

Antti Sorjonen

Pysäköintihallien valaistuksen energiatehokkuuden parannusmahdollisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
Päivämäärä 31.5.2012

Tekijä(t) Otsikko	Antti Sorjonen Pysäköintihallien valaistuksen energiatehokkuuden parannusmahdollisuudet
Sivumäärä Aika	18 sivua + 9 liitettä 31.5.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	rakennusten sähkö- ja tietotekniikka
Ohjaaja(t)	yliopettaja Torsti Viilo toimitusjohtaja Kristian Gummerus
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin mahdollisuuksia Fortumin Keilalammen konttorin pysäköintihallien P1 ja P2 valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseen. Tarkoituksena oli löytää ratkaisu, joka olisi helposti toteutettavissa ilman suuria asennuskustannuksia.</p> <p>Vaihtoehtoiksi rajautuivat parannuskeinot, joissa valaisimia ei tarvitse vaihtaa. Näitä vaihtoehtoja ovat valaistusvoimakkuuden vähentäminen sekä loisteputkilamppujen korvaaminen energiatehokkaammilla T5-lampuilla tai LED-valoputkilla. Vaihtoehtoja vertailtiin laskemalla niiden kustannuksia ja takaisinmaksuaikoja. Valaistusvoimakkuuksia vertailtiin DIALux-valaistuslaskentaohjelmalla.</p> <p>LED-valoputket eivät osoittautuneet järkeväksi vaihtoehdoksi, koska niiden hankintakustannukset nousevat liian suuriksi. Valaistusvoimakkuuden vähentäminen ei ole myöskään järkevä ratkaisu, koska valaistusvoimakkuus laskee liian paljon suhteessa kustannussäästöihin. Parhaaksi ratkaisuksi energiatehokkuuden parantamiseksi osoittautuivat adapterilla asennetut T5-lamput: 35 W, jos halutaan paljon säästöjä valaistusvoimakkuuden hieman lasiessa, tai 49 W, jos halutaan säilyttää nykyinen valaistusvoimakkuustaso, mutta ollaan valmiita tyytymään pienempiin säästöihin.</p>	
Avainsanat	T5-adapteri, LED-valoputki, pysäköintihalli

Author(s) Title Number of Pages Date	Antti Sorjonen Possibilities to improve the energy efficiency of lighting in certain parking garages 18 pages + 9 appendices 31 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building Services
Instructor(s)	Torsti Viilo, Principal Lecturer Kristian Gummerus, CEO
<p>The purpose of the final year project was to study the possibilities to improve the energy efficiency of lighting at certain parking garages. The goal was to find a solution which would be easy to implement without any significant installation costs. Because of this requirement the number of alternatives was limited to solutions which would not demand the changing of luminaries. The alternatives were either a reduction in the intensity of illumination or replacing existing lamps with more energy efficient T5 lamps or LED tubes.</p> <p>For the project, measurements were carried out at one of the parking garages. The results showed that reducing the intensity of illumination was not a good solution as the illuminance would drop significantly below the levels given by standards. The LED tubes on the other hand were the most expensive alternative because of their high purchasing costs.</p> <p>The best solution to improve the energy efficiency of the lighting at the parking garages is to replace the existing lamps with T5 lamps. 35 W T5 lamps save the energy costs, but cause the illuminance level to drop a little from the existing level. 49 W T5 lamps will maintain the current illuminance levels, but the savings in energy costs will be smaller than with the 35 W T5 lamps.</p>	
Keywords	T5 adapter, LED tube, ROI

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Valaistuksen energiatehokkuus	2
3	Pysäköintihallien nykyinen valaistus	2
3.1	Nykyisen valaistuksen ohjaus	2
3.2	DIALux-laskelma nykyiselle valaistukselle	3
3.3	Nykyisen valaistuksen energiankulutus	3
3.4	Nykyisen valaistuksen laskennallinen teho	5
3.5	Valaistuksen käyttöaika	5
3.6	LENI-arvo nykyiselle valaistukselle	6
3.7	Nykyisen valaistuksen kustannukset	6
4	Valaistuksen energiatehokkuuden parannusmahdollisuudet	8
4.1	Valaistusvoimakkuuden vähentäminen	8
4.1.1	DIALux-laskelma vähennetylle valaistusvoimakkuudelle	8
4.1.2	LENI-arvo vähennetylle valaistusvoimakkuudelle	8
4.1.3	Kustannukset vähennetylle valaistusvoimakkuudelle	9
4.1.4	Takaisinmaksuaika vähennetylle valaistusvoimakkuudelle	10
4.1.5	Vähennetyn valaistusvoimakkuuden vaikutukset	10
4.2	T5-lamput	11
4.2.1	DIALux-laskelma T5-lampuille	11
4.2.2	LENI-arvo T5-lampuille	11
4.2.3	T5-lamppujen kustannukset	12
4.2.4	Takaisinmaksuaika T5-lampuilla	13
4.2.5	T5-lamppujen vaikutukset	14
4.3	LED-valoputket	14
4.3.1	DIALux-laskelma LED-valoputkille	14
4.3.2	LENI-arvo LED-valoputkille	14
4.3.3	LED-valoputkien kustannukset	15
4.3.4	Takaisinmaksuaika LED-valoputkilla	16
4.3.5	LED-valoputkien vaikutukset	16
5	Yhteenveto	17
	Lähteet	18

Liitteet

Liite 1. Energiankulutusmittaus viikolla 17/2012

Liite 2. Valaistusvoimakkuus, arvokaavio P1 / vähennetty valaistusvoimakkuus

Liite 3. Valaistusvoimakkuus, arvokaavio P2 / vähennetty valaistusvoimakkuus

Liite 3. Valaistusvoimakkuus, arvokaavio P1 / T5-adapteri 35 W

Liite 3. Valaistusvoimakkuus, arvokaavio P2 / T5-adapteri 35 W

Liite 3. Valaistusvoimakkuus, arvokaavio P1 / T5-adapteri 49 W

Liite 3. Valaistusvoimakkuus, arvokaavio P2 / T5-adapteri 49 W

Liite 3. Valaistusvoimakkuus, arvokaavio P1 / LED-valoputki

Liite 9. Valaistusvoimakkuus, arvokaavio P2 / LED-valoputki

1 Johdanto

Insinööriyössäni olen tutkinut erilaisia mahdollisuuksia Fortumin Keilaniemen pääkonttorin lisäosan, Keilalammen, pysäköintihallien valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseen. Työn tilaajana toimii Eero Mäkinen Fortumin Corporate Real Estate (CRE) -yksiköstä. Ohjaajana toimii työnantajani EL-Systems Finland Oy:n toimitusjohtaja Kristian Gummerus.

Vuonna 1992 rakennetun Fortumin Keilaniemen pääkonttorin lisäosan pysäköintihallien valaistus on toteutettu vanhoilla T8-loisteputkellisilla valaisimilla. Tarkoituksena oli löytää helposti ja kustannustehokkaasti toteutettava parannusratkaisu valaistuksen energiatehokkuuteen. Vaihtoehtoiksi rajautuivat valaistusvoimakkuuden vähentäminen tai T8-loistelamppujen korvaaminen energiatehokkaammilla vaihtoehtoilla. Näitä vaihtoehtoja yhdistää se, että muutostyöt on nopeasti suoritettavissa ilman sähköasentajan tilaamista paikalle.

Tutkimusta varten suoritin valaistuksen energiankulutusmittauksen Keilalammen alemmassa pysäköintihallissa, P2:ssa.

2 Valaistuksen energiatehokkuus

Valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseen on lähes rajattomasti keinoja lamppujen vähentämisestä koko valaistuksen uusimiseen tai jopa rakennuksen rakenteellisiin muutoksiin päivänvalon lisäämiseksi. Esteeksi tulevat kuitenkin usein hankinta- ja muutostöiden kustannukset. Niinpä työssäni tutkitaan ja vertaillaan valaistuksen energiatehokkuuden parantamisvaihtoehtoja, joiden toteutuskustannukset eivät ole suuret, jotta investoinnin takaisinmaksuaika pysyy järkevissä rajoissa.

Suomen valoteknillinen seura ry on määritellyt energiansäätkriteerit. Näiden kriteerien mukaan valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat itse valaistusratkaisu – valonlähteet, valaisimet ja valaistuksen toteutustapa – sekä valaistuksen käyttö. [1]

3 Pysäköintihallien nykyinen valaistus

Keilalammen pysäköintihallien nykyinen valaistus on toteutettu loisteputkivalaisimilla. Valaisimien valmistaja ja malli on Idman 7300–158. Lamppuina valaisimissa käytetään 58W/840-loisteputkia. Ajoväylien reunoja pitkin kulkevat valaisimet ovat valaisinripustinkiskoasenteisia, joiden asennuskorkeus on pääasiassa 2,6 metriä. Muutamassa kohdassa, kuten hissikopin takapuolella, on valaisimet asennettu rakenteellisista syistä 2 metrin korkeudelle. Lisäksi joidenkin pysäköintiruutujen kohdalla on pinta-asennettuja valaisimia, joiden asennuskorkeus on 3 metriä. Pysäköintihallissa P1 on 136 valaisinta ja pysäköintihallissa P2 132 valaisinta, yhteensä 268 kappaletta. Valaistus on kaapeloitu MMJ 5x1,5S -asennuskaapelilla ja kytketty niin, että noin joka kolmas valaisin on kytketty samaan vaiheeseen.

