintoistoindeksi Ra
Toimistotyö	500lx	19	80
Tekninen piirtäminen	750lx	16	80
Varastotilat	100lx	25	60
Kahvihuone	200lx	22	80
Eteiset	100lx	22	80
WC:t	200lx	25	80
Käytävät	100lx	25	80
Neuvotteluhuone	500lx	19	80

6.3 DIALux

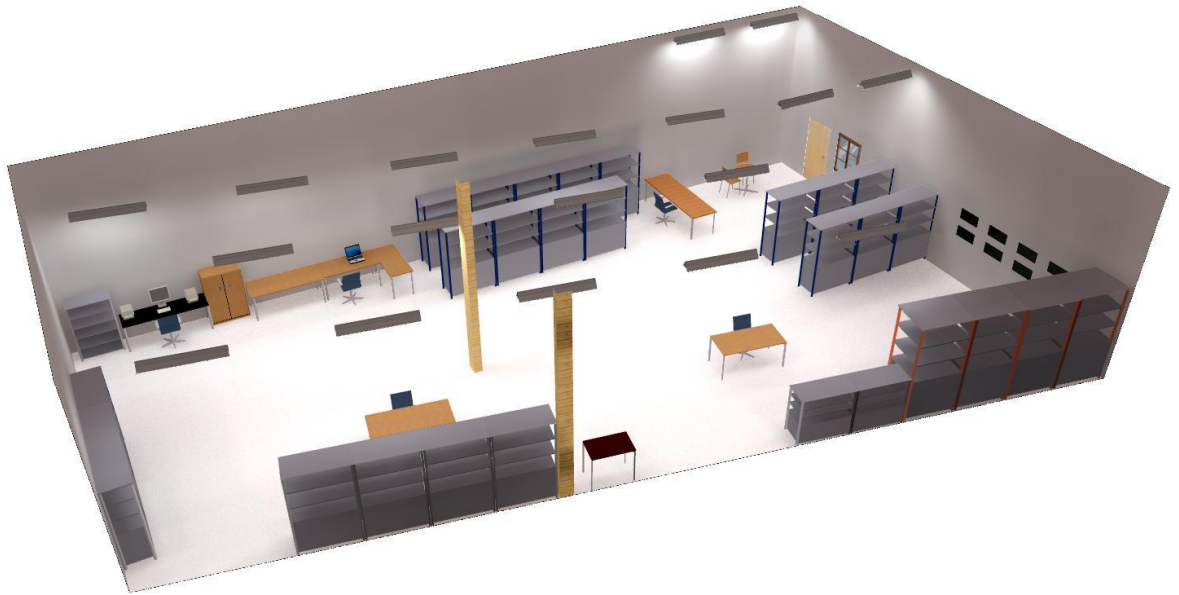
DIALux on käyttäjille ilmainen saksalaisten valmistama valaistuksen suunnitteluun käytettävä tietokoneohjelmisto. Valaisinvalmistajat tukevat ohjelmaa ja saavat siten omat valaisimensa lisättyä ohjelman valaisintietokantaan. Ohjelmalla voidaan laskea esimerkiksi valaistusvoimakkuus eri tasoissa, häikäisyindeksi, päivänvalon vaikutus, sekä monia muita valaistuksen laatuun olennaisesti liittyviä suureita.

6.4 Tilakohtaiset suunnitelmat

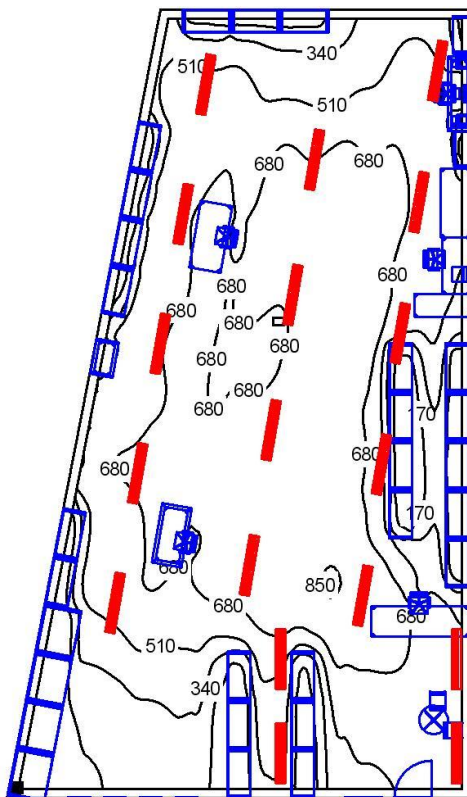
Hallitiloissa 1 ja 2 päädyin metrin alaslaskettuun valaistukseen, joka on toteutettu Fagerhultin Indulux-teollisuusvalaisimilla. Asennuskorkeutena on siis 3,2 metriä työtasosta. Valaisimissa on keskileveä valonjako. Hallitilaan 1 valitsin valaisimet, joissa on kaksi 58-wattista T8-loistelamppua ja hallitilaan 2 valaisimet, joissa on kolme 58-wattista T8-loistelamppua.

Valaistusratkaisu antaa hallitilan 1 keskeisille alueille valaistusvoimakkuuden 510...850 luksia. Mittausten perusteella nykyinen valaistus jää 220...370 luksin arvoihin. Näin työtasojen valaistusvoimakkuus on ilman erillistä työtasovalaistustakin varsin hyvä. Hallin keskiosat, joissa valmistettavat keskuksat pääasiassa sijaitsevat, on hyvin valaistut.

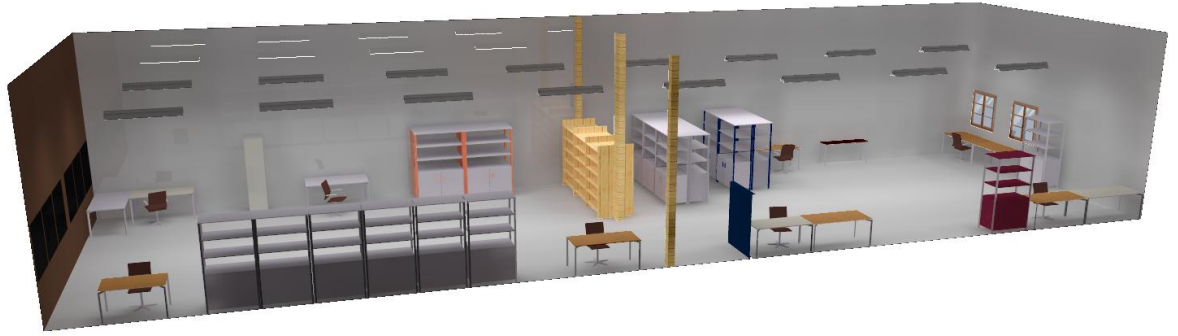
Hallitilan 2 keskeisille alueille tämä valaistus antaa 760...950 luksia. Mittausten perusteella hallitilan 2 nykyinen valaistus puolestaan jää 170...300 luksin arvoihin. Toisessa hallitilassa myös valmistetaan suurin osa keskuksista, sillä siellä sijaitsee eniten tähän tarkoitukseen olevia työpisteitä. Näin varsinkin hallin keskiosat, joissa keskuksia valmistetaan ovat todella hyvin valaistut. Työtasojen valaistusvoimakkuus paranee myös verrattuna nykyiseen. Työtasoille olisi silti suotavaa asentaa jonkinlaiset työtason valaisimet.



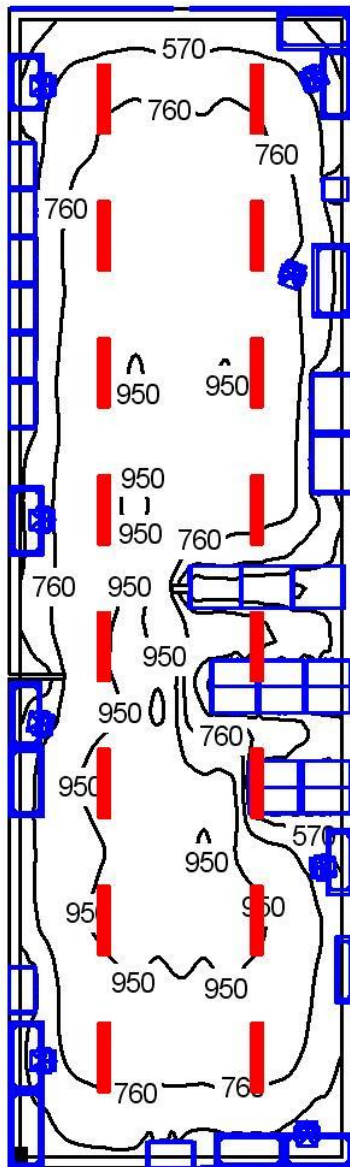
KUVIO 14. Ensimmäisen hallitilan uuden valaistuksen havainnollistamiskuva.



KUVIO 15. Ensimmäisen hallitilan valaistusvoimakkuusjakauma työtasolta ja kalusteiden, sekä valaisimien paikat.



