



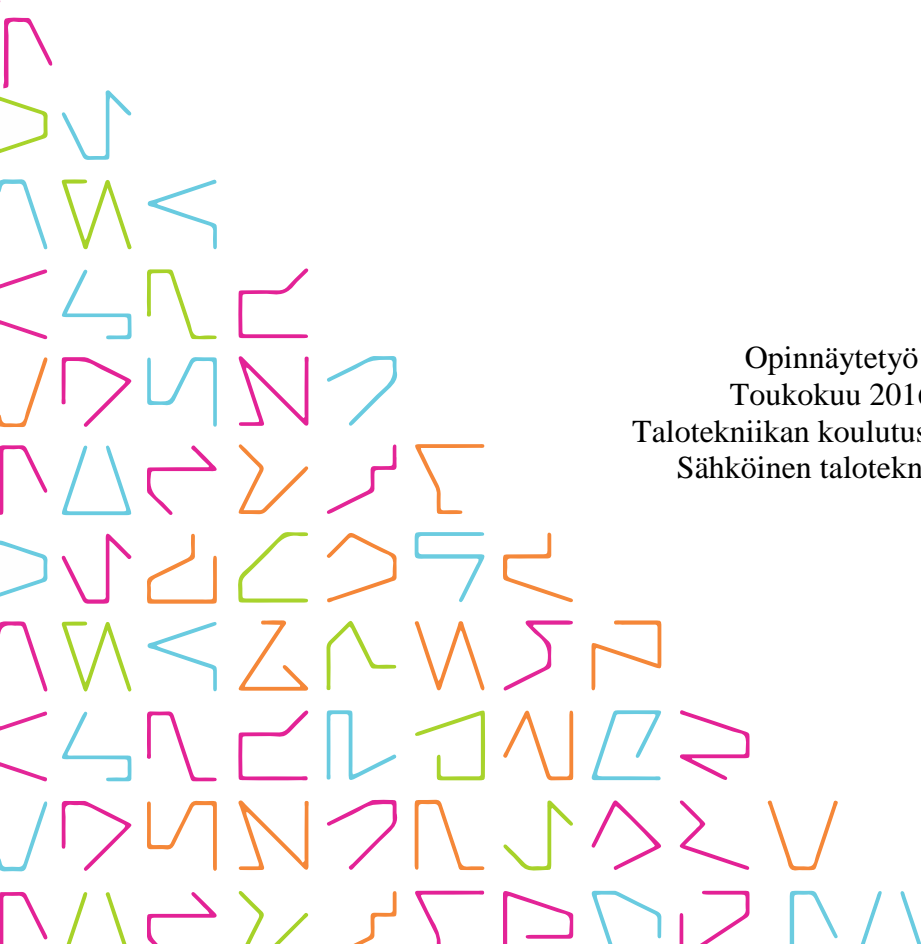
TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# Toimistokiinteistön energiamodernisointi

Ilmanvaihto, rakennusautomaatio, valaistus

Alexi Salokanto

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2016  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka

SALOKANTO, ALEKSI:

Toimistokiinteistön energiamodernisointi  
Ilmanvaihto, rakennusautomaatio, valaistus

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Toukokuu 2016

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ilmanvaihto-, valaistus- ja niihin liittyvä rakennusautomaatiojärjestelmä toimeksiantajan toimistokiinteistöön. Kohdeyritys (joka on sama kuin toimeksiantaja) halusi tuoda valaistusratkaisut osaksi energiamodernisointiin liittyvää avaimet käteen -konseptiaan, joka käsitti jo ilmanvaihdon ja rakennusautomaation. Konsepti kokonaisuudessaan on osa yrityksen tulevaa teollisen palveluliiketoiminnan tuotetarjontaa. Tämän takia opinnäytetyössä painotettiin valaistussuunnittelua ja valaistuksen ohjausta. Muita järjestelmiä tarkasteltiin vain yleisesti.

Opinnäytetyössä käsiteltiin sisäolosuhteita ja niiden vaikutusta työviihtyvyyteen ja -terveyteen. Lisäksi perehdyttiin ilmanvaihtoon, rakennusautomaatioon ja valaistukseen yleisellä tasolla. Myös eri järjestelmien laadulliset asiat ja energiatehokkuus käsiteltiin. Kiinteistön talotekniikan nykytilanne selvitettiin ja sen perusteella suunniteltiin modernisointiratkaisut standardeja ja määräyksiä apuna käyttäen. Kohteen vanhojen ja uusien ratkaisujen energiankulutusta ja käyttökustannuksia verrattiin keskenään. Lisäksi laadittiin elinkaarilaskelmat ja laskettiin investointikustannukset sekä selvitettiin niiden perusteella investointien takaisinmaksuajat.