3.1 Nykyisen valaistuksen ohjaus

Nykyistä valaistusta ohjataan Honeywell Excel -kiinteistöohjausjärjestelmästä. Noin 1/3:aa valaisimista ohjaa aina liiketunnistin. Arkisin aikaväleillä 7:30–10 ja 15–18:30, kun pysäköintihalleissa on eniten liikennettä, loput 2/3 valaisimista on ohjattu päälle.

3.2 DIALux-laskelma nykyiselle valaistukselle

58W/840 T8-loistelampulla valaistusvoimakkuus E_m on täydellä valaistuksella P1-pysäköintihallissa 106 luksia ja P2-pysäköintihallissa 94 luksia. Täysvalaistuksella ajoväylillä saavutetaan lähes joka kohdassa standardin SFS 12464-1 suositusarvo 100 luksia ajoväylille valaistusvoimakkuuden ollessa 90–150 luksia. Aktiiviajan ulkopuolella liiketunnistimien ohjaamalla 1/3:n valaistuksella valaistusvoimakkuus E_m on P1-pysäköintihallissa 28 luksia ja P2-pysäköintihallissa 26 luksia. Aktiiviaikojen ulkopuolella ei siis saavuteta standardin suositusta. [2]

3.3 Nykyisen valaistuksen energiankulutus

P2-pysäköintihallin valaistuksen energiankulutus mitattiin viikolla 17/2012. Mittaus suoritettiin Efergy E2 Classic 2.0 -sähkönkulutusmittarilla, joka mittaa kolmivaihevirtaa. Koska P2-pysäköintihallin valaistus on ryhmitelty kahden ryhmäkeskuksen taakse (RK 0.04 ja RK 0.05) mutta mittaus suoritettiin vain toisesta P2-pysäköintihallin ryhmäkeskuksesta (RK 0.04), ei mittauksen energiankulutuslukema vastaa koko pysäköintihallin valaistuksen energiankulutusta. Sen sijaan mittauksella saatiin valaistuksen käytön profiili sekä keskiarvokulutus, jonka avulla voidaan laskea koko pysäköintihallin valaistuksen energiankulutus. (Liite 1.)

Pysäköintihallissa suoritettiin pesu keskiviikkona 25.4. sekä torstaina 26.4., jolloin pesijät pitivät illalla valaistusta käsikäytöllä päällä. Valaistuksen käsikäyttö vääristää mittaustuloksia verrattuna normaaliin viikkoon. Tämän takia onkin tarpeellista korjata pesupäivien mittaustuloksia vastaamaan normaaleja päiviä. Korjatut arvot saadaan laskemalla normaalien arkipäivien (Ma, Ti ja Pe) energiankulutuksista keskiarvo X_W kaavalla 1.

$$X_W = \frac{W_{ma} + W_{ti} + W_{pe}}{3} \quad (1)$$

$$X_W = 14,57 \text{ kWh}$$

Taulukko 1. Valaistuksen energiankulutus viikolla 17 ryhmäkeskuksessa RK 0.04

	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	ka
$W_{RK\ 0.04}$ [kWh]	13,69	13,74	20,36	24,06	16,28	0,81	0,16	12,73
$W_{RK\ 0.04'}$ [kWh]	13,69	13,74	14,57*	14,57*	16,28	0,81	0,16	10,55

Taulukossa 1 on esitetty valaistuksen energiankulutus viikolla 17 ryhmäkeskuksessa RK 0.04. Ensimmäisellä rivillä on 52 valaisimen mitattu energiankulutus. Toisen rivin *-merkityt keskiviikon ja torstain arvot on laskettu normaalien arkipäivien (Ma, Ti ja Pe) keskiarvosta. Viimeisessä sarakkeessa on molemmille tuloksille laskettu koko viikon keskiarvo.

Valaistuksen käsikäytön aiheuttama arvioitu energiankulutuksen nousu saadaan vertailemalla mitattujen ja korjattujen tulosten keskiarvoja.

$$W_{\Delta} = 1 - \frac{W_{RK\ 0.04'}}{W_{RK\ 0.04}} * 100\%$$

$$W_{\Delta} = 1 - \frac{10,49\ kWh/d}{12,73\ kWh/d} * 100\%$$

$$W_{\Delta} = 17,149 \dots \%$$

Valaistuksen käsikäyttö nosti energian viikkokulutusta noin 17,1 %.

Viikon 17 valaistuksen korjattu energiankulutuksen keskiarvo $W_{RK\ 0.04'}$ RK 0.04 ryhmäkeskuksen ryhmissä 16 ja 17 oli 10,55 kWh vuorokaudessa. Ryhmäkeskuksen syöttäessä 52 valaisinta pysäköintihallin 132 valaisimesta saadaan koko P2-pysäköintihallin valaistuksen energiankulutus vuorokausikeskiarvo W_2 kaavalla 2.

$$\frac{Valaisimet_{RK\ 0\ 04}}{Valaisimet_{P2}} = \frac{W_{RK\ 0\ 04'}}{W_{P2}} \quad (2)$$

$$W_{P2} = 132 * \frac{10,55\ kWh}{52} = 26,77\ kWh$$

Molempien pysäköintihallien, sekä P1:n että P2:n, käyttäjäkunta koostuu pääasiassa Keilalammen puolen työntekijöistä. Voidaan siis olettaa, että valaistuksen käyttöajat ovat lähes samanlaiset. Tällöin P1-pysäköintihallin vuorokauden energiankulutuskeskiarvon arvio W_1 on

$$W_{P1} = 136 * \frac{10,55\ kWh}{52} = 27,58\ kWh$$

Yhteensä pysäköintihallien energiankulutuskeskiarvo W_{tot} on 54,35 kWh vuorokaudessa.

3.4 Nykyisen valaistuksen laskennallinen teho

Magneettinen kuristin aiheuttaa häviöitä. 58 W:n lampun todellinen energiankulutus on noin 70 wattia. [3]

Lasketaan valaistuksen teho P_{max} , kun valaisimien lukumäärä on 268 kappaletta:

$$P_{max} = 268 * 70\ W$$

$$P_{max} = 18760\ W$$

3.5 Valaistuksen käyttöaika

Valaistuksen keskimääräinen vuorokauden käyttöaika täydellä teholla vertailulaskelmia varten saadaan jakamalla valaistuksen energiankulutus valaistuksen teholla

$$t_d = \frac{W_{tot}}{P_{max}} \quad (3)$$

$$t_d = \frac{54,35 \text{ kWh}}{18,76 \text{ kW}}$$

$$t_d = 2,90 \text{ h} \approx 2 \text{ h } 54 \text{ min}$$

Valaistuksen käyttöaika vuodessa saadaan kertomalla vuorokauden käyttöaika vuoden vuorokausien lukumäärällä

$$t_a = 2,90 \text{ h} * 365 \text{ d} = 1057 \text{ h}$$

3.6 LENI-arvo nykyiselle valaistukselle

Rakennusten valaistuksen energiatehokkuutta tarkastellaan pinta-alaa kohden. Vertailua varten on kehitetty yksikkö, jonka nimi standardissa on LENI (Lighting Energy Numeric Indicator). LENI-arvo ottaa huomioon myös valaistuksen käyttöajat toisin kuin pelkkä valaistusteho pinta-alaa kohden [1]. Molempien hallien pinta-ala on 3 000 m².

LENI-arvo saadaan yhtälöstä 4.

$$LENI = \frac{W}{A}, \text{vuosi} \quad (4)$$

$$W = W_{tot} * 365 \text{ d}$$

$$LENI_{nyk} = \frac{(54,35 \text{ kWh}) * (365 \text{ d})}{3000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2}$$

$$LENI_{nyk} = 3,31 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}, \text{vuosi}$$

3.7 Nykyisen valaistuksen kustannukset

Kiinteistö sijaitsee Espoossa Fortumin oman sähkönjakeluverkon alueella. Lähes kaikki valaistuksen kuluttamasta sähköstä käytetään päivällä, joten laskelmissa voidaan

käyttää päiväsähkön hintaa, joka on Fortum Kesto -sähkösopimuksella 5,72 snt/kWh, sähkönsiirto 3,13 snt/kWh ja sähkövero 2,09469 snt/kWh (alv. 23 %). [4]

Nykyisen valaistuksen vuodessa kuluttama energia saadaan kaavalla 5.

$$W_a = W_{tot} * 365 d \quad (5)$$

$$W_a = 54,35 kWh * 365 d = 19838,11 kWh$$

Nykyisen valaistuksen vuotuiset käyttökustannukset saadaan kaavalla 6.