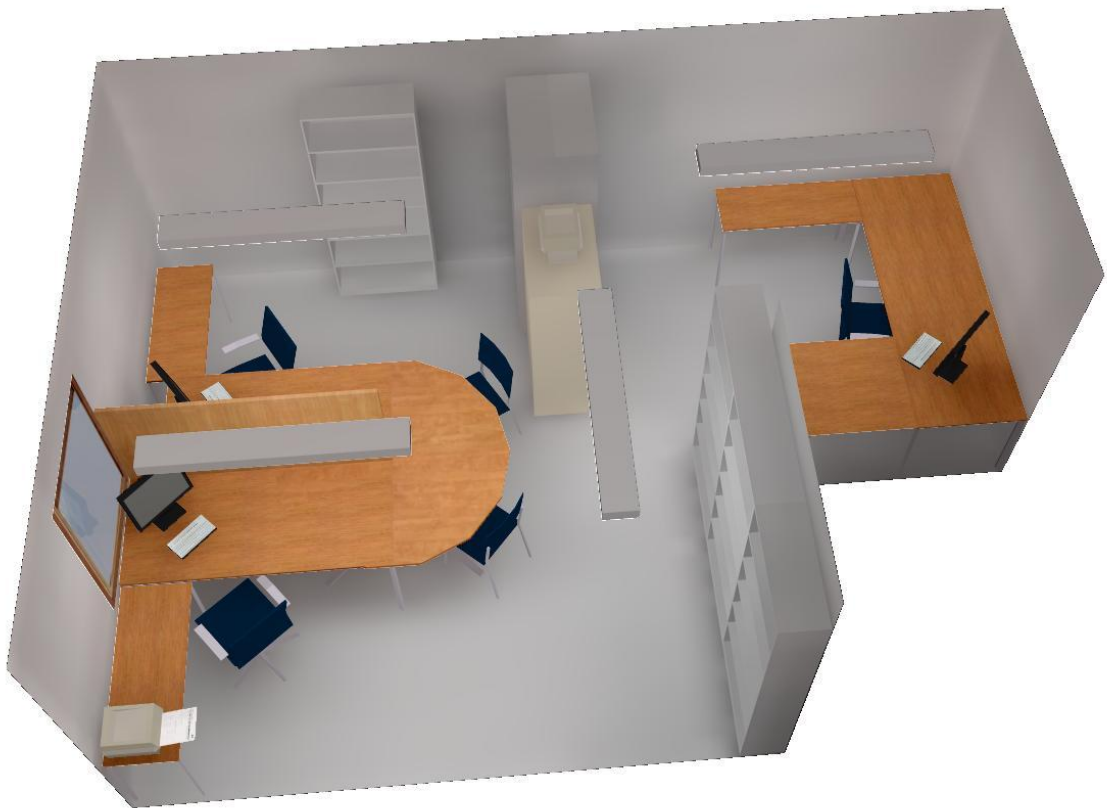
KUVIO 16. Toisen hallitilan uuden valaistuksen havainnollistamiskuva.



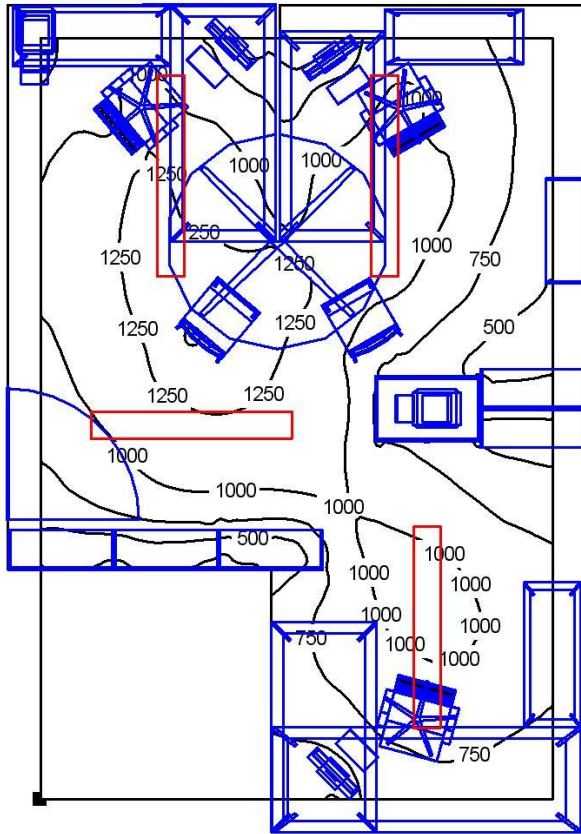
KUVIO 17. Toisen hallitilan valaistusvoimakkuusjakauma työtasolta ja kalusteiden, sekä valaisimien paikat.

Myös valaistuksen säädettävyyteen olisi syytä kiinnittää huomiota. Esimerkiksi ensimmäisen hallitilan valaistuksen kanssa samasta kytkimestä syttyvät myös yläkerran varastotilan valaisimet. Tällöin ne kuluttavat turhaan sähköä vaikka kukaan ei tarvitsisi siellä valoa. Toinen esimerkki on yläkerran valaistus. Pukuhuoneen ja yläkerran toimistotilojen valaistus kytketään samasta kytkimestä. Myös muita valaistuksen uudelleenryhmitysvaihtoehtoja olisi syytä miettiä.

Alakerran ja yläkerran toimistotiloissa päädyin pitämään nykyiset valaisimet, mutta siirtämään niitä hieman. Lisäsin myös yhden nykyistä vastaavan valaisimen kumpaankin tilaan. Suunnitelmat on toteutettu käyttämällä valaisimena Fagerhultin Allround-valaisimia, joissa on kaksi 58-wattista T8-loistelamppua. Yläkerran hallitilasta poistin rakennuslevyn, joka esti valon pääsyn työtasoille.



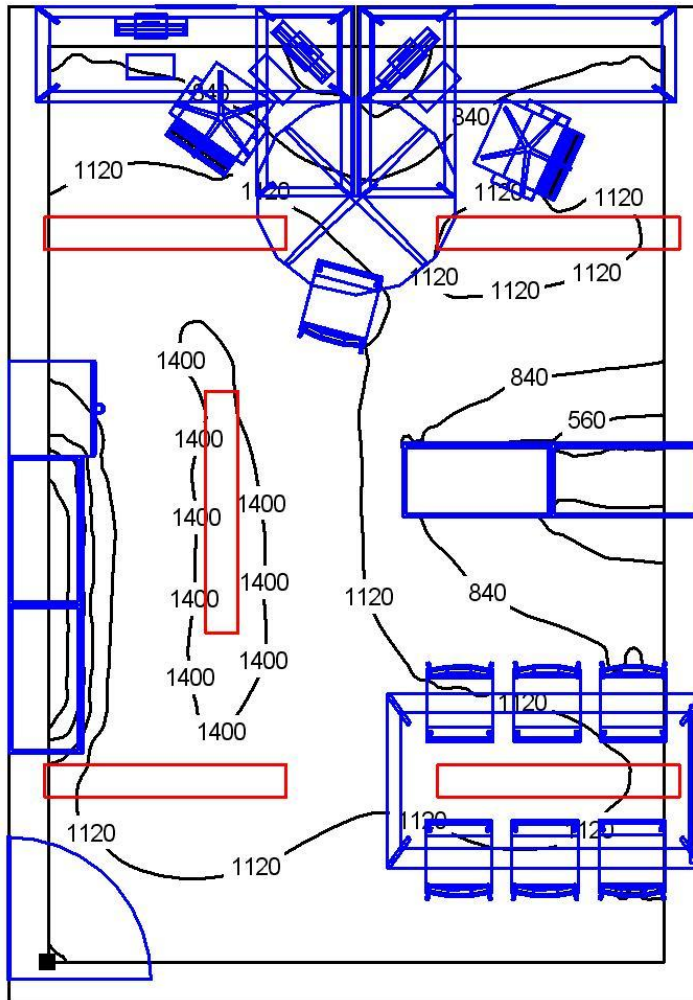
KUVIO 18. Alakerran toimistotilan uuden valaistuksen havainnollistamiskuva.



KUVIO 19. Alakerran toimistotilan valaistusvoimakkuusjakauma työtasolta ja kalusteiden, sekä valaisimien paikat.



KUVIO 20. Yläkerran toimistotilan uuden valaistuksen havainnollistamiskuva.



KUVIO 21. Yläkerran toimistotilan valaistusvoimakkuusjakauma työtasolta ja kalusteiden, sekä valaisimien paikat.

Jatkoa ajatellen olisi hyvä sitoutua jonkinlaiseen huoltosuunnitelmaan. Esimerkiksi valaisimet ja heijastimet voidaan puhdistaa varoen ja loistelamput vaihtaa viiden vuoden välein.

6.5 Työpistekohtainen valaistus

Hallitiloihin olisi hyvä hankkia jonkinlaisia siirrettäviä työpistevalaisimia. Esimerkiksi LED- tai loistelampulla varustetut valaisimet olisivat kuumenemattomuuden ja hyvän energiatehokkuuden kannalta hyviä vaihtoehtoja. Näin voitaisiin tilapäisesti paikata valaistuksen puutteita siellä, missä lisävalaistusta tarvitaan.

Esimerkki 1. Scangripin valmistama tehokas ja kestävä led-työvalaisin.

TAULUKKO 6. Ensimmäisen valaisinvaihtoehdon teknisiä tietoja (Tooloutlet 2013).

Nimi	30 W Scangrip Quattro Nova
Led	30 W COBLED (useammasta ledistä valmistettu paneeli)
Väriämpötila	6000 K (valkoinen)
Suojausluokka	IP 67
Käyttöikä	Vähintään 100 000 tuntia
Johto	5 metriä (kumikaapeli H07RN-F)
Käyttölämpötila-alue	-20°C...+40°C
Hinta	149 €



KUVIO 22. Scangripin valmistama Led-työvalaisin (Tooloutlet 2013).

Esimerkki 2. Työvalaisin jalalla ja energiansäästölampuilla

TAULUKKO 7. Toisen valaisinvaihtoehdon teknisiä tietoja (Tooloutlet 2013).

Teho	2x45 W (energiansäästölamput, kanta E27)
Suojausluokka	IP 54
Johto	3 metriä (kumi- ja neopreenikaapeli)
Jalustan korkeus	90-150 cm (säädettävissä)
Hinta	75 €



KUVIO 23. Työvalaisin säädettävällä jalalla (Tooloutlet 2013).

7 TULOKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saada parempi kuva hallin nykytilassa olevasta valaistuksesta sekä mahdollisesti suunnitella ainakin osa valaistuksesta uudelleen.

Teoriapohjana oli laaja kirjo esimerkiksi valaistustekniikkaan ja valaistuksen mittaukseen perustuvaa kirjallisuutta sekä luotettavia Internet-lähteitä. Myös valaistukseen liittyvät laitteet ja standardit on huomioitu.

Tiloista saatiinkin valaistusvoimakkuusmittaria apuna käyttäen tarkat tulokset valaistusvoimakkuuden osalta. Myös jokaisen työpisteen valaistusvoimakkuudet käytiin huolellisesti läpi. Laadulliset ominaisuudet saatiin kartoitettua silmämääräisesti.