Suunnittelussa käytettiin apuna Rakentamismääräyskokoelmaa D2, sisävalaistusstandardia SFS-12464-1 sekä ilmanvaihdon mitoitusohjelmaa Future++ ja valaistuslaskentaohjelmaa Dialux 4.12. Tilaajan ja käyttäjien toiveet sekä vaatimukset otettiin huomioon tarkasti suunnittelutyössä.

Tavoitteisiin päästiin ja saavutettiin halutut tulokset järjestelmien parantamisen osalta. Kuitenkin tarvitaan vielä jatkotutkimuksia modernisoinnin laajuudesta, sillä rakennuksen noin viiden vuoden elinkaari rajoittaa investoinnin kannattavuutta. Kannattavaa on panna vain merkityksellisimpiin ja käyttöasteeltaan suurimpiin tiloihin.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Building Services Engineering  
Electrical Engineering for Building Services

**SALOKANTO, ALEKSI:**  
Energy modernization for office building  
Ventilation, building automation lighting

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 6 pages  
May 2016

---

The purpose of this study was to plan a ventilation, lighting and related building automation system for an office building. The target company wanted to bring lighting solutions into a turnkey concept, which already included ventilation and building automation. This is why the emphasis was on lighting planning and lighting control and other systems were examined only in general terms.

First, this thesis deals with the internal conditions and their effects on work satisfaction and health at work. Ventilation, building automation and lighting are described in general. Also the quality and energy efficiency of different systems are analysed. After that the current situation of the building service solutions are investigated and based on that modernization solutions are planned with help of standards and regulations. Finally, an energy consumption and operating costs comparison between old and new solutions are made. In addition, life-cycle and investment costs are examined and based on those the payback time is calculated.

Regulations and standards, as well as different programs was used to help planning. In addition, attention was paid to the client's and users' requests and requirements.

The goals were reached and the desired results were achieved. However, the short life cycle of the building means that further studies are required to achieved a profitable investment.

---

Key words: energy efficiency, quality, ventilation, lighting, building automation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	SISÄTILOJEN OLOSUHTEET .....	8
2.1	Tekijät .....	8
2.2	Ilman laatu .....	9
3	ILMA- JA VALAISTUSOLOSUHTEIDEN LUOMINEN.....	11
3.1	Ilmanvaihto .....	11
3.1.1	Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus (SFP) .....	12
3.2	Rakennusautomaatio .....	13
3.2.1	Rakennusautomaatiojärjestelmän perusrakenne .....	13
3.2.2	Rakennusautomaatiolla saavutettavat hyödyt .....	14
3.2.3	Modbus.....	16
3.3	Valaistus.....	16
3.3.1	Valaistuksen laatu ja energiatehokkuus .....	16
3.3.2	Valaistusvaatimukset.....	19
3.3.3	Valaistuksen ohjaus.....	22
3.3.4	DALI .....	24
4	KOHDEKIINTEISTÖ .....	25
4.1	Kohdeyritys.....	25
4.2	Kohteen yleistiedot .....	25
4.3	Kohteen ilmanvaihto ja rakennusautomaatio.....	26
4.3.1	IV-kojeiden toiminta .....	28
4.4	Kohteen valaistus .....	29
5	MODERNISOINTIRATKAISUT.....	30
5.1	Ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiosuunnittelu .....	30
5.1.1	Laitevalinnat.....	31
5.1.2	Ilmanvaihdon automaatio.....	34
5.1.3	Ilmanvaihto- ja automaatiolaskelmat .....	34
5.2	Valaistussuunnittelu .....	36
5.2.1	Mallinnus .....	36
5.2.2	Valaistuksen ohjaus.....	39
5.2.3	Valaistuslaskelmat.....	41
5.3	Laskelmien ja ratkaisujen teknisten ominaisuuksien yhteenveto .....	43
6	POHDINTA.....	45
	LÄHTEET.....	46
	LIITTEET .....	48
	Liite 1. Koja Oy HiFEK -huippuimuri. ....	48

Liite 2. Koja Oy HiLTO -lämmöntalteenottoyksikkö.....	49
Liite 3. Uuden IV koneen säätökaavio. ....	50
Liite 4. Dialux mallinnus ja tulokset yläkerran avotoimistosta.....	51
Liite 5. Dialux mallinnus ja tulokset toimistohuoneesta. ....	53

**LYHENTEET JA TERMIT**

SFP	Specific Fan Power, ominaissähköteho
HMI	Human Machine Interface, käyttöliittymä
BAFF	Building Automation Forum in Finland, rakennusautomaatio- ojaos
EIA	Electronic Industries Alliance, elektroniikkateollisuuden liitto
PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, valvomo- ohjelmisto
DALI	Digital Addressable Lighting Interface, digitaalisesti ohjat- tava valaistusrajapinta
LED	Light Emitting Diode, ledi

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on kehittää tilaajayrityksen olemassa olevaa energiamodernisoineihin liittyvää avaimet käteen -konseptia ja liittää siihen valaistusmodernisoinnit. Tässä työssä suunnitellaan tällä konseptilla toimistokiinteistön kokonaisvaltainen energiamodernisointi sisältäen valaistuksen, ilmanvaihdon ja näihin liittyvän rakennusautomaation. Korjaus- ja saneerausrakentaminen on kasvanut merkittävästi uudisrakentamiseen verrattuna viime vuosina ja lisäksi ympäristösäädökset ja energiamääräykset ovat kiristyneet huomattavasti. Tämän johdosta ilmanvaihtoalan kohdeyritys haluaa tuoda liiketoimintaansa kokonaisvaltaisempaa osaamista ja liittää energiamodernisointikonseptiin myös valaistuksen ja laajentaa rakennusautomaatio-osaamista.