$$K_{sähkö} = W_a * (Sähkönhinta + Sähkönsiirto + Sähkövero) \quad (6)$$

$$K_{T8sähkö} = 19838,11 \frac{kWh}{a} * (0,0572 + 0,0313 + 0,0209469) \frac{€}{kWh}$$

$$K_{T8sähkö} = 2171,22 €$$

T8-lampun arvioidun käyttöiän ollessa 20 000 tuntia ja vuotuisen käyttöajan ollessa 1 057 tuntia, on lamppujen keskimääräinen vaihtoväli 18,9 vuotta. Liiketunnistimien ohjaamissa valaisimissa lampunvaihtoväli on lyhyempi kuin muilla lampuilla suuremman käyttöasteen ja sytytyskertojen määrän takia. [5]

Vuoden aikana vaihdettujen lamppujen kustannukset saadaan kaavalla 7. Lampun hinta on 7,11 € (alv. 23 %) Ahlsellin hinnastossa [6].

$$K_{T8lamput} = \frac{\text{Lamppujen hankinta}}{\text{Vaihtoväli}} \quad (7)$$

$$K_{T8lamput} = \frac{268 * 7,11 €}{18,9 a}$$

$$K_{T8lamput} = 100,74 €$$

Nykyisen valaistuksen vuotuiset kustannukset saadaan laskemalla yhteen valaistuksen käyttämä sähkö sekä lamppukustannukset.

$$K_{nyk} = K_{T8sähkö} + K_{T8lamput}$$

$$K_{nyk} = 2171,22 \text{ €} + 100,74 \text{ €} = 2271,96 \text{ €}$$

4 Valaistuksen energiatehokkuuden parannusmahdollisuudet

4.1 Valaistusvoimakkuuden vähentäminen

Toteutuksen kannalta edullisin vaihtoehto Keilalammen pysäköintihallien valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseksi on valaistusvoimakkuuden pienentäminen poistamalla osa pysäköintihallien valaisimista. Tämä vaihtoehto vaatisi valaistuksen ohjauksen tai jäljelle jäävien valaisimien kytkentöjen muuttamista valaisimien kytkentätavan vuoksi. Ilman ohjaus- tai kytkentämuutosta pysäköintihalleissa palaisi pysäköintihallin aktiiviajan ulkopuolella keskimäärin joka kuudes valaisin jos noin joka toinen valaisin poistetaan.

4.1.1 DIALux-laskelma vähennetylle valaistusvoimakkuudelle

Valaisimien määrän vähentämisellä P1-pysäköintihallissa 136:sta 70:een valaistusvoimakkuus E_m putoaa 55 luksiin ja P2-pysäköintihallissa vähentäminen 132:sta 71:een pudottaa valaistusvoimakkuutta E_m 50 luksiin. Ajoväylillä valaistusvoimakkuus on 30–100 luksia. Kummassakaan hallissa ei tällä vaihtoehdolla saavuteta SFS 12464-1 standardin 100 luksin suositusta ajoväylille. (Liitteet 2 ja 3.)

4.1.2 LENI-arvo vähennetylle valaistusvoimakkuudelle

LENI-arvo tälle vaihtoehdolle saadaan kaavalla 4.

$$LENI_{väh} = \frac{(28,60 \text{ kWh}) * (365 \text{ d})}{3000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2}$$

$$LENI_{väh} = 1,74 \frac{kWh}{m^2}, vuosi$$

$$1 - \frac{1,74}{3,31} * 100\% = 47,4 \%$$

LENI-arvo on 47,4 % pienempi kuin nykyisellä valaistuksella.

4.1.3 Kustannukset vähennetylle valaistusvoimakkuudelle

Kustannuksiin vaikuttavat valaistuksen energiankäyttö, vuosittaiset lamppukustannukset ja muutostöistä aiheutuvat asennuskustannukset. Valaisimien määrän vähentäminen laskee energian kulutusta suhteessa vähennettyjen valaisimien määrään.

$$W_{väh} = (70 + 71) * \frac{10,55 kWh/d}{52}$$

$$W_{väh} = 28,60 \frac{kWh}{d}$$

Valaistuksen vuodessa kuluttama energia

$$W_{aväh} = 28,60 kWh * 365 d = 10437,22 kWh$$

Valaistuksen vuotuiset käyttökustannukset

$$K_{väh\text{sähkö}} = 10437,32 \frac{kWh}{a} * (0,0572 + 0,0313 + 0,0209469) \frac{€}{kWh}$$

$$K_{väh\text{sähkö}} = 1142,32 €$$

Kuten luvussa 3.7 kerrottiin, T8-lampun vaihtoväli on 18,9 vuotta.

$$K_{vählamput} = \frac{141 * 7,11 \text{ €}}{18,9 \text{ a}}$$

$$K_{vählamput} = 53,00 \text{ €}$$

Muutostöiden kestoksi arvioidaan yksi päivä ja tuntiveloitukseksi 50 €/h

$$K_{vahas} = 8 \text{ h} * 50 \frac{\text{€}}{\text{h}} = 400 \text{ €}$$

4.1.4 Takaisinmaksuaika vähennetylle valaistusvoimakkuudelle

Takaisinmaksuaika vuosina saadaan kaavalla 8.

$$T_{takaisin} = \frac{\text{Investointikustannusten erotus}}{\text{Vuotuisen kulutuksen erotus}} \quad (8)$$

$$T_{takaisin_{väh}} = \frac{((400 + 53,00) - 100,74) \text{ €}}{(2171,22 - 1142,32) \frac{\text{€}}{\text{a}}} = 0,34 \text{ a}$$

Investointi maksaa itsensä takaisin hieman yli neljän kuukauden jälkeen.

4.1.5 Vähennetyn valaistusvoimakkuuden vaikutukset

Valaisimien vähennyksen jälkeen valaistusvoimakkuus putoaisi merkittävästi, eikä se ylittäisi enää 100 luksin suositusarvoon edes täydellä valaistuksella. Nykyinen valaistukseen ei yllä suositusarvoon pysäköintihallin aktiivikäyttöajan ulkopuolella palavalla 1/3-valaistuksella. Tästä syystä valaisimien vähentäminen nykyisestä ei ole hyvä vaihtoehto Keilalammen pysäköintihallien valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseen.

4.2 T5-lamput

Seuraavana vaihtoehtona on korvata nykyiset T8-kantaiset 58 W:n loistelamput energiatehokkaammilla T5-lampuilla. T5-lamppu asennetaan erillisen adapterin avulla. Elektronisen liitäntälaitteen sisältävä T5-adapteri asennetaan T8-lampun tilalle ja vanha sytytin poistetaan. Magneettisia kuristimia ei tarvitse poistaa. 58 W:n loisteputken tilalle voi asentaa joko 35 W -mallin tai 49 W -mallin T5-lampun.

4.2.1 DIALux-laskelma T5-lampuille

35 W:n T5-lamppujen valaistusvoimakkuus E_m ajoväylillä on noin 50–80 luksia, joten ne eivät saavuta 100 luksin suositusarvoa (liitteet 4 ja 5). 49 W:n T5-lampuilla saavutetaan suositusarvo lähes joka kohdassa valaistusvoimakkuuden vaihdeltaessa 70 luksin ja 125 luksin välillä (liitteet 6 ja 7).

4.2.2 LENI-arvo T5-lampuille

LENI-arvo 35 W:n T5-lampuilla on seuraava:

$$LENI_{35W} = \frac{(27,18 \text{ kWh}) * (365 \text{ d})}{3000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2}$$

$$LENI_{35W} = 1,65 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}, \text{ vuosi}$$

$$1 - \frac{1,65}{3,31} * 100\% = 50,0 \%$$

$LENI_{35W}$ on 50,0 % pienempi kuin nykyisellä valaistuksella.

LENI-arvo 49 W:n T5-lampuilla on seuraava:

$$LENI_{49W} = \frac{(38,05 \text{ kWh}) * (365 \text{ d})}{3000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2}$$

$$LENI_{49W} = 2,31 \frac{kWh}{m^2}, \text{ vuosi}$$

$$1 - \frac{2,31}{3,31} * 100 \% = 30,0 \%$$

LENI_{49W} on 30,0 % pienempi kuin nykyisellä valaistuksella.

4.2.3 T5-lamppujen kustannukset

Kustannuksiin vaikuttavat valaistuksen energiankäyttö, vuosittaiset lamppukustannukset, hankintakustannukset ja muutostöistä aiheutuvat asennuskustannukset.