Uusia valaistussuunnitelmia laadittiin niihin tiloihin, mihin se katsottiin tarpeellisimmaksi. Joitakin siirrettäviä työpistevalaisinvaihtoehtoja käytiin myös läpi.

Työ ei varsinaisesti herättänyt muita jatkotutkimusaiheita kuin sen, että tämän, tai jonkin muun valaistussuunnitelman toteutus voisi olla yksi mahdollinen työn aihe. Erillään tästä työstä tosin huomasin mahdollisen insinöörityön aiheen. Sähköpiirustukset nimittäin puuttuivat suurilta osin, tai olivat alkuperäiset, vaikka sähköasennuksia oli muutettu huomattavasti.

LÄHTEET

Amprobe LM-100 / LM-120 Light meters user's manual. 2008. Amprobe test tools.

Ahponen, V., Kasurinen E. & Timonen, T. 1996. Valaistusasennusten mittaukset. Valaistustekniikka-sarja osa 1: Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Toimittanut: Lähikari, M. & Karppinen, E. 143.

European union 2012. Frequently asked questions on the regulation phasing out conventional incandescent bulbs. Www-dokumentti. Saatavissa: http://ec.europa.eu/energy/lumen/doc/full_faq-en.pdf. Luettu 30.1.2013.

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

Laatuvalo Oy 2010. Valaisimen valinta. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.laatuvalo.fi/valaisimen-valinta>. Luettu 19.3.2013.

Motiva Oy 2013. Kelvin – Värilämpötila. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/kelvin-varilampotila/>. Luettu 18.4.2013

Oy Nylund Group Ab 2013. Oikea valaistus työn tarpeisiin. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.nylund.fi/fi/kayttoymparistot/teollisuus/valaistus.html>. Luettu 19.3.2013.

SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. 2. painos. 2010. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Setälä, J. 1998. Lamput. Valaistustekniikka-sarja osa 2: Lamput ja valaisimet. Toimittanut: Lähikari, M. & Karppinen, E. 69-70.

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2011. Led-lamput. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.stek.fi/sahkon_kaytto_kotona/valonlahteet_lamput/fi_FI/led_lamput/. Luettu 19.4.2013

Tooloutlet 2013. Työvalaisimet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.tooloutlet.fi/fi/Tuotteet/Valaisimet/Ty%C3%B6valaisimet/164>. Luettu 26.3.2013.

Työterveyslaitos 2013. Valaistus. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/sivut/default.aspx>. Päivitetty 1.2.2013. Luettu 12.3.2013.

Työterveyslaitos 2013. Valaisimet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/valaisimet/sivut/default.aspx>. Päivitetty 4.2.2013. Luettu 12.3.2013.

Työterveyslaitos 2011. Valaistuksen mittaaminen. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/hyva_valaistus/valaistuksen_mittaaminen/sivut/default.aspx. Päivitetty 8.12.2011. Luettu 28.1.2013.

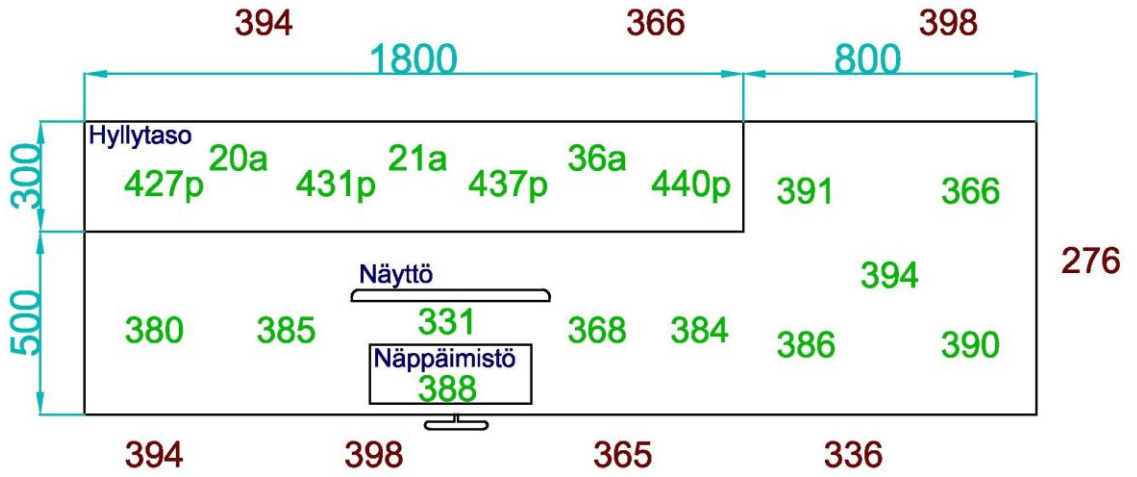
Työterveyslaitos 2010. Valaistussuureita. Www-dokumentti. Saatavissa:
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/hyva_valaistus/valaistussuureita/sivut/default.aspx. Päivitetty 9.3.2010. Luettu 24.1.2013.

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

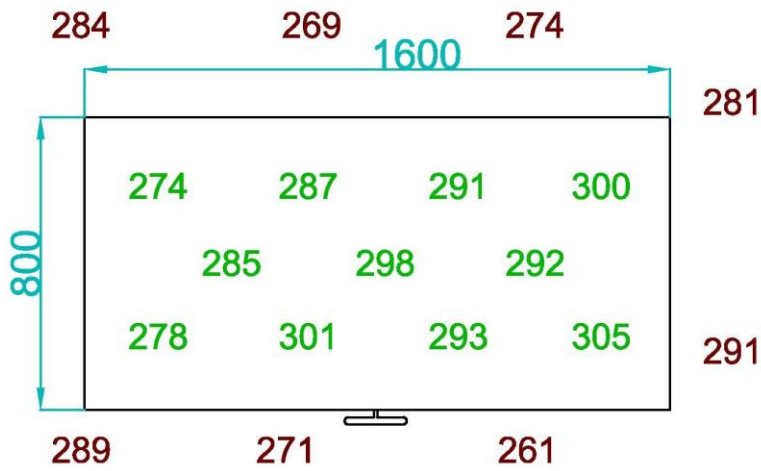
Viherympäristöliitto ry. 2010. Uusi valaistuskirja. Helsinki: Viherympäristöliitto ry

LIITE 1. Valaistusvoimakkuus työtasoilla 1 ja 2

Työtaso 1.

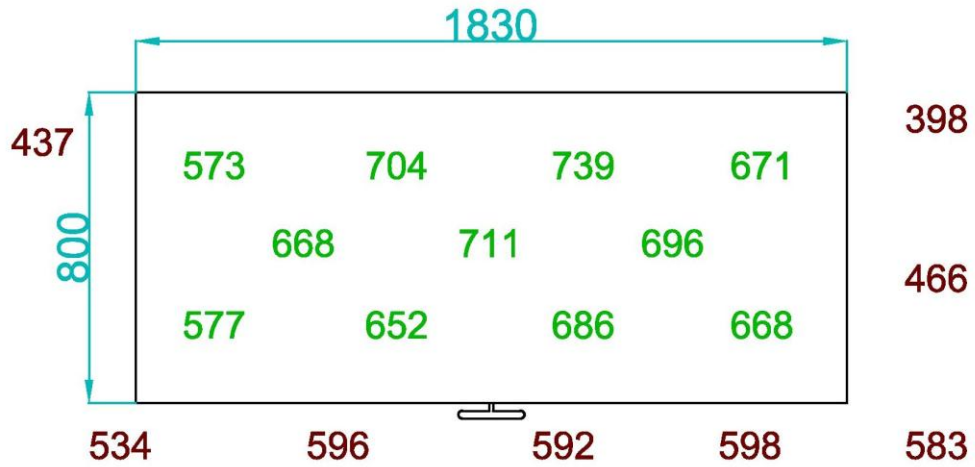


Työtaso 2.