Teoriaosuudessa keskitytään eri osa-alueisiin yleisellä tasolla ja painotetaan valaistuksen ja ilmanvaihdon laadullisia asioita ja vaikutusta työolosuhteisiin, työterveyteen, viihtyvyyteen ja vireystilaan. Energiatehokkuus nousee myös tärkeänä asiana esille ja sitä käsitellään jokaisella osa-alueella. Käytännön osuudessa kartoitetaan kohteen järjestelmien nykytilanne kohdekäynneillä, mittauksilla, käyttäjähaastatteluilla, dokumenteilla ja selvitetään määräyksien- ja standardienmukaisuus. Modernisointiratkaisut järjestelmille toteutetaan vaatimustenmukaisesti ja käyttäjien toiveet huomioiden. Ilmanvaihtosuunnittelu ja siihen liittyvä rakennusautomaatio otetaan esille vain yleissuunnittelutasolla, eli keskitytään järjestelmä- ja laitevalintoihin sekä palvelualueisiin. Yksityiskohtaisen suunnittelun toteutusvaiheessa suorittaa kohdeyritys sen ammattiosaamisen takia ja sitä ei tässä työssä käsitellä. Valaistussuunnittelu ja siihen liittyvät ohjaukset esitetään yksityiskohtaisesti, jonka avulla saadaan kohdeyritykselle (tässä tapauksessa myös työn tilaaja) selkeä kuva tarvittavista toimenpiteistä ja ajankäytöstä koko projektin aikana.

Työssä tavoitteena on suunnitella energiamodernisointi toimistokiinteistöön kehityksen alla olevalla avaimet käteen -konseptilla ja vertailla uusien ja vanhojen järjestelmien eroja laadun, energiankulutuksen, hiilidioksidipäästöjen ja taloudellisuuden kannalta. Lisäksi pyydetään tarjoukset laitteista ja asennuksista sekä lasketaan suuntaa antavat takaisinmaksuajat investoinneille.

## 2 SISÄTILOJEN OLOSUHTEET

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. Sen saavuttamiseksi on otettava yleensä huomioon seuraavat rakennukseen vaikuttavat tekijät:

- 1) sisäiset kuormitustekijät kuten lämpö- ja kosteuskuormitus, henkilökuormat, prosessit sekä rakennus ja sisustusmateriaalien päästöt;
- 2) ulkoiset kuormitustekijät kuten sää- ja ääniolot, ulkoilman laatu ja muut ympäristötekijät; sekä
- 3) sijainti ja rakennuspaikka. [RakMK D2 s.5]

### 2.1 Tekijät

Sopivat **lämpöolot** ovat ihmisen viihtyvyyden kannalta tärkeimpiä asioita, ja siitä syystä rakennukset ovat sellaisia kuin ovat. Sopivien lämpöolosuhteiden saavuttamiseksi rakennuksiin tarvitaan lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät, ja energiankulutuksesta suurin osa käytetään näiden olosuhteiden tuottamiseen. Lämpöolosuhteet vaikuttavat ihmisen viihtyvyyteen, terveyteen ja tuottavuuteen. [Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät s.37, Säteri]

Ihmiset kokevat **äänen** ja **melun** eri tavoin ja yksilöllisesti. Melu on ei toivottua ääntä, joka häiritsee ihmisen toimintaa tai on tarpeettoman voimakasta. Melua syntyy ilmastointilaitoksen laitteissa, kuten puhaltimissa, kanavien varusteissa, päätelaitteissa ja jäähdytyskoneissa. Sen vaimentaminen on erittäin tärkeää, jotta rakennusten käyttäjät eivät häiriinny siitä. [Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät s.68, Säteri]



Sisäilman liian matala **suhteellinen kosteus** aiheuttaa mm. ihmisen limakalvojen ja ihon kuivumista, materiaalien staattista sähköisyyttä ja pölyn irtoavuutta. Liian korkea suhteellinen kosteus puolestaan vaikuttaa mm. sienien ja pölypunkkien ja materiaalien emioiden lisääntymiseen. Sisäilman kosteuden tiivistyminen rakenteisiin tai rakenteiden pinnoille altistaa pinnan mikrobikasvustolle. [Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät s.81–82, Sandberg]