Yhden T5-adapterin hankintahinta on 19,68 € (alv. 23 %). Hankintahinta sisältää T5-lampun. [7]

$$K_{hankintaT5} = 268 * 19,68 \text{ €}$$

$$K_{hankintaT5} = 5274,24 \text{ €}$$

Valaistuksen vuodessa kuluttama energia, kun käytetään 35 W:n lamppuja, on

$$W_{a35W} = 27,18 kWh * 365 d = 9919,06 kWh/a$$

Valaistuksen vuotuiset käyttökustannukset, kun käytetään 35 W:n lamppuja, ovat

$$K_{35Wsähkö} = 9919,06 \frac{kWh}{a} * (0,0572 + 0,0313 + 0,0209469) \frac{\text{€}}{kWh}$$

$$K_{35Wsähkö} = 1085,61 \text{ €}$$

Valaistuksen vuodessa kuluttama energia, kun käytetään 49 W:n lamppuja, on

$$W_{a49W} = 38,05 kWh * 365 d = 13886,68 kWh/a$$

Valaistuksen vuotuiset käyttökustannukset, kun käytetään 49 W:n lampuja, ovat

$$K_{49W\text{sähkö}} = 13886,68 \frac{kWh}{a} * (0,0572 + 0,0313 + 0,0209469) \frac{\text{€}}{kWh}$$

$$K_{49W\text{sähkö}} = 1519,85 \text{ €}$$

T5-lampun arvioidun käyttöiän ollessa 24 000 tuntia on vaihtoväli keskimäärin 22,7 vuotta. Molemmilla tehoversiolla on sama käyttöikä. [5]

35 W:n T5-lampun (SF4965043) hinta on 9,29 € (alv. 23 %) Ahlsellin hinnastossa [6].

$$K_{35W\text{lamput}} = \frac{268 * 9,29 \text{ €}}{22,7 a}$$

$$K_{35W\text{lamput}} = 109,66 \text{ €}$$

49 W:n T5-lampun (SF4965037) hinta on 9,53 € (alv. 23 %) Ahlsellin hinnastossa [6].

$$K_{49W\text{lamput}} = \frac{268 * 9,53 \text{ €}}{22,7 a}$$

$$K_{49W\text{lamput}} = 112,56 \text{ €}$$

Muutostöiden kestoksi arvioidaan molemmilla lamppuvaihtoehdoilla yksi päivä ja tuntiveloitukseksi 50 €/h

$$K_{T5as} = 8 h * 50 \frac{\text{€}}{h} = 400\text{€}$$

4.2.4 Takaisinmaksuaika T5-lampuilla

Takaisinmaksuaika vuosina saadaan kaavalla 8.

$$T_{\text{takaisin}35W} = \frac{((5274,24 + 400 + 109,66) - 100,74) \text{ €}}{(2171,22 - 1085,61) \frac{\text{€}}{a}} = 5,2 a$$

$$T_{\text{takaisin}49W} = \frac{((5274,24 + 400 + 112,56) - 100,74) \text{ €}}{(2171,22 - 1519,85) \frac{\text{€}}{a}} = 8,7 a$$

Investointi maksaisi itsensä takaisin joko 5,2 (35 W) tai 8,7 (49 W) vuodessa.

4.2.5 T5-lamppujen vaikutukset

49 W:n T5-lampuilla saavutetaan suositusarvojen mukainen valaistusvoimakkuus takaisinmaksuajan ollessa 8,7 vuotta. 35 W:n T5-lampuilla takaisinmaksuaika on lyhyempi, 5,2 vuotta, mutta niillä ei saavuteta standardin mukaista valaistusvoimakkuuden suositusta.

4.3 LED-valoputket

Yhtenä vaihtoehtona energiatehokkuuden parantamiseen on LED-valoputkien käyttö. LED-valoputkia on saatavissa monilta eri valmistajilta. Ne ovat samankokoisia kuin T8-lamput ja ne asennetaan vanhoihin lampunkannattimiin. LED-valoputket on toteutettu usealla erillisellä LED-diodilla ja niissä on sisäänrakennettu elektroniikka.

4.3.1 DIALux-laskelma LED-valoputkille

LED-valoputkia käytettäessä valaistusvoimakkuus E_m on ajoväylillä noin 35–60 luksia (liitteet 8 ja 9). Tämä valaistusvoimakkuus on selvästi alle suositusarvon.

4.3.2 LENI-arvo LED-valoputkille

LENI-arvo tälle vaihtoehdolle saadaan kaavalla 4.

$$LENI_{LED} = \frac{(19,41 \text{ kWh}) * (365 \text{ d})}{3000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2}$$

$$LENI_{LED} = 1,18 \frac{kWh}{m^2}, vuosi$$

$$1 - \frac{1,18}{3,31} * 100 \% = 64,3 \%$$

$LENI_{LED}$ on 64,3 % pienempi kuin nykyisellä valaistuksella.

4.3.3 LED-valoputkien kustannukset

Kustannukset koostuvat valaistuksen energiankäytöstä, vuosittaisista lamppukustannuksista, hankintakustannuksista sekä muutostöistä aiheutuvista asennuskustannuksista.

Philips LEDtube GA 25W/840 LED-valoputken hinta Lamppuexpress.com verkkokaupassa on 83,63 € (alv. 23 %). Hinta ei sisällä rahtia. [8]

$$K_{hankintaLED} = 268 * 83,63 \text{ €}$$

$$K_{hankintaLED} = 22412,22 \text{ €}$$

Valaistuksen vuodessa kuluttama energia on

$$W_{aLED} = 19,41 kWh * 365 d = 7085,04 kWh/a$$

Valaistuksen vuotuiset käyttökustannukset ovat

$$K_{LEDsähkö} = 7085,04 \frac{kWh}{a} * (0,0572 + 0,0313 + 0,0209469) \frac{\text{€}}{kWh}$$

$$K_{LEDsähkö} = 775,44 \text{ €}$$

LED-valoputken arvioidun käyttöiän ollessa 40 000 tuntia on vaihtoväli keskimäärin 37,8 vuotta. [9]

Vuotuiset lamppukustannukset ovat

$$K_{LEDlamput} = \frac{268 * 83,63 \text{ €}}{37,8 a}$$

$$K_{LEDlamput} = 592,51 \text{ €}$$

Muutostöiden kestoksi arvioidaan yksi päivä ja tuntiveloitukseksi 50 €/h

$$K_{LEDas} = 8 h * 50 \frac{\text{€}}{h} = 400\text{€}$$

4.3.4 Takaisinmaksuaika LED-valoputkilla

Takaisinmaksuaika LED-valoputkille saadaan kaavalla 8.

$$T_{takaisinLED} = \frac{((22412,22 + 400 + 592,51) - 100,74) \text{ €}}{(2171,22 - 775,44) \frac{\text{€}}{a}} = 16,7 a$$

4.3.5 LED-valoputkien vaikutukset

LED-valoputkia käytettäessä säästetään energiaa huomattavasti, mutta hankintahinta kasvattaa takaisinmaksuajan huomattavasti muita vaihtoehtoja pidemmäksi. Lisäksi valaistusvoimakkuus ei yllä standardin suosittamalle tasolle.

5 Yhteenveto

Fortumin Keilaniemen lisäosan, Keilalammen, pysäköintihallien valaistuksen energiatehokkuutta parannettaessa on vaikea saada valaistusvoimakkuus pysymään nykyisellä tasolla ilman valaisimien täydellistä vaihtoa. Vertailtaessa vaihtoehtoina valaisimien vähentämistä, T5-lamppuja ja LED-valoputkia ainoastaan 49 W:n T5-lamppu yltää valaistusvoimakkuudessa samaan kuin nykyinen valaistus. Toisaalta nykyiselläänkin valaistus on aktiivijalan ulkopuolella, eli suurimman osan ajasta, suositusarvojen alapuolella. Valaistusvoimakkuudesta tinkimällä on mahdollista saada säästöjä lyhyemmällä takaisinmaksuajalla.

Taulukossa 2 on vertailuvaihtoehtojen kustannuksia ja takaisinmaksuaikoja. LED-valoputkien huomattavan suuret hankinta- ja lamppukustannukset luultavasti pienenisivät eri toimittajien tarjouksia vertailemalla. Vuotuiset lamppukustannukset olisivat myös aluksi pienemmät kuin laskelmissa esitetyt, koska laskettu hinta on keskiarvo koko käyttöiälle.

Taulukko 2. Yhteenveto kustannuksista ja takaisinmaksuajoista

	Nykyinen valaistus	Valaistusvoimakkuuden vähennys	T5-adapteri 35 W:n lampulla	T5-adapteri 49 W:n lampulla	LED-valoputki
Kustannukset, sähkö, €/a	2171,22	1142,32	1085,61	1519,85	775,44
Muut kulut, €/a	100,74	53,00	109,66	112,56	592,51
Hankinta, €		400,00	5274,24	5274,24	22412,22
Takaisinmaksuaika		4 kk	5,2 v	8,7 v	16,7 v

Lopullisiksi toteutuskelpoisiksi vaihtoehtoisiksi rajautuvat T5-adapterilla toteutetut ratkaisut. 35 W:n lampulla säästetään enemmän sähkökustannuksissa ja takaisinmaksuaika on lyhyempi, mutta niitä käytettäessä joudutaan tinkimään valaistusvoimakkuudesta. 49 W:n T5-lamppuja käytettäessä ei tarvitse tinkiä valaistusvoimakkuudesta, mutta säästöt eivät ole niin suuret ja takaisinmaksuaika on pidempi.