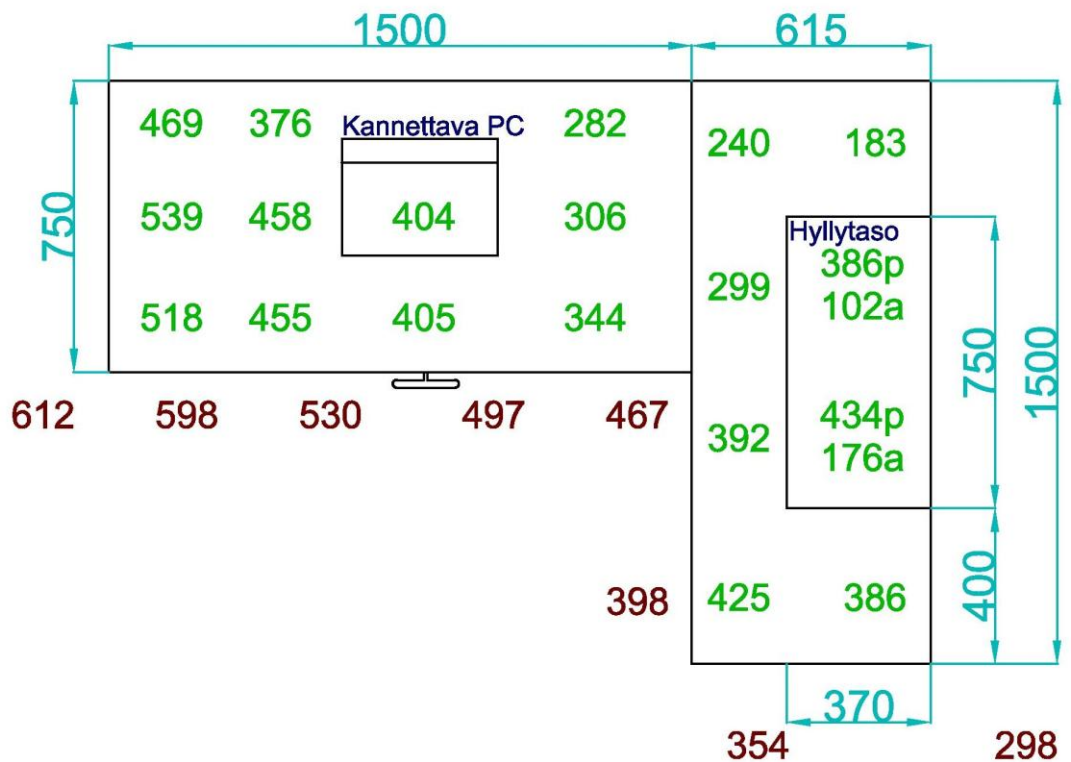


LIITE 2. Valaistusvoimakkuus työtasoilla 3 ja 4

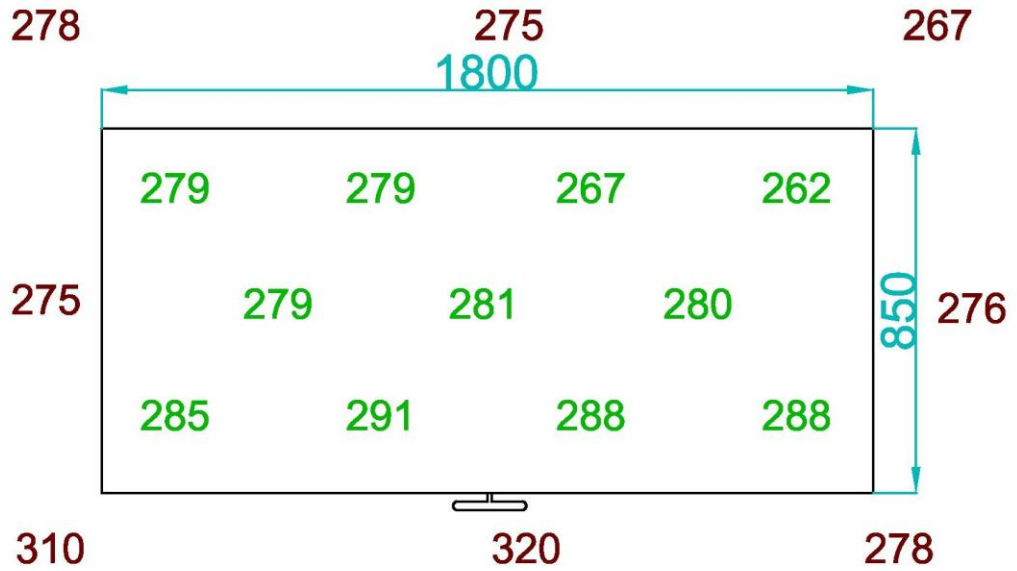
Työtaso 3.



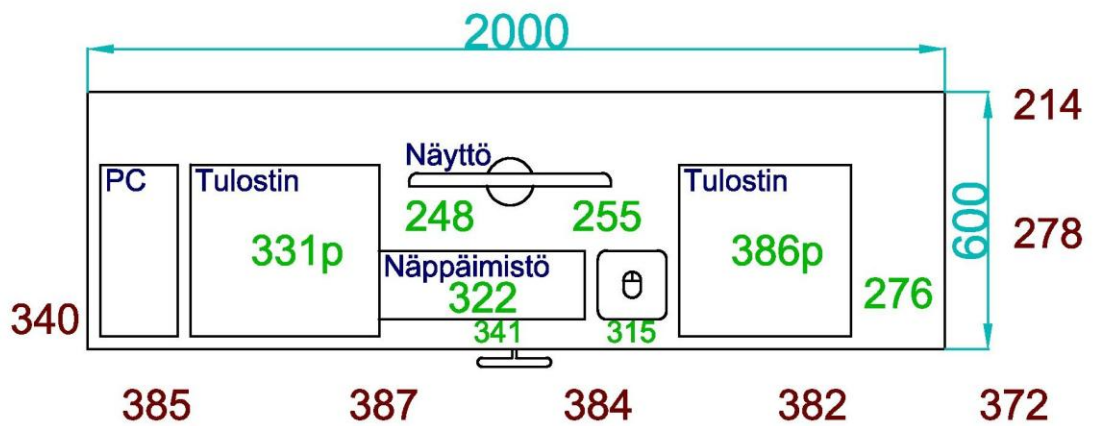
Työtaso 4.



Työtaso 5.

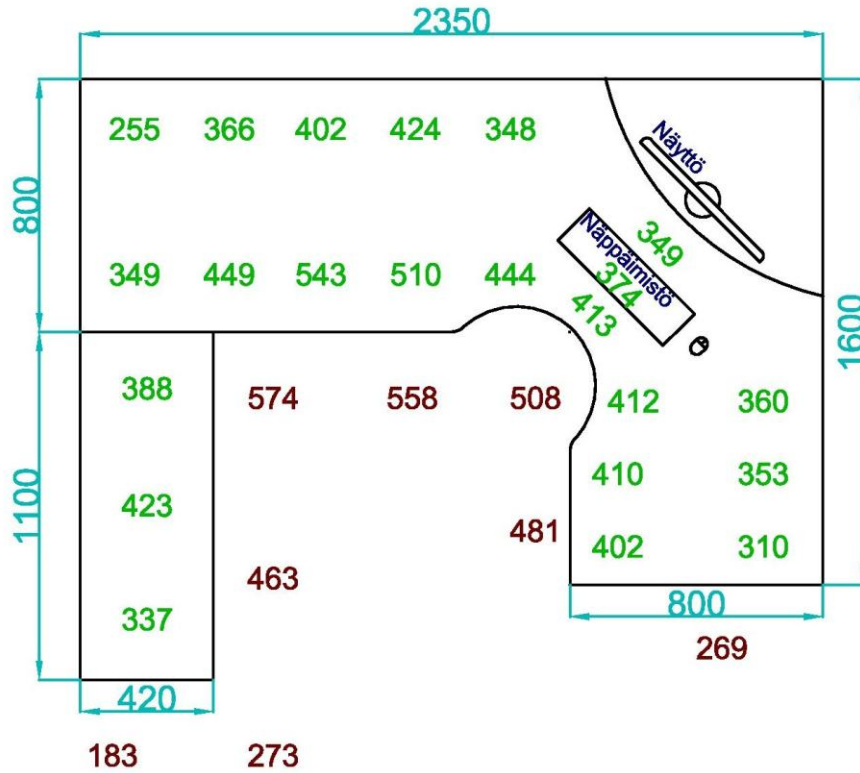


Työtaso 6.

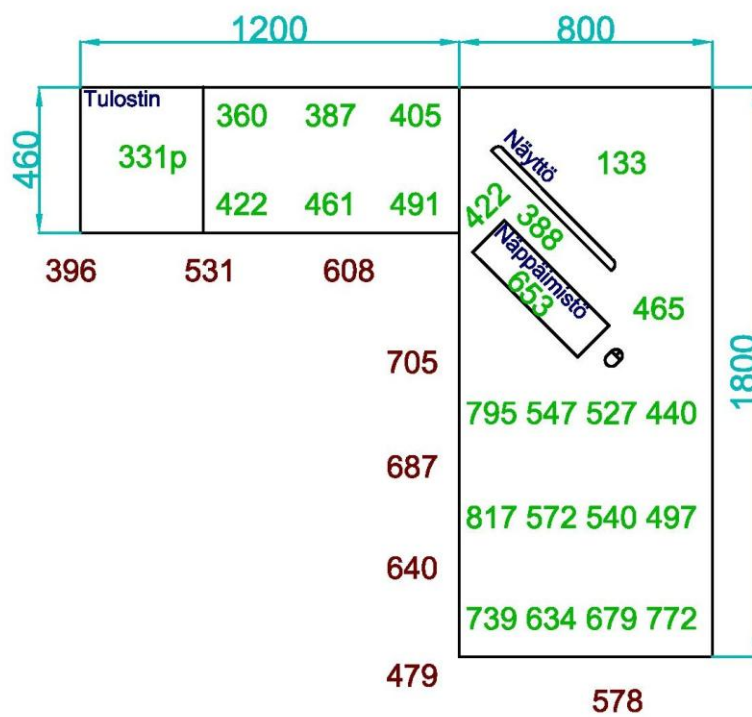


LIITE 4. Valaistusvoimakkuus työtasoilla 7 ja 8

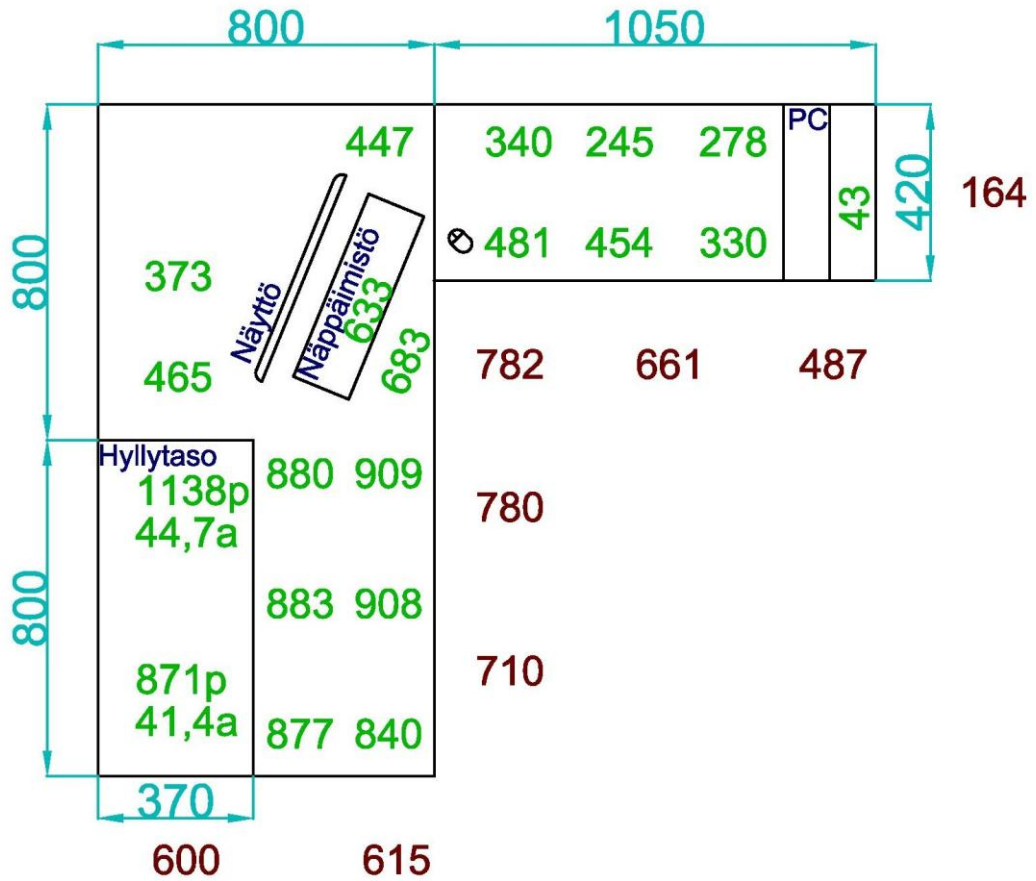
Työtaso 7.