**Valo** mahdollistaa näkemisen ja aistimme ympäristöämme jopa 80 % sen avulla. Näin ollen se on merkittävä sisäolosuhde. Valo luo turvalliset ja terveelliset olosuhteet työskentelyyn. Erityisesti päivänvalo on terveyden ja hyvinvoinnin kannalta tärkeä sisäolosuhteiden luoja ja se myös tahdistaa vuorokausirytmää. [Valaistuksen laadullisten tekijöiden ja energialaskennan määrittely FInZEB-hankkeelle, Kari Kallioharju & Pirkko Harasia 2015]

**Sijainti, rakennuspaikka ja muut ympäristötekijät** vaikuttavat edellä mainittuihin tekijöihin. Ne tuleekin huomioida jo suunnitteluvaiheessa.

## 2.2 Ilman laatu

Edellisessä kappaleessa esitetyt tekijät vaikuttavat ilman laatuun ja sitä kautta suoraan työtekijöiden tuottavuuteen, viihtyvyyteen, terveyteen ja vireystilaan. Sisäilmastoluokat ovat jaettu kolmeen tasoon, jotka ovat S1, S2, S3. Tarkemmat kuvaukset alla:

- **S1, yksilöllinen sisäilmasto.** Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä ja lämpöolot ovat viihtyisät kesällä ja talvella. Tilankäyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja ja tarvittaessa parantamaan sisäilman laatua tehostamalla ilmanvaihtoa. Lämpöolot ja ilman laatu täyttävät pääsääntöisesti myös käyttäjien erityisvaatimukset.
- **S2, hyvä sisäilmasto.** Tilan sisäilman laatu on hyvä ja lämpöolot vedottomat. Kesän kuumimpina päivinä lämpötila nousee viihtyisän tason yläpuolelle.
- **S3, tyydyttävä sisäilmasto.** Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot täyttävät säännösten tarkoittamat vähimmäisvaatimukset. Ilma saattaa ajoittain tuntua tunkkaiselta

ja vedon tunnetta saattaa esiintyä. Ylilämpeneminen on yleistä kuumina kesäpäivinä. [Sisäilmastoluokitus 2008 – tarpeenmukainen sisäilmasto, Säteri, J]

Ihmiset viettävät noin 90 % ajastaan sisätiloissa ja hengittävät vuorokaudessa 15...20 m<sup>3</sup> sisäilmaa. Ilman mukana liikkuu epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat merkittäviä haittoja ihmisen terveydelle. Merkittävin aiheuttaja vakaville sairauksille on pienhiukkasille altistuminen. Pienhiukkaset aiheuttavat kaksi kolmasosaa terveyshaitoista. Suomessa myös radonin osuus on suuri. Paljon julkisuudessa esillä olevat kosteusongelmat ja bioaerosolit aiheuttavat vain noin 10 % terveyshaitoista.

Sisäilman altisteet aiheuttavat vakavien sairauksien lisäksi myös yleis- ja ärsytysoireita, viihtyvyyshaittoja (kuten hajuja) sekä huolta terveyden menettämisestä. Tällaiset oireilut aiheuttavat työstä poissaoloja, työtehon laskua sekä terveydenhoitokustannuksia. On arvioitu, että kosteus- ja homevaurioiden haitat aiheuttavan noin 450 miljoonan euron kustannukset vuosittain. [Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät s.56, Säteri]

### 3 ILMA- JA VALAISTUSOLOSUHTEIDEN LUOMINEN

Sopivien ilma- ja valaistusolosuhteiden luominen kuluttaa noin kolmanneksen Suomessa käytetystä energiasta ja hiilidioksidipäästöistä. Investoinneissa ja käyttökustannuksista ei kuitenkaan kannata säästää sisäilmaston kustannuksella, sillä tuottavuusvaikutukset ovat lähes yhtä suuret kuin energiakustannukset. Huono sisäilmasto tulee kalliiksi kiinteistön omistajille, sillä se laskee rakennuksen arvoa, joka tarkoittaa vuokratulojen menetystä. [Sisäilmastoluokitus 2008 – tarpeenmukainen sisäilmasto, Säteri, J]

#### 3.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tarkoitus on poistaa kosteutta ja sisäilman hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia, sekä tuoda ulkoilmaa korvausilmaksi. Riittämätön ilmanvaihto aiheuttaa tunkkaisuutta, hajuja ja terveyshaittoja, esimerkiksi huonoa oloa, päänsärkyä, väsymystä ja keskittymiskyvyn heikkenemistä. Sisäilmaongelmat liittyvät hyvin usein ilmanvaihtoon. [Sisäilmaopas 2011 s.6]