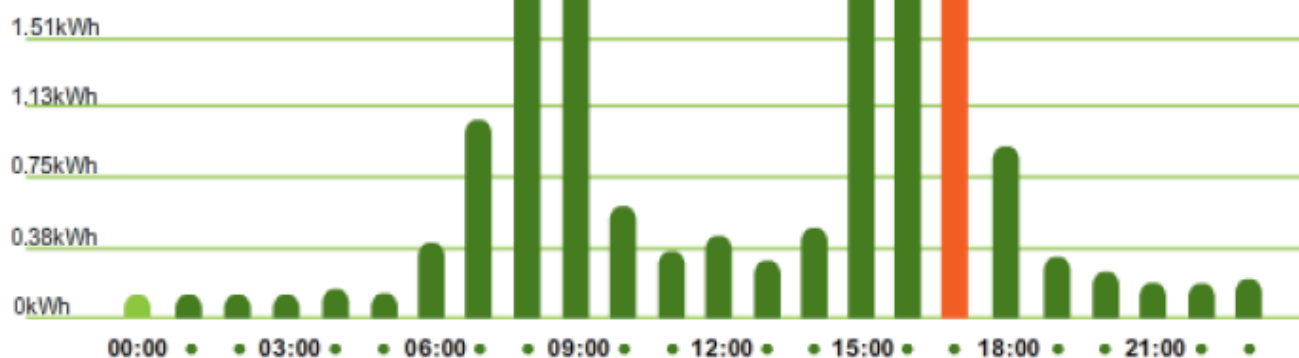
Lähteet

- 1 Valaistushankintojen energiatehokkuus. 2008. Suomen valoteknillinen seura ry.
- 2 SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. 2011. Suomen standardoimisliitto.
- 3 Guide for the application of Directive 2000/55/EC on energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting Issue 3.1. 2007. CELMA
- 4 Fortum Hinnasto. 2012. Verkkoaineisto. Fortum Oy. <<https://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/hinnastot/pages/default.aspx>>. Luettu 11.5.2012.
- 5 Radium Fluorescent Lamps. Verkkoaineisto. Radium Lampenwerk GmbH. <<http://www.radium.de/en/products-catalogue/6915>>. Luettu 11.5.2012.
- 6 Ahlsell Sähköhinnasto. 1.5.2012. Ahlsell Oy.
- 7 T5-saneerausvalaisin. Verkkoaineisto. Energosave Oy. <www.energosome.com/t5-saneerausvalaisin>. Luettu 9.5.2012.
- 8 Philips Master LEDtube GA. 2012. Verkkoaineisto. Any Lamp BV. <<http://www.lamppuexpress.com/philips-master-ledtube-ga>>. Luettu 11.5.2012.
- 9 Master LEDtube GA. 2012. Verkkoaineisto. Koninklijke Philips Electronics N.V. <http://download.p4c.philips.com/l4bt/3/334467/master_ledtube_ga_334467_ffs_fin.pdf>. Luettu 11.5.2012.