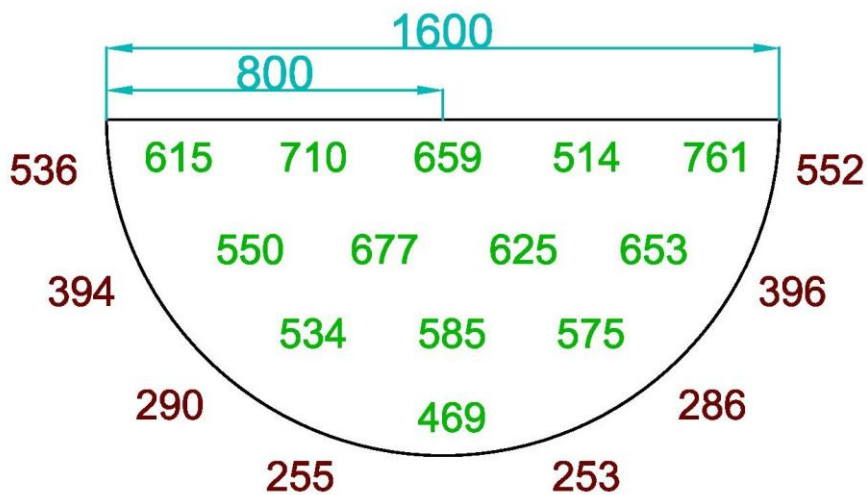
Työtaso 8.



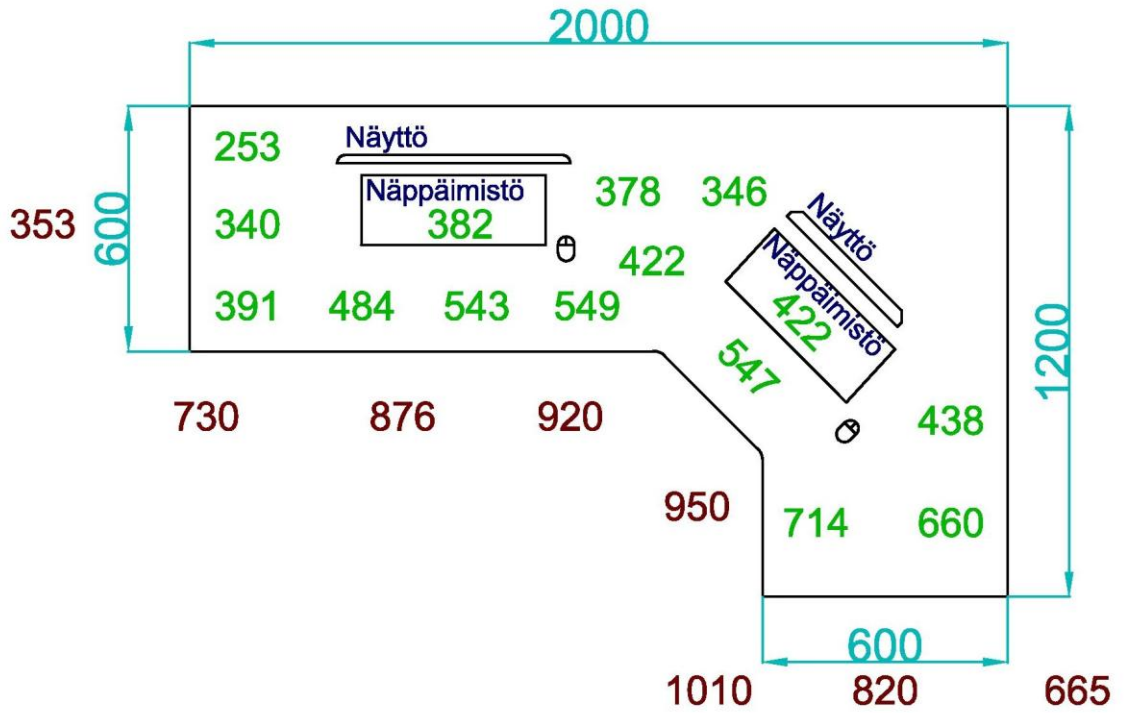
Työtaso 9.



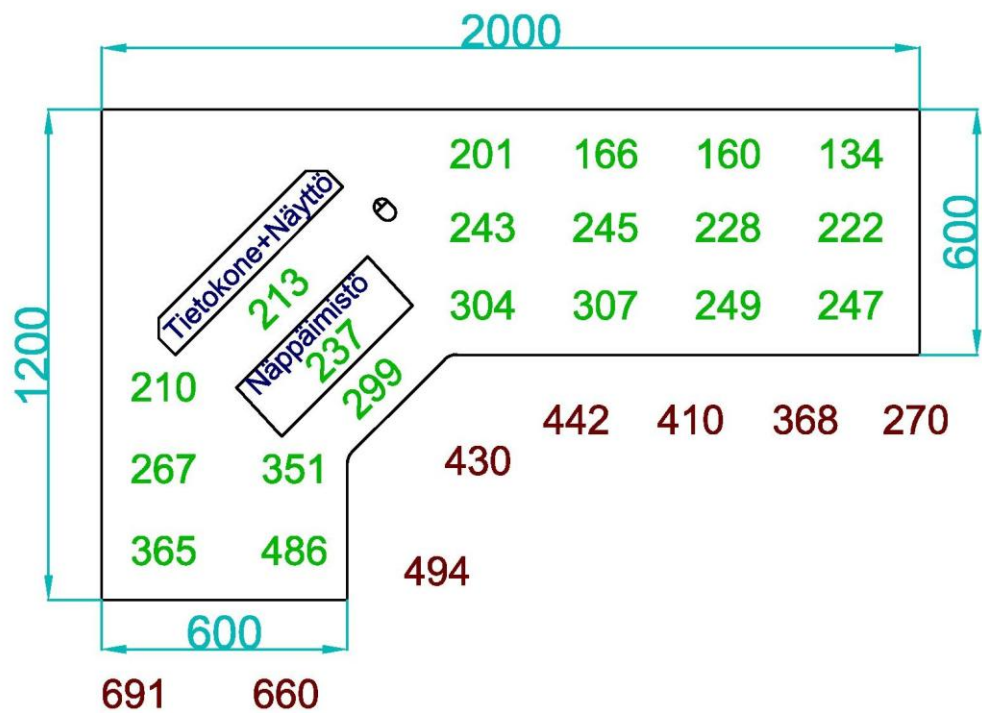
Työtaso 10.



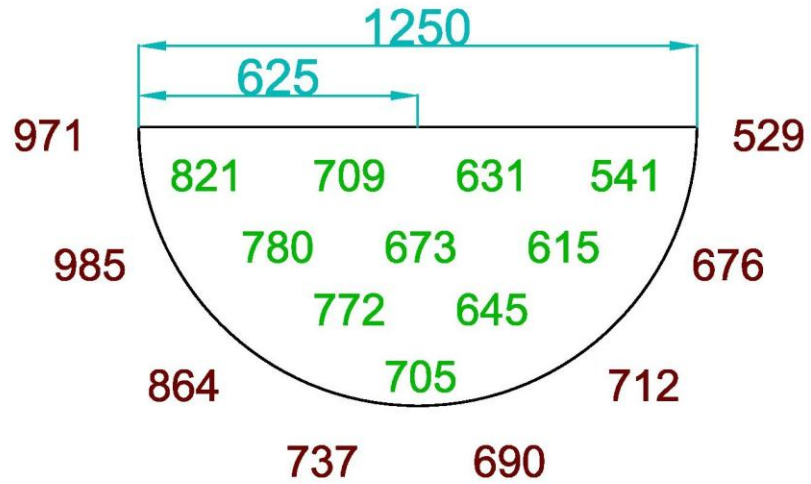
Työtaso 11.