Ilmanvaihto saadaan aikaan puhaltimilla (koneellinen ilmanvaihto) tai lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella (painovoimainen ilmanvaihto). Koneellinen ilmanvaihto voi olla joko poistoilmanvaihto tai tulo- ja poistoilmanvaihto, mikäli tuloilma puhalletaan koneellisesti. Termiä ilmastointi käytetään, jos tuloilmaa kostutetaan tai jäähdytetään. [Energiatehokas ilmanvaihto, Motiva 2012]

Poistoilmanvaihdossa korvausilman sisäänotto on tärkeä toteuttaa hallitusti esimerkiksi ulkoilmaventtiilien avulla. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon etuna on mahdollisuus lämmön talteenottoon poistoilmasta ja tuloilman suodatus. Painovoimainen ilmanvaihto tarvitsee toimiakseen riittävän lämpötilaeron sisä- ja ulkoilmassa. [Energiatehokas ilmanvaihto, Motiva 2012]

Ilmanvaihdon toimintaan ja kosteudensiirtoon vaikuttaa merkittävästi rakennuksen väli- ja sisätilojen tiiviys. Ilman tulee kulkea rakenteessa ulkoa sisälle, koska Suomen kylmässä ilmastossa sisäilman kosteus tiivistyy herkästi seinän sisään päästessään. Ilmanvaihdon on pidettävä tila hieman alipaineisena. Tiivis rakennus helpottaa ilmanvaihdon hallitsemista, sillä lähes kaikki ilma kulkee ilmanvaihtojärjestelmän kautta. Käytännössä ilma vaihtuu

sekä hallitusti että hallitsemattomasti ilmapuotoina. [Energiatehokas ilmanvaihto, Motiva 2012]

Rakennusmääräyskokoelman D2 mukaan rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että:

- oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti.
- sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja.
- rakennuksessa on viihtyisät ääniolosuhteet.

Ilmavaihdolla on suuri merkitys yllä olevien kohtien täyttymisessä rakennuksessa.

### 3.1.1 Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus (SFP)

SFP on lyhenne englanninkielisistä sanoista Specific Fan Power. SFP-luku ilmaisee ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon (kW/(m<sup>3</sup>/s)). Ominaissähköteho kertoo, kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan ilman kuljettamiseen rakennuksessa.

SFP -luvun laskennassa (kaava 1) huomioidaan rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kilowatteina jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla m<sup>3</sup>/s (suurempi näistä). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon.

$$SFP = \frac{P_{tuloilmapuhaltimet} + P_{poistoilmapuhaltimet}}{q_{max}}, \quad (1)$$

missä

SFP = ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW/(m<sup>3</sup>/s)

P<sub>tulo</sub> = tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

P<sub>poisto</sub> = poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

q<sub>max</sub> = mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta m<sup>3</sup>/s

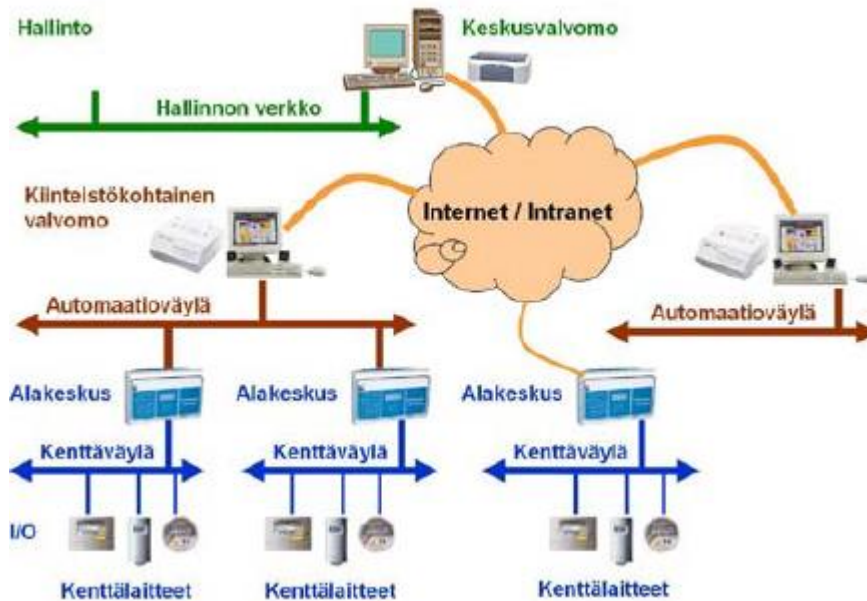
Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s). Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s). [Ilmastointilaitoksen mitoitus s.180 ja 454, Sandberg, E 2014]

## **3.2 Rakennusautomaatio**

Rakennusautomaatio on automaation osa-alue, jolla on omat ominaispiirteensä. Rakennusautomaatio on työkalu, jolla hallitaan rakennusten sisäilmastoa ja valaistusta sekä mahdollisesti myös rakennusten turvallisuutta. Rakennusautomaatiolla minimoimaan rakennuksen energiankulutus, ohjataan teknisiä laitteita ja pyritään saamaan laitteiden käytöstä paras mahdollinen hyöty sekä vähennetään laitteiden kulumista ja melua. [Rakennusautomaatiojaos, BAFF 2016]