Consumption on 23/04/2012

kWh 13.69
Cost (€) 1.37
CO₂ (kg) 13.69

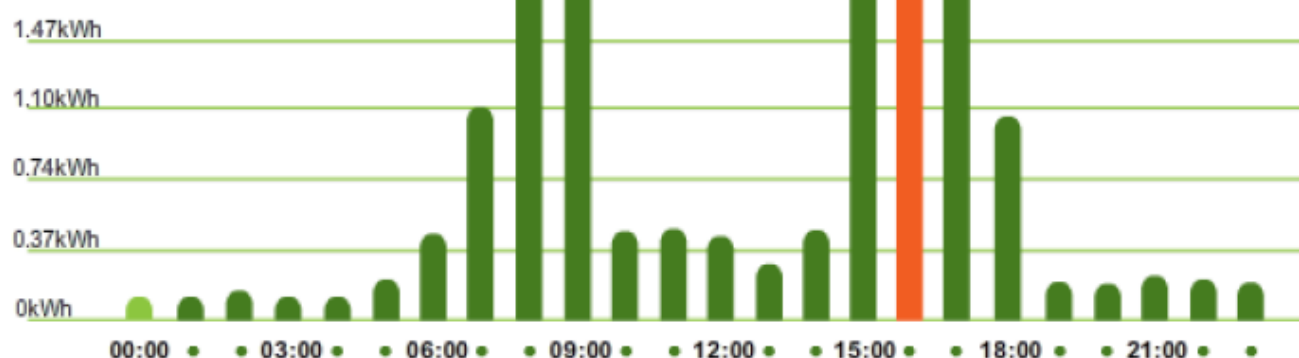
Electricity(kWh): 23/04/2012



Consumption on 24/04/2012

kWh 13.74
Cost (€) 1.37
CO₂ (kg) 13.74

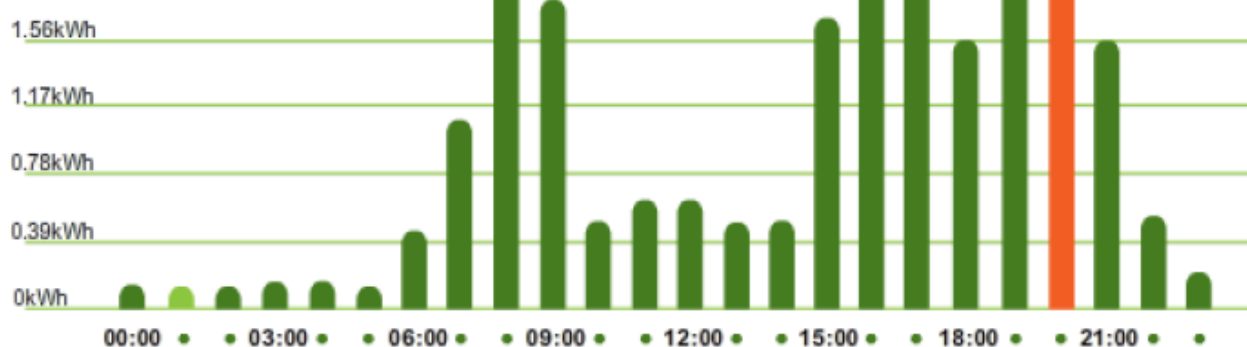
Electricity(kWh): 24/04/2012



Consumption on 25/04/2012

kWh 20.36
Cost (€) 2.04
CO₂ (kg) 20.36

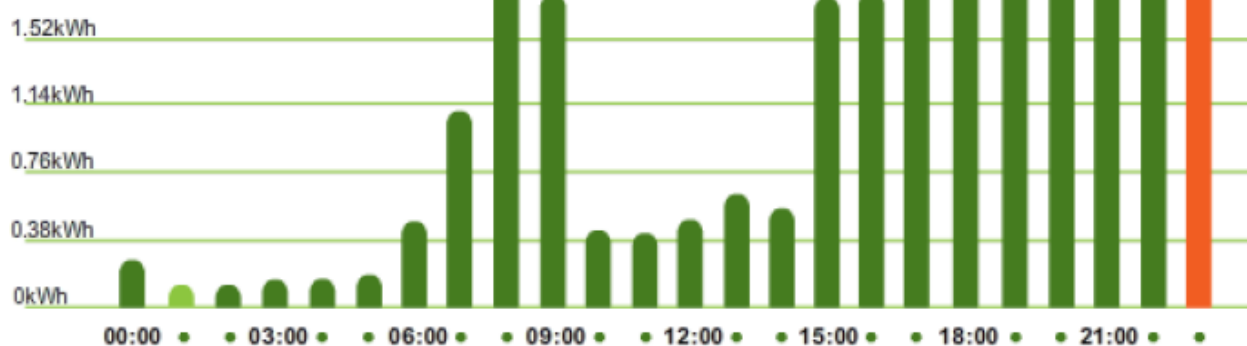
Electricity(kWh): 25/04/2012



Consumption on 26/04/2012

kWh 24.06
Cost (€) 2.41
CO₂ (kg) 24.06

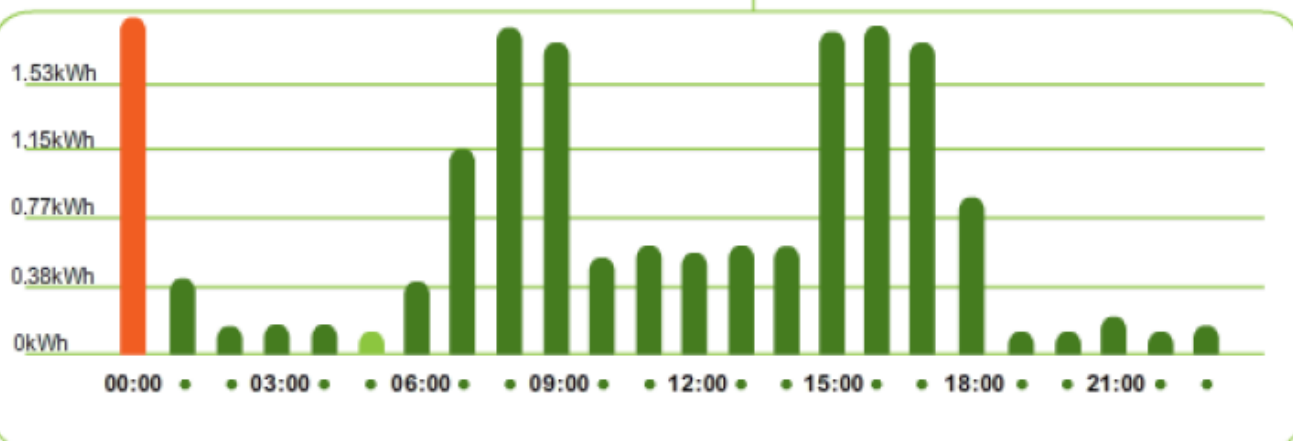
Electricity(kWh): 26/04/2012



Consumption on **27/04/2012**

kWh **16.28**
Cost (€) **1.63**
CO₂ (kg) **16.28**

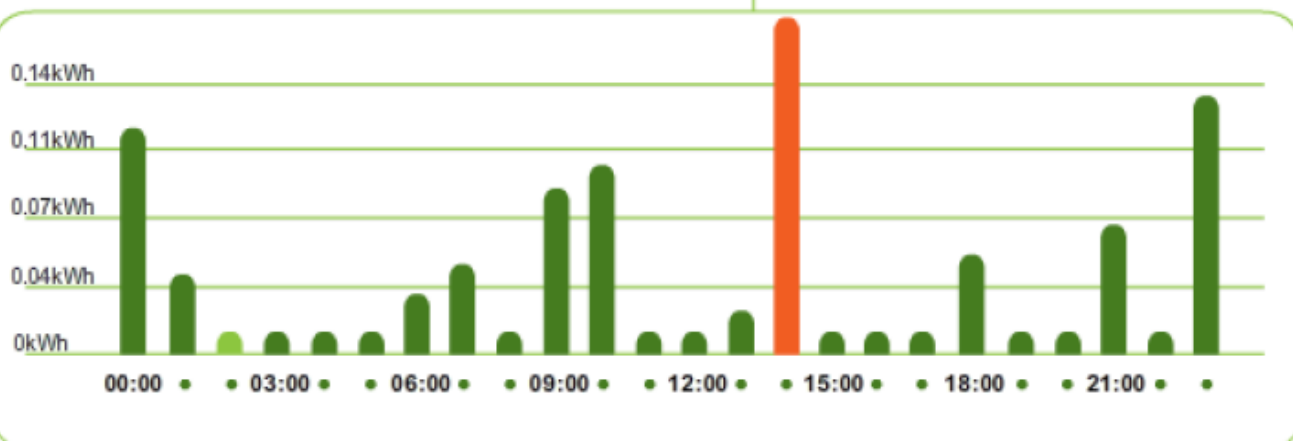
Electricity(kWh): 27/04/2012



Consumption on **28/04/2012**

kWh **0.81**
Cost (€) **0.08**
CO₂ (kg) **0.81**

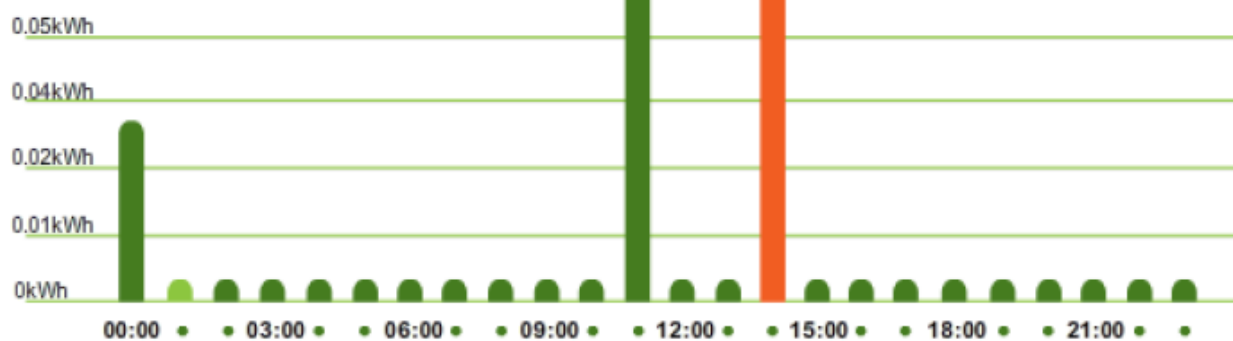
Electricity(kWh): 28/04/2012



Consumption on **29/04/2012**

kWh **0.16**
Cost (€) **0.02**
CO₂ (kg) **0.16**

Electricity(kWh): 29/04/2012



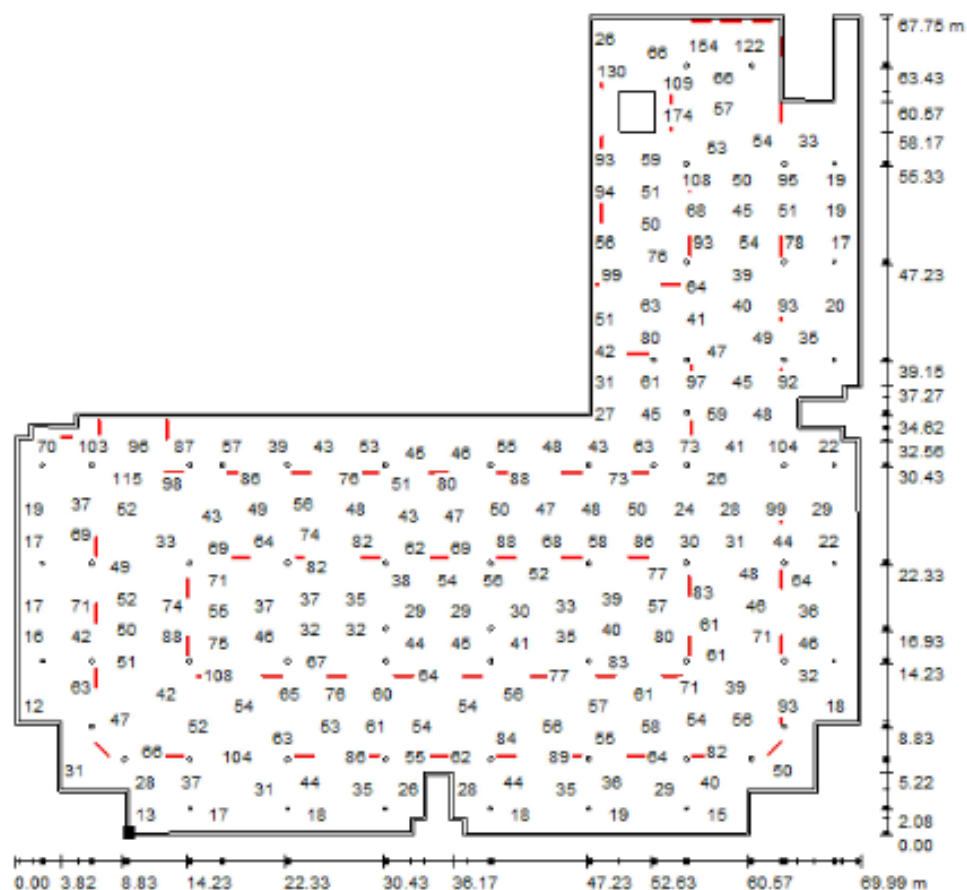
P1

DIALux

12.05.2012

Tekijä Antti Sorjonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

P1 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 530

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(24.650 m, 6.061 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
55	1.83	202	0.033	0.009

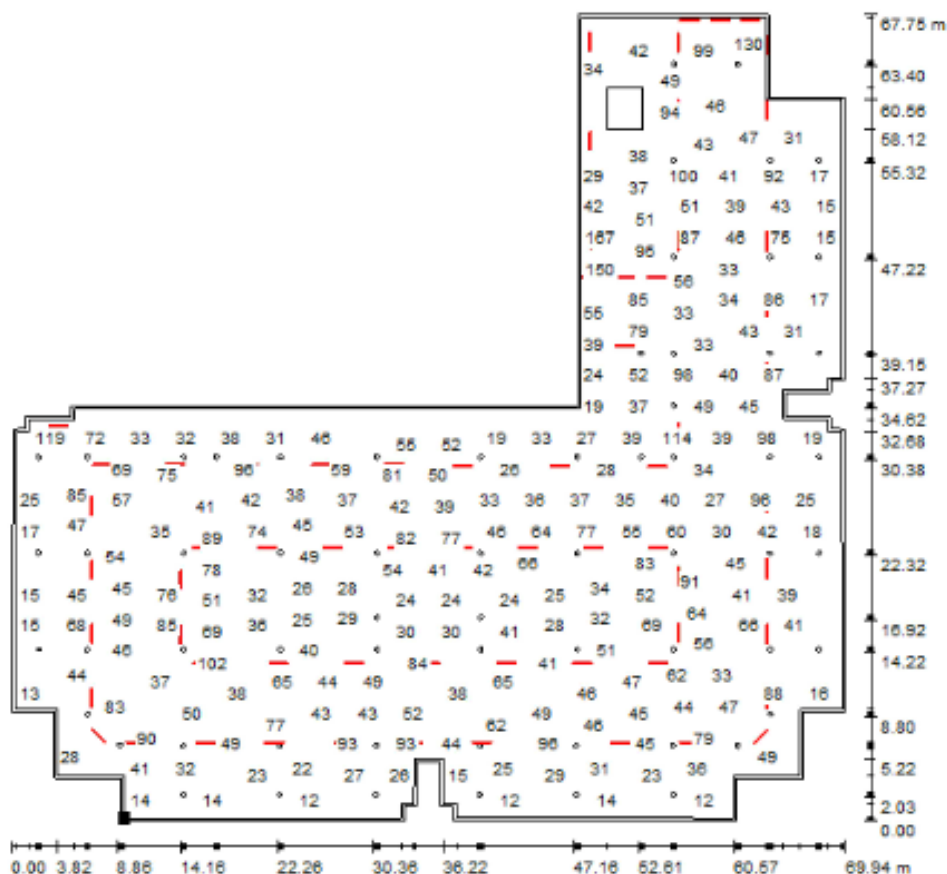
P2

DIALUX

12.05.2012

Tekijä Antti Sorjonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

P2 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 530

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(30.351 m, 7.052 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
49	6.44	189	0.131	0.034