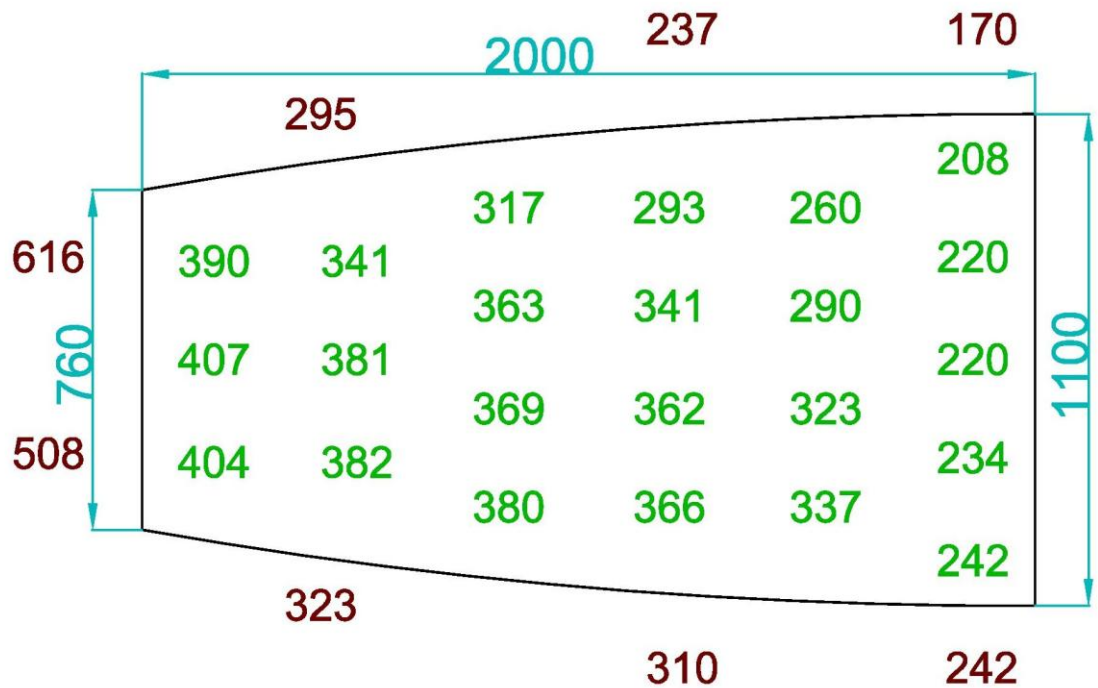
Työtaso 12.



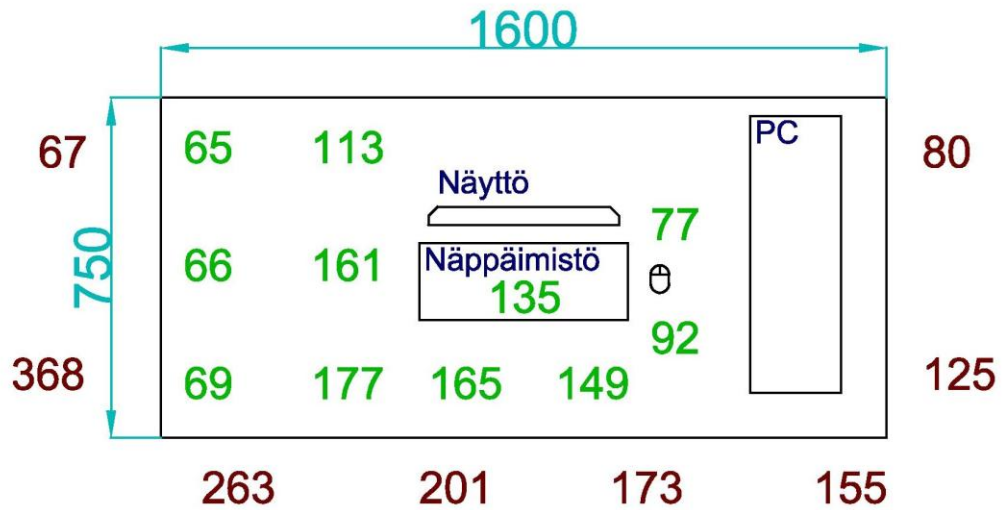
Työtaso 13.



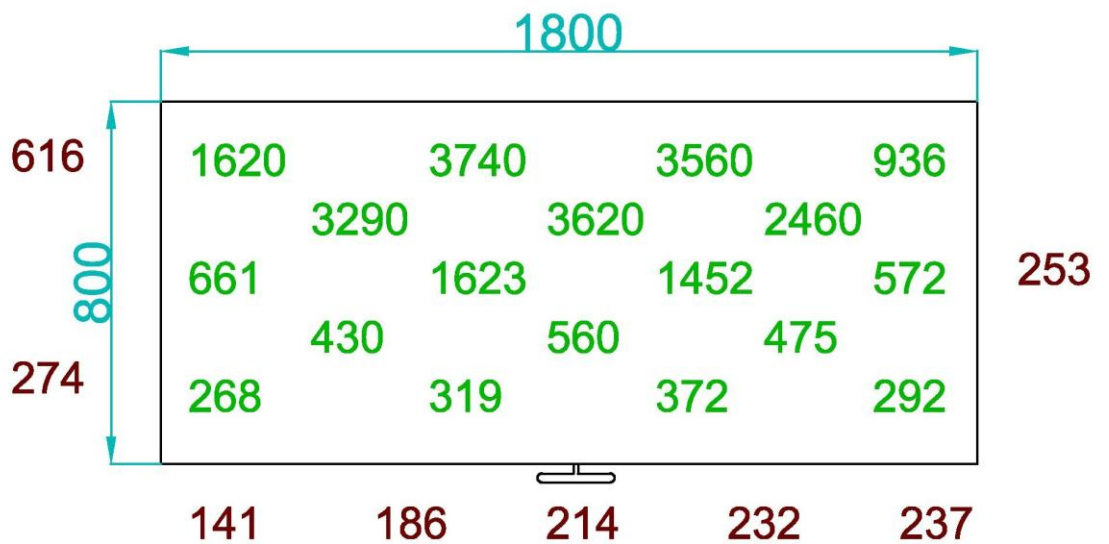
Työtaso 14.



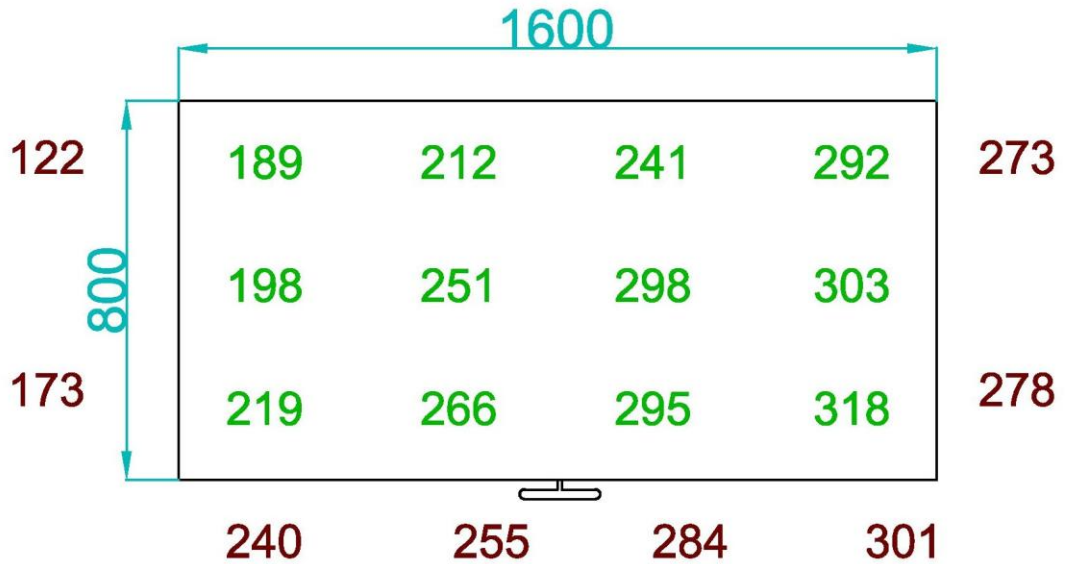
Työtaso 15.



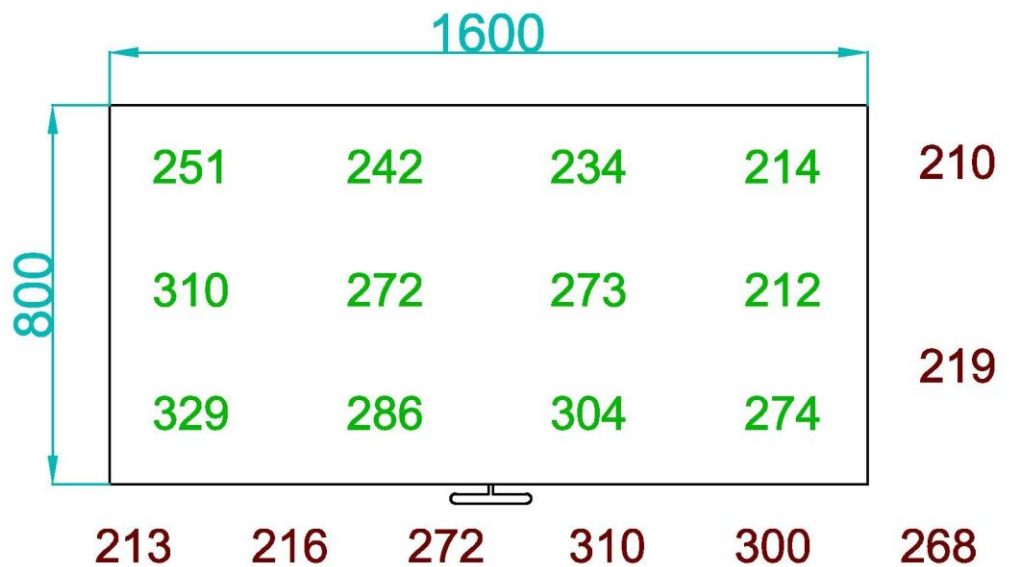
Työtaso 16.



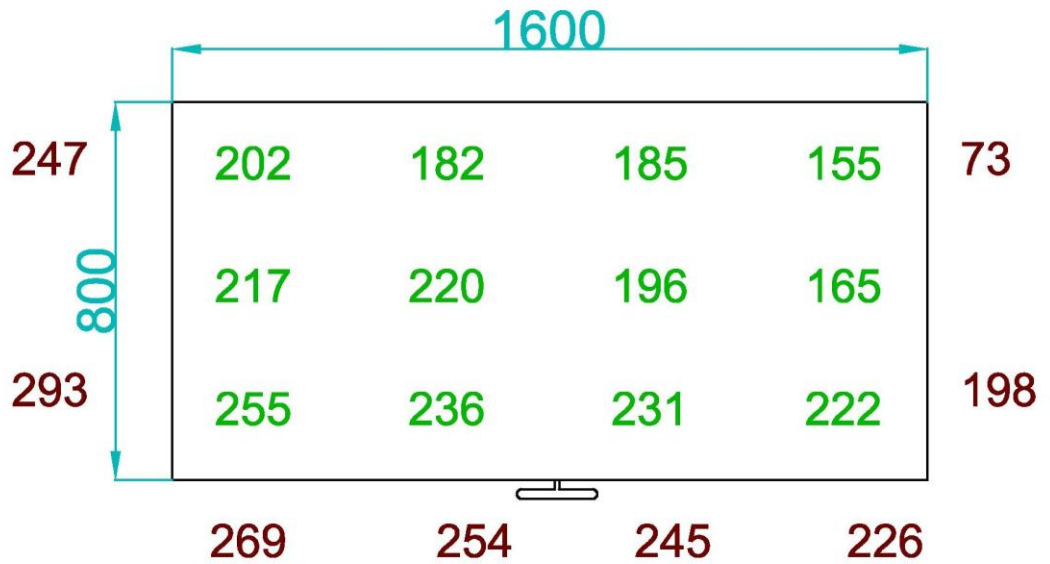
Työtaso 17.