### **3.2.1 Rakennusautomaatiojärjestelmän perusrakenne**

Rakennusautomaatiojärjestelmä muodostuu kenttälaitteista, alakeskuksista ja valvomolaitteista ja sen perusrakenne on usein kolmitasoinen (kuva 1). Kenttälaitetasolla ovat mittalaitteet ja toimilaitteet, joilla ohjataan ja säädetään esimerkiksi lämmitykseen ja ilmastoinnin toimintaa (esim. lämpötila-, kosteus- ja paineanturit sekä prosesseja säättävät venttiilimoottorit ja ilmastointikoneiden pellinsäätömoottorit sekä taajuusmuuttajat kierrosnopeuden säätöihin). Alakeskustasolla kerätään mittalaitteiden välittämät tiedot ja sieltä välitetään eri ohjaukset toimilaitteille. Myös ohjauksien laskeminen ja muu laskenta sekä mittaviestien muuttaminen fysikaaliseksi suureeksi tapahtuu normaalisti alakeskuksissa. Kolmas taso eli valvomotasoo muodostuu valvomoista, jotka ovat rajapintana ihmisen ja järjestelmän välillä (HMI, Human Machine Interface). Tällä tasolla mittauksia havainnollistetaan usein graafisesti (trend-seuranta). Myös manuaaliset ohjaukset ja valvonta suoritetaan valvomoista. Valvomojen tehtävä on kaiken kaikkiaan tukea kiinteistön ylläpitoa ja ylläpitäjää. [ST-Käsikirja 22 s.12-13 2016]



Kuva 1. Rakennusautomaatiojärjestelmän perusrakenne. [ST käsikirja 22]

### 3.2.2 Rakennusautomaatiolla saavutettavat hyödyt

Suomen automaatioseuran rakennusautomaatiojaos BAFF (Building Automation Forum in Finland) on ammatillinen yhteisö, joka edistää rakennusautomaation parhaiden ratkaisujen hyötyjen ja toteutusten tunnettuutta hyödyntäjien ja ammattikunnan keskuudessa. BAFF on kerännyt rakennusautomaatiosta saatavat hyödyt:

1. Energian säästö ja hallinta kiinteistöissä
  - hallitaan rakennuksen energiankulutusta siten, että asetetut energiankulutustavoitteet saavutetaan
  - lämpötilan, ilmavirran ja valaistuksen ohjaus tarpeen mukaan
  - käyttöasteen seuranta (sähköteho, läsnäolo)
2. Parempi sisäilmasto
  - ohjataan sisäilmastoa siten, että asetetut sisäilmastotavoitteet saavutetaan
3. Huolto- ja kunnossapitotoiminta
  - voidaan tehostaa huolto- ja kunnossapitotoimintaa asetettujen tavoitteiden mukaisesti
  - oikealla automaation suunnittelulla vikojen paikallistaminen nopeutuu

4. Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje
  - liitänä sähköiseen ”huoltokirjaan” ylätason järjestelmissä
  - paikka tallettaa kiinteistön ylläpitoa koskevaa historiatietoa
  
5. Kustannusten säästö
  - kulutusten seuranta (tarkka seuranta, joustava raportointi)
  - veden säästö (mittarointi, seuranta, kulutustottumuksiin vaikuttaminen)
  - sähkönkulutuksen seuranta
  - trendiseuranta (aikasarjaseuranta)
  
6. Laitteiden oikea käyttö
  - automaation avulla kuluminen ja vikaantuminen minimoituvat
  - käyntiaikalaskenta ja -valvonta (tarkistetaan tarkoituksenmukainen käyntiaika)
  
7. Turvallisuuden lisääntyminen
  
8. Keskitetty valvonta- ja ohjauspaikka, valvonta, etäkäyttöyhteydet
  - hälytyskäsitteily (keskeisiä kiinteistönhoidon rutiineja)
  - saadaan parempi kokonaiskuva rakennuksen toiminnasta jokaisella hetkellä
  - hyödyt parantuneesta talotekniikan toiminnasta
  
9. Rakennuksen tietojärjestelmien yhdistäminen (Integrointi)
  
10. Projektointi ja ylläpito
  - järkevän automaation avulla voidaan projektissa eri toimittajatahojen suunnittelu ja toteutus saada joustavammaksi. [Baff Johtokunta, Rakennusautomaatiolla saavutettavissa olevat hyödyt 2005]

### 3.2.3 Modbus

Modbus on Modiconin (nykyään Schneider Electric) vuonna 1979 julkaisema sarjaliikenneprotokolla. Se perustuu master/slave-periaatteeseen, esim. master lähettää pyynnön, ja slave lähettää takaisin vastauksen. Modbus-verkossa viestit lähetetään tyypillisesti RS232/RS485-sarjalinkin kautta (EIA-standardi). Aluksi se oli tehty käytettäväksi Modiconin ohjelmoitavien logiikkojen (PLC) kanssa, mutta nykyään Modbus ei ole vain teollisuudessa käytettävä protokolla. Sitä käytetään hyvin yleisesti mm. rakennusautomaatio- ja energianmittaussovelluksissa sekä muiden elektroniikkalaitteiden välisessä kommunikoinnissa ja siitä on muodostunut "de facto" -standardi.