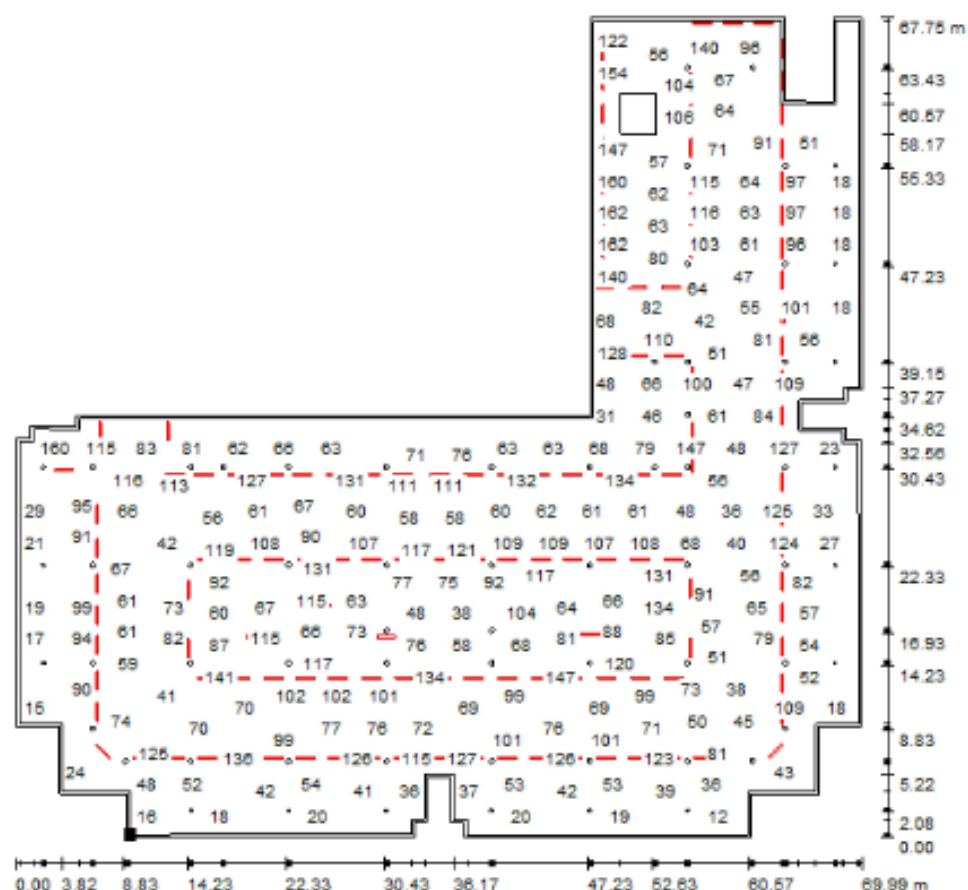
P1

DIALux

11.05.2012

Tekijä Antti Sorjonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

P1 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 530

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(24.650 m, 6.061 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
77	1.61	192	0.021	0.008

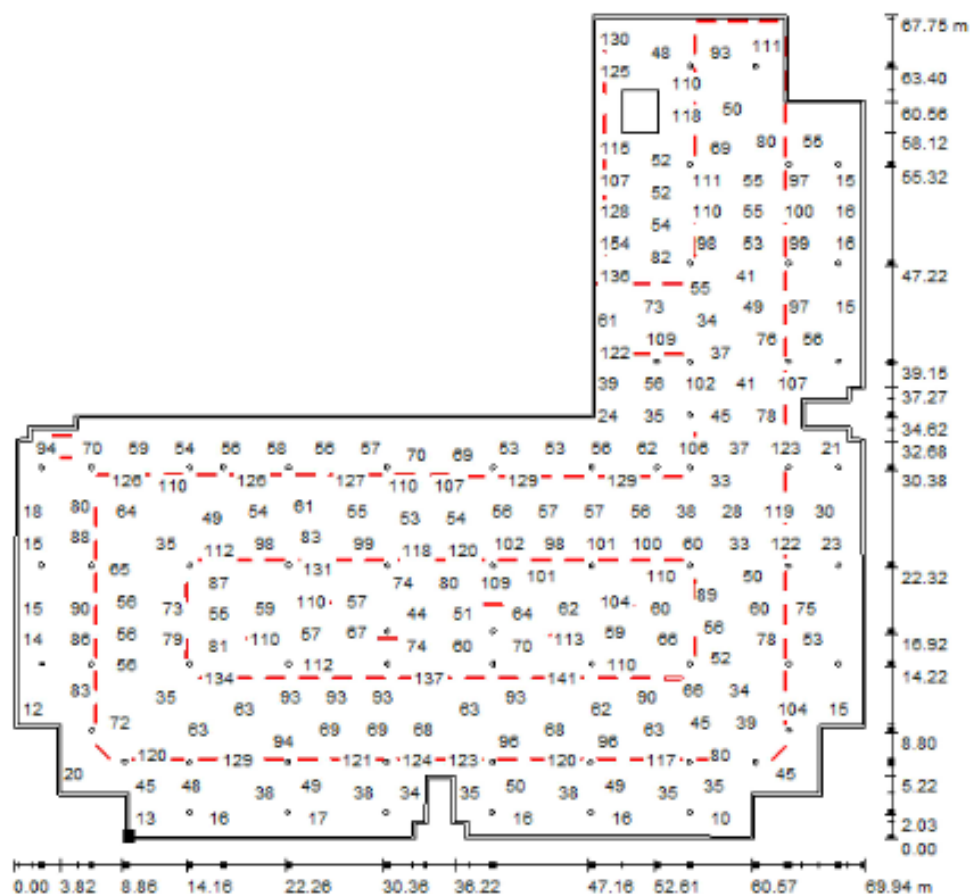
P2

DIALUX

12.05.2012

Tekijä Antti Sorjonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

P2 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 530

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(30.351 m, 7.052 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
71	6.15	178	0.087	0.035

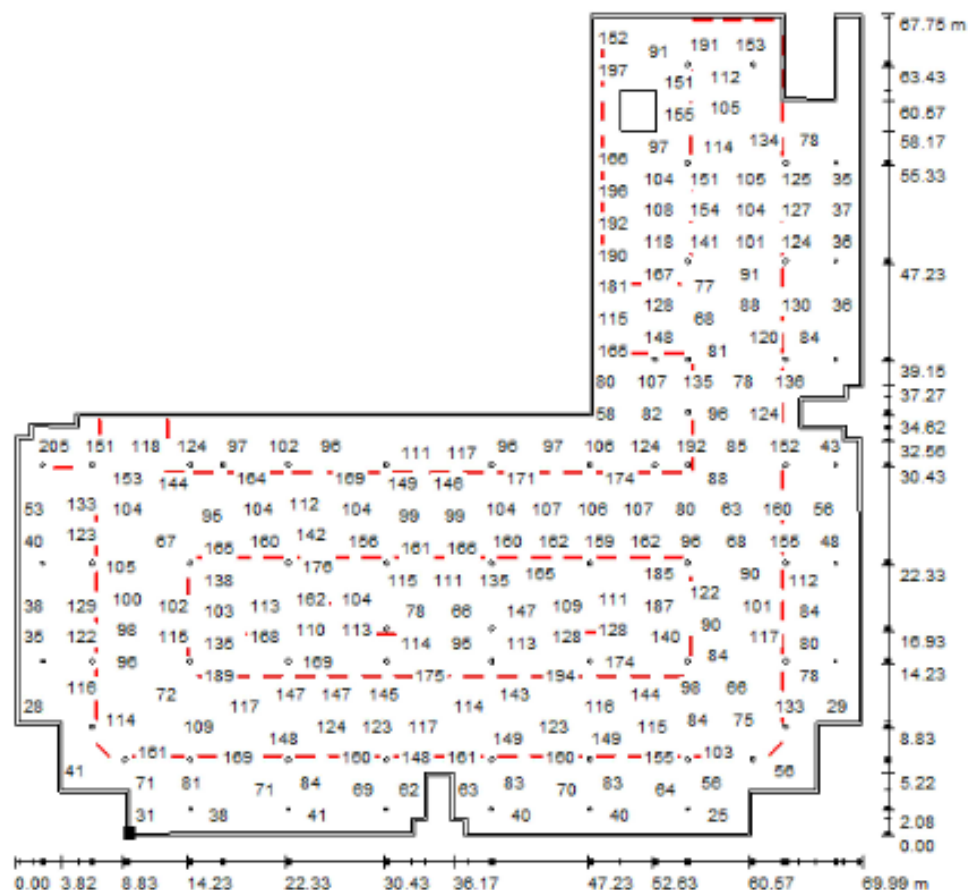
P1

DIALux

11.05.2012

Tekijä Antti Sorjonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

P1 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 530

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(24.650 m, 6.061 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
112	3.48	241	0.031	0.014