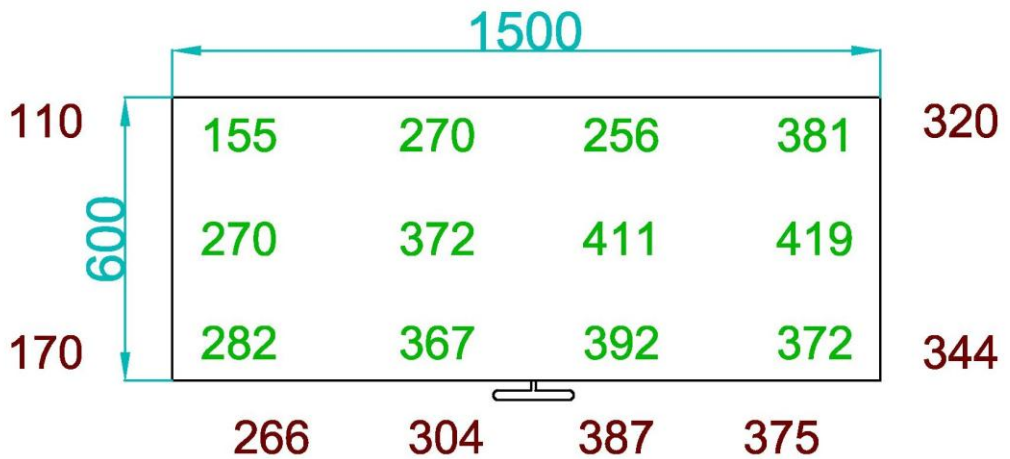
Työtaso 18.



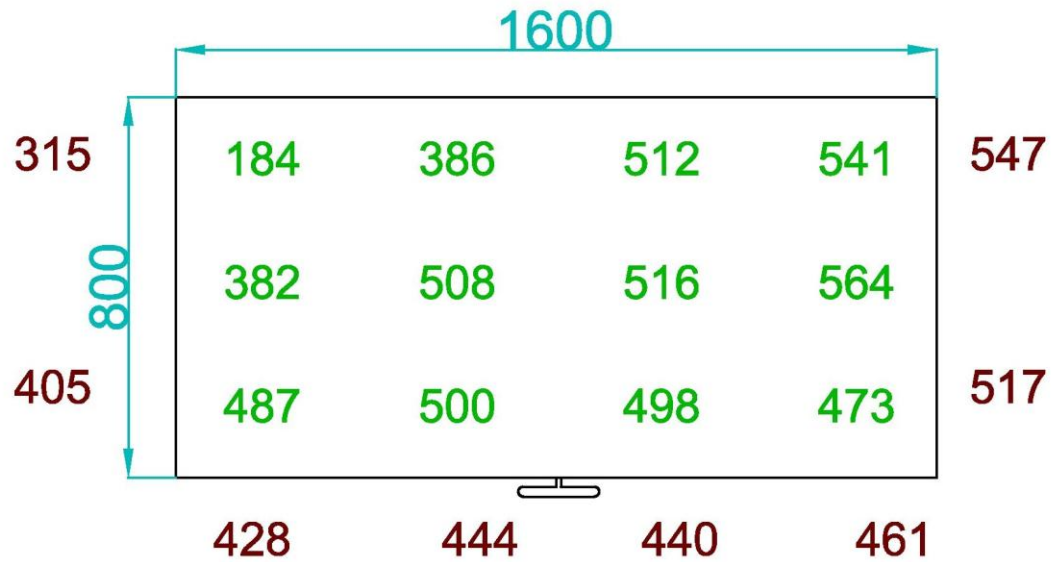
Työtaso 19.



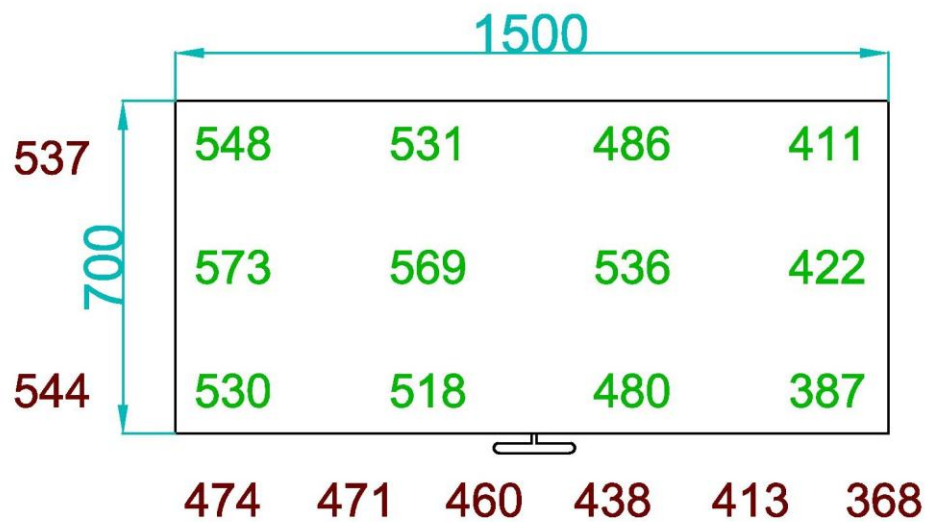
Työtaso 20.



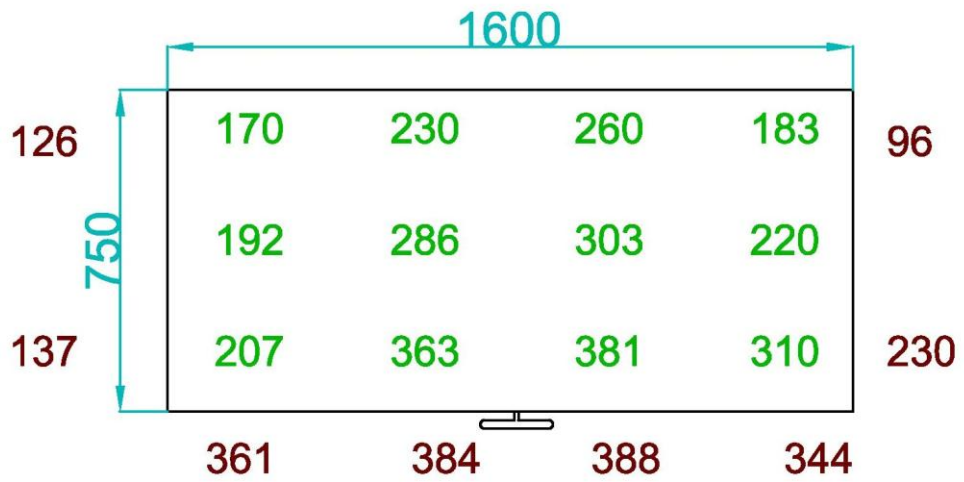
Työtaso 21.



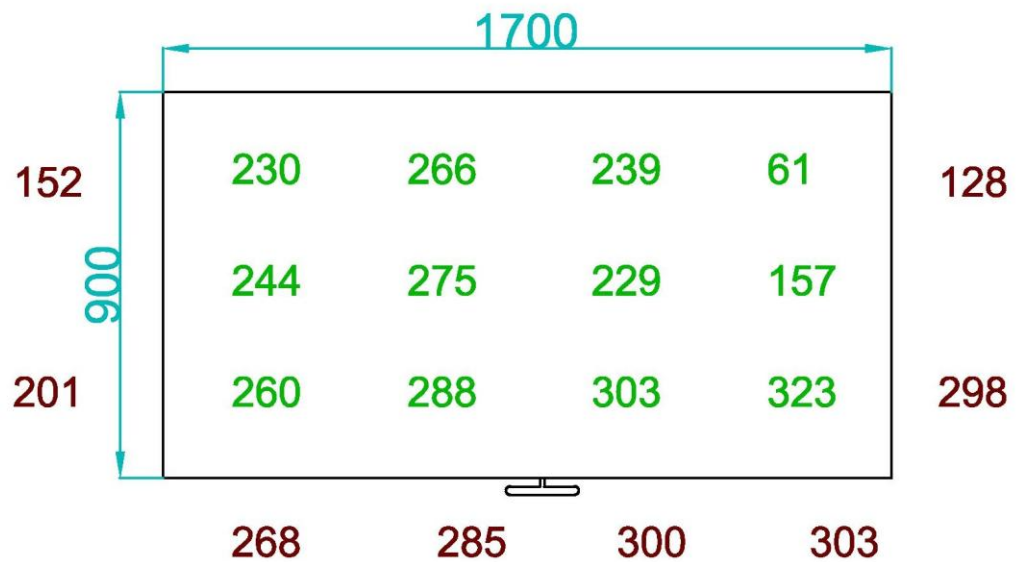
Työtaso 22.



Työtaso 23.



Työtaso 24.