Suurimmat syyt Modbusin suosiolle verrattuna muihin protokolleihin ovat:

- Avoin ja lisenssimaksuton
- Verraten helposti käyttöönotettava teollinen verkko
- Raakadatan siirto ilman laitevalmistajien asettamia rajoituksia
- SCADA- ja HMI-ohjelmistojen tuki
- Laajalle yleistynyt osaaminen. [Modbus faq, Modbus Organization 2016]

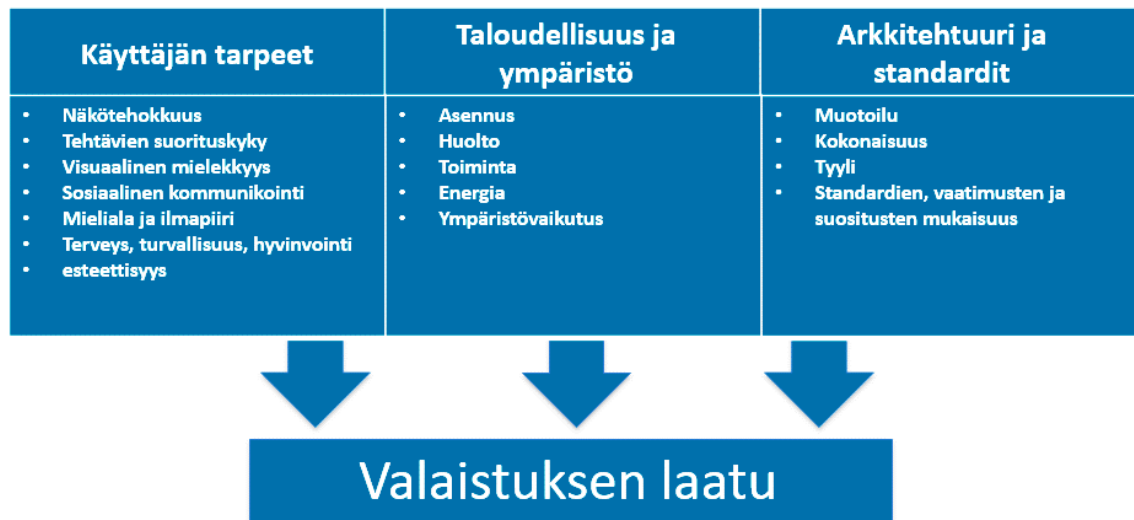
## 3.3 Valaistus

Hyvin suunniteltu ja toteutettu valaistus luo viihtyvyyttä, terveellisuyttä, turvallisuutta ja tuottavuutta. Viihtyvyys tarkoittaa optimiolosuhteita, joissa viireystila on maksimissaan. Hyvässä valaistuksessa vähenevät myös silmien rasituseroit ja terveyshaitat (esim. silmien kuivuminen). [Valaistus, työterveyslaitos 2014]

### 3.3.1 Valaistuksen laatu ja energiatehokkuus

Yleensä energiatehokkuus nousee tärkeimpänä asiana esille, kun puhutaan valaistuksesta. Kuitenkin valaistuksen laatutekijät ovat vähintäänkin yhtä tärkeä asia huomioida valaistusta suunniteltaessa. Valaistuksen laatu (kuva 2) muodostuu monesta eri asiasta.





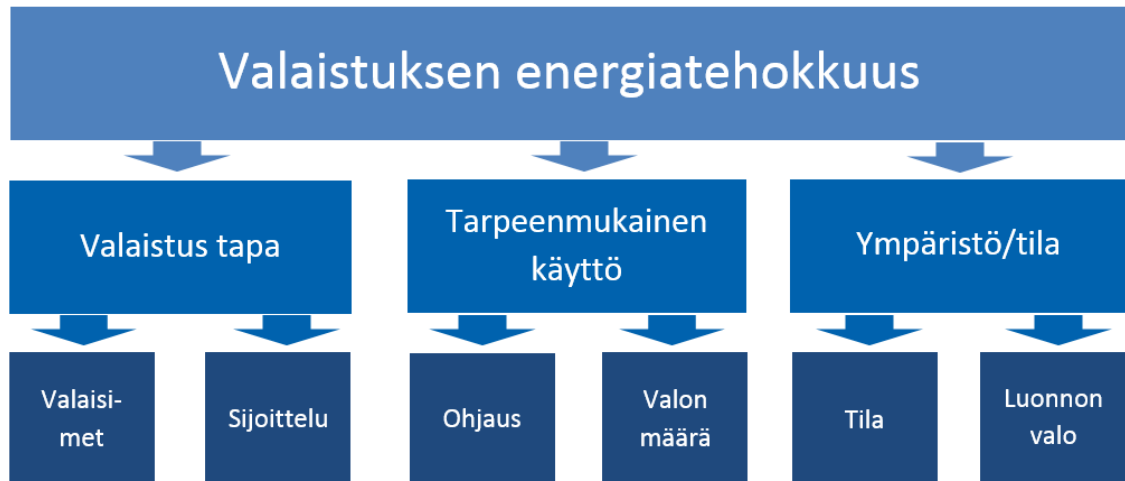
Kuva 2. Valaistuksen laatu. [Sisävalaistuksen suunnittelu ja valaistusratkaisu, Pirkko Harsia & Kari Kallioharju, Tampereen ammattikorkeakoulu 2014]

Valolla on ihmiseen merkittäviä biologisia vaikutuksia. Riittävä määrä laadukasta valoa parantaa ihmisen vireystasoa, tuottavuutta, mielialaa ja terveyttä. Etenkin päivänvalon vaikutus ihmiseen on suuri, joten siitä saatava hyöty tulisi käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Valon biologisia vaikutuksia tutkitaan paljon ja niiden vaikutuksen huomiointi valaistussuunnittelussa kasvaa saadun tiedon myötä jatkuvasti. Pääsääntöisesti voidaan ajatella, että kylmäsävyinen (sinisävyinen) valo nostaa vireystilaa ja mielialaa. Lisäksi valaistusvoimakkuuden noustessa tuottavuus lisääntyy ja virheiden määrä laskee. [Valaistuksen laadullisten tekijöiden ja energialaskennan määrittely FINZEB-hankkeelle, Kari Kallioharju & Pirkko Harsia 2015]

Tarvittavan valon määrä riippuu työtehtävästä sekä työntekijästä. Liian jyrkkiä pintakirkkuseroja tulisi välttää. Näin ei synny teräviä varjoja ja kirkkuseroja, jotka saattavat heikentää työtehokkuutta. Valon suuntauksessa voidaan esimerkiksi jatkaa luonnonvalon synnyttämää valaistusvaikutelmaa. Valaistussuunnittelussa tulisi huomioida lämpövaikutukset ja valaisin ei saisi aiheuttaa haitallisia ääniä, värinää tai vilkkumista. Valojen tulisi myös syttyä välittömästi. [Sisävalaistus, Motiva 2015]

Valaistusvoimakkuuden noustessa myös energiankulutus yleensä nousee. Se ei ole kuitenkaan ainoa sähkönkulutukseen vaikuttavista tekijöistä, vaan esimerkiksi valaistuksen ohjaustavat vaikuttavat valaistuksen energiankulutukseen merkittävästi. Valaistuksen energiatehokkuus (kuva 3) muodostuu monesta tekijästä. Yleisesti ajatellaan energiatehokkuuteen vaikuttavan vain valaisimen ominaisuudet, mutta sillä saadaan todellisu-

dessa vain osa mahdollisesta energiansäästöstä. Kun energiatehokkaita valaisimia käytetään tarpeenmukaisesti, saadaan aikaan vielä merkittävämpi energiankulutuksen pienentyminen. Tarkoituksen mukaisella käytöllä tarkoitetaan ohjausjärjestelmää, joka säätelee valaisimien tehokkuutta ja huolehtii valojen sammutuksesta, mikäli valoa ei tarvita. Älykäs ohjausjärjestelmä hyödyntää myös tilaan saatavan päivänvalon osana valaistusta. Lisäksi valaistavan tilan korkeudella, pintamateriaaleilla ja muotoilulla on merkitystä tarvittavien valaisinten määrään.



Kuva 3. Valaistuksen energiatehokkuus. [Sisävalaistuksen suunnittelu ja valaistusratkaisu, Pirkko Harsia & Kari Kallioharju, Tampereen ammattikorkeakoulu 2014]

Valaistus aiheuttaa merkittävän osan sähkönkulutuksesta ja siinä on paljon sähkönkäytön tehostamisen mahdollisuuksia. Vähentämällä sähkönkäyttöä vähennämme samalla myös sähköntuotannosta aiheutuvia ympäristöhaittoja.

Motivan julkaisun mukaan:

- Kaikesta Suomessa käytetystä sähköstä noin reilu 10 prosenttia kuluu valaistukseen.
- Kotitalouksien valaistukseen kuluu Suomessa yhtä paljon energiaa kuin koko Oulun kaupunki käyttää.
- Kotitalouksien käyttämästä sähköstä 22 prosenttia kuluu valaistukseen.
- Valaistus on suurin