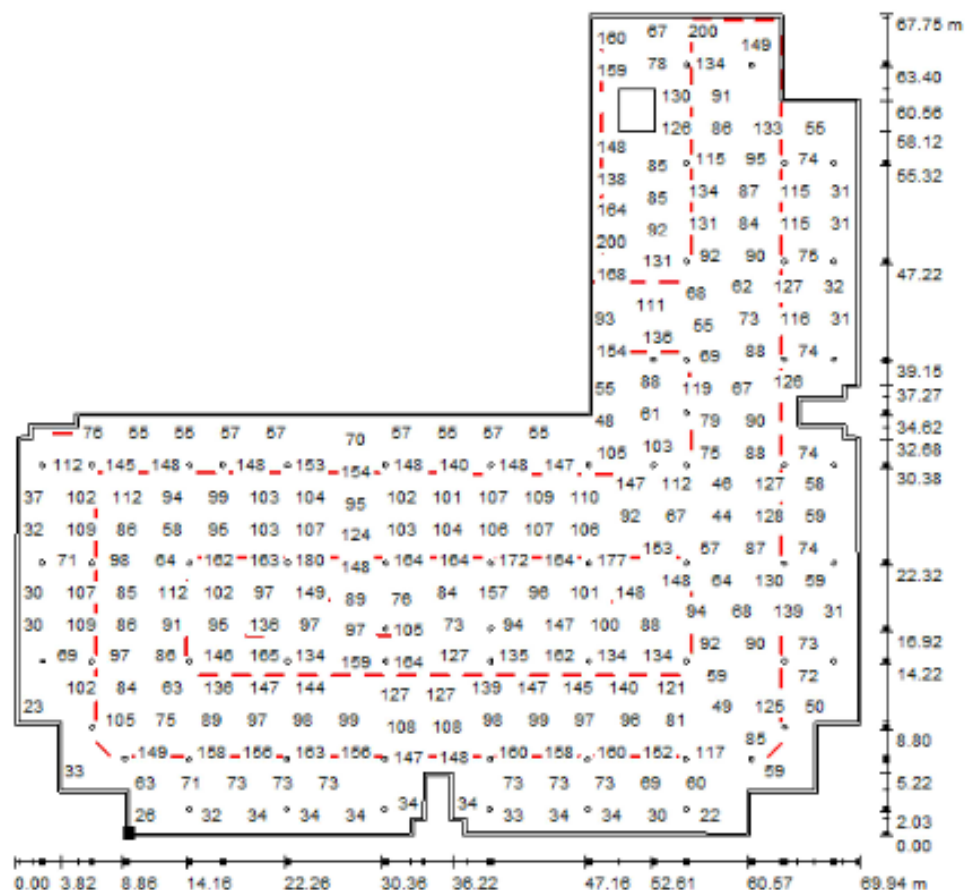
P2

DIALux

12.05.2012

Tekijä Antti Sorjonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

P2 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 530

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(30.351 m, 7.052 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
98	12	220	0.118	0.053

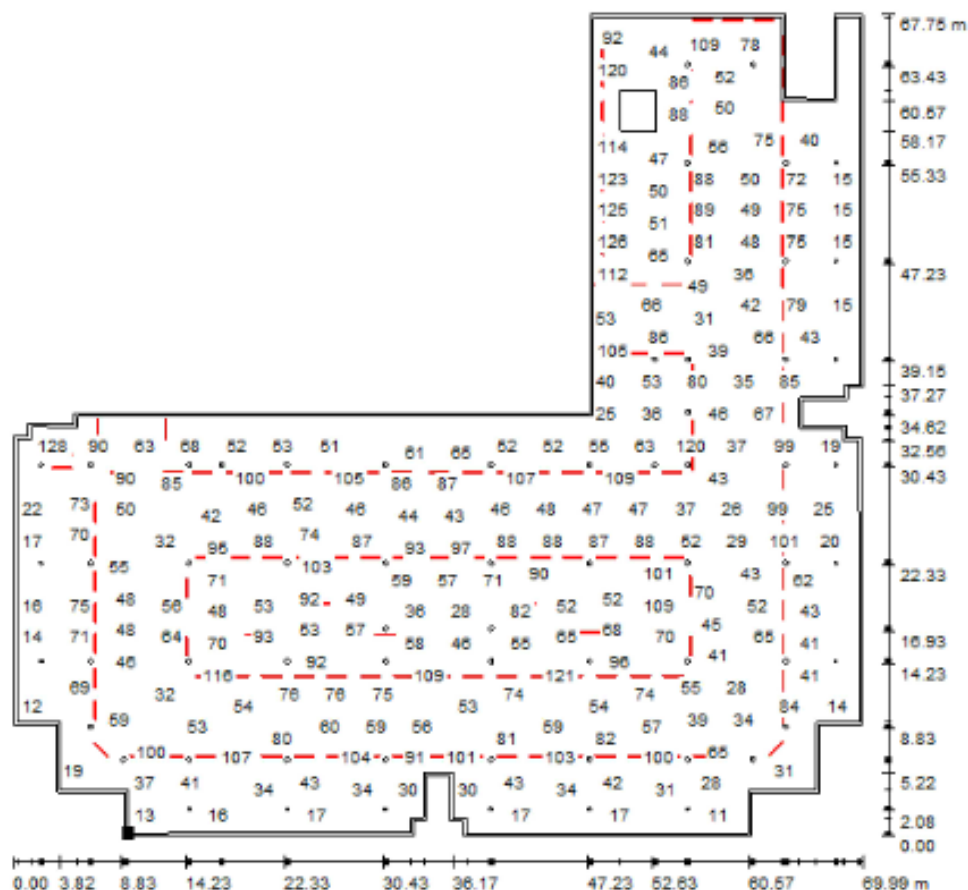
P1

DIALux

11.05.2012

Tekijä Antti Sorjonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

P1 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 530

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(24.650 m, 6.061 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
61	1.43	153	0.024	0.009

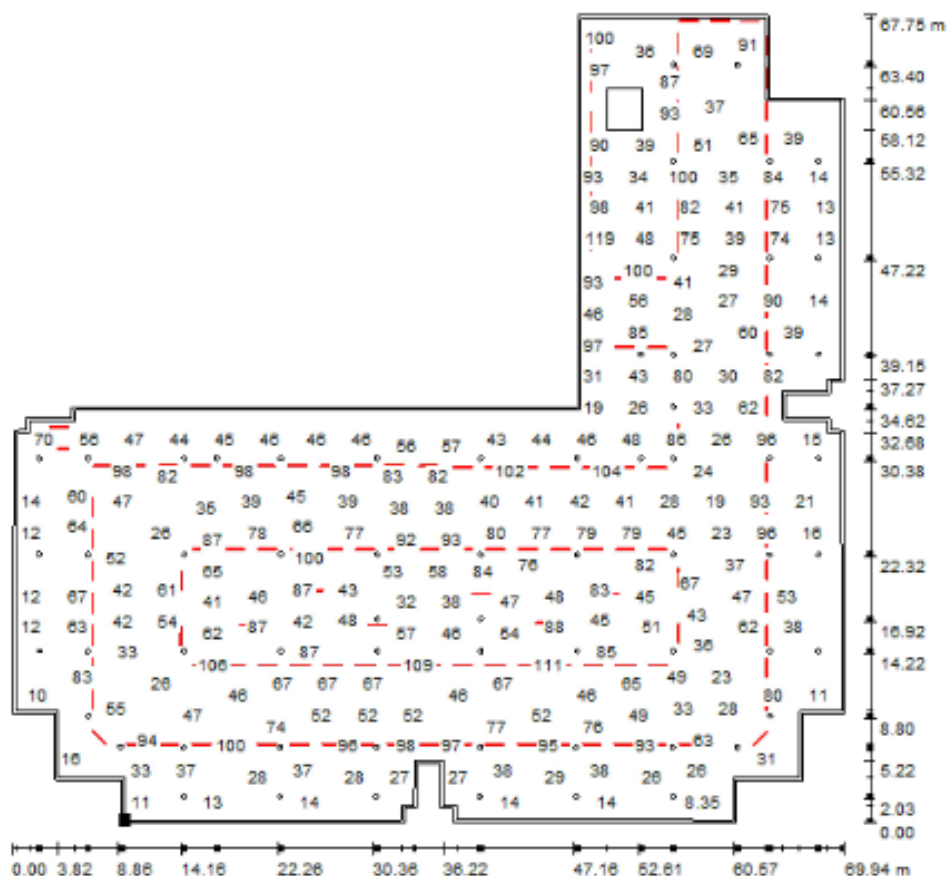
P2

DIALUX

12.05.2012

Tekijä Antti Sorjonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

P2 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 530

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(30.351 m, 7.052 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
54	5.00	143	0.092	0.035