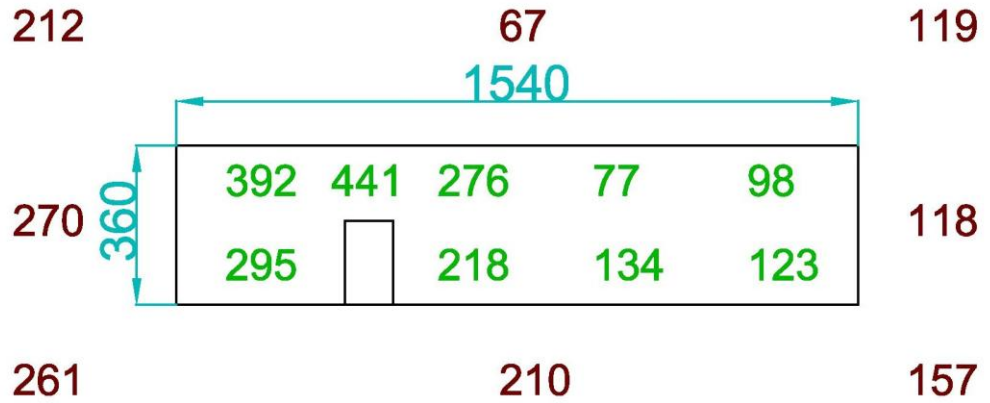
Työtaso 25.



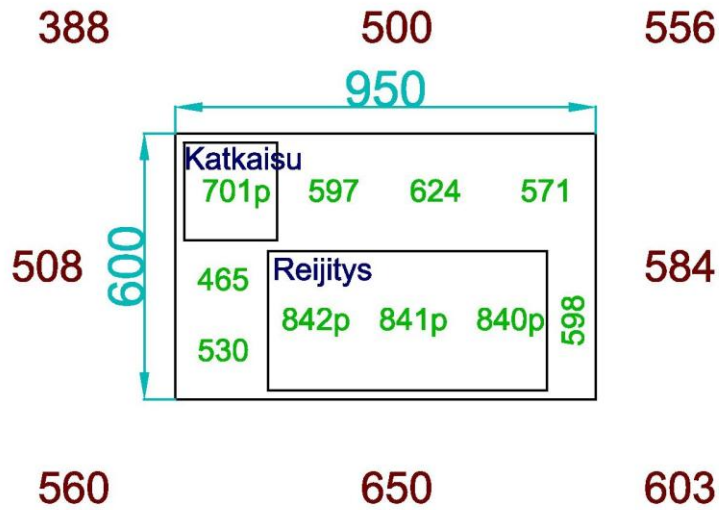
Työtaso 26.



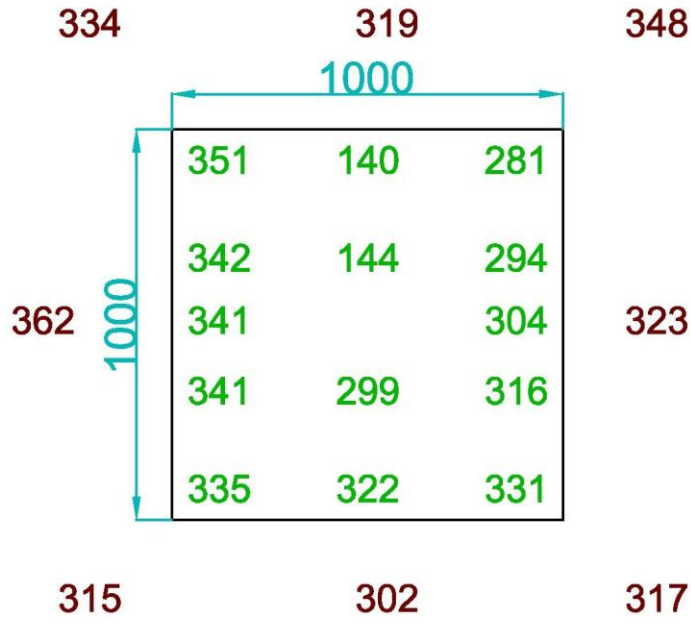
Työtaso 27.



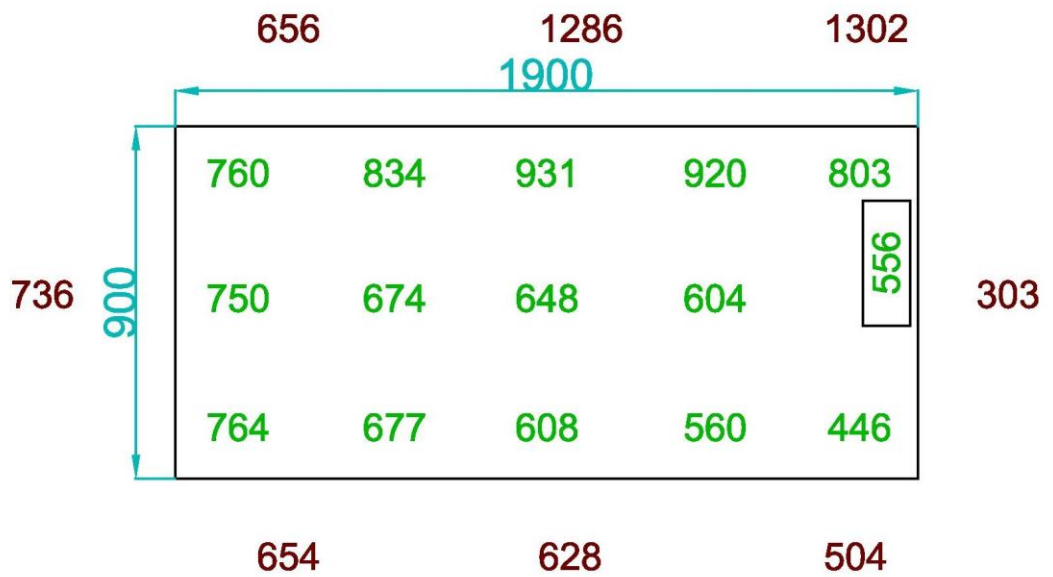
Työtaso 28.



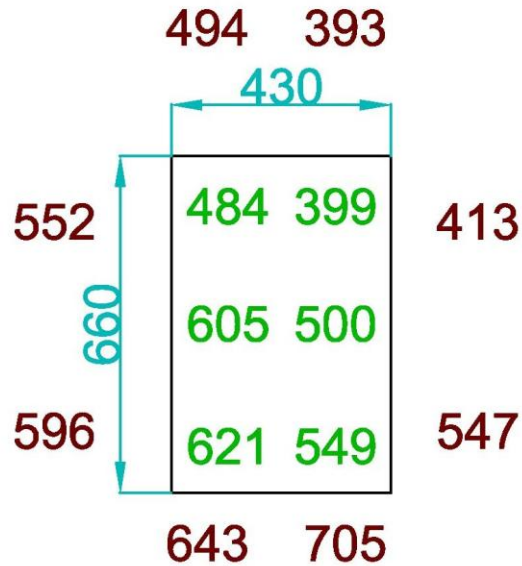
Työtaso 29.



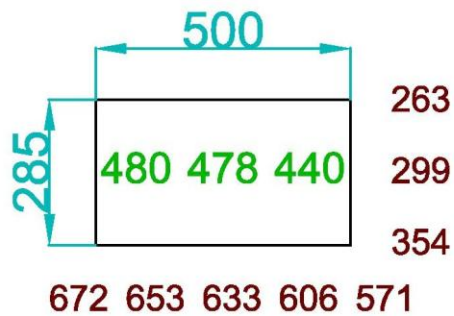
Työtaso 30.



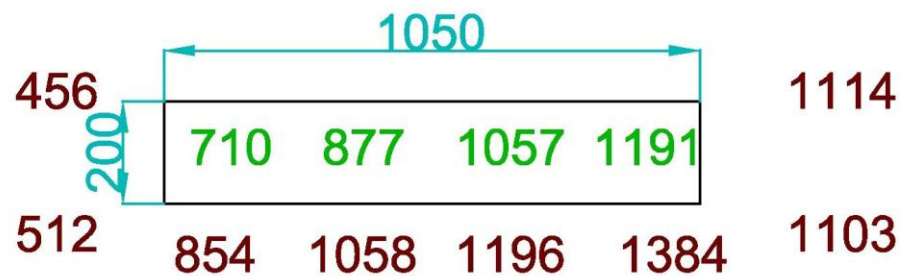
Työtaso 31.



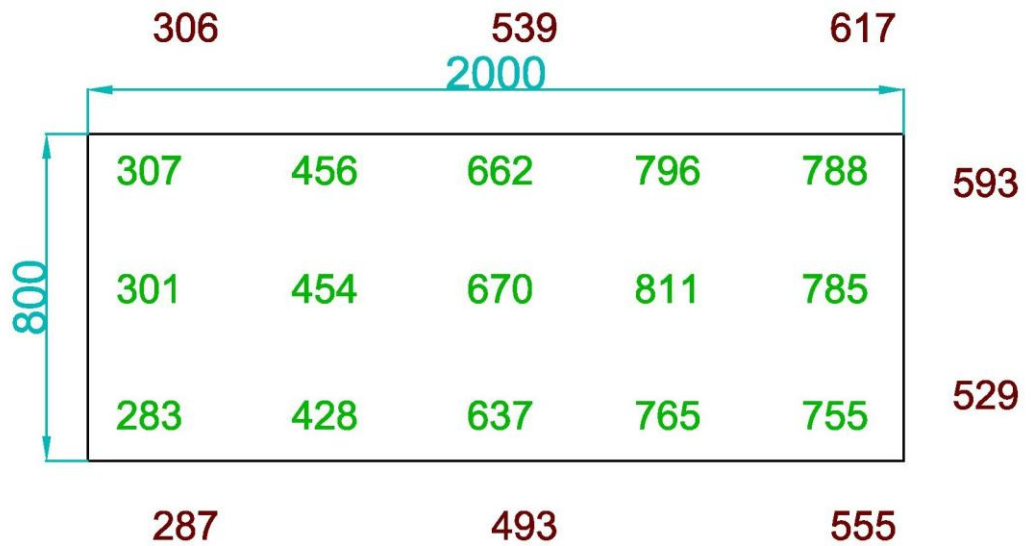
Työtaso 32.



Työtaso 33.



Taso 34.



Taso 35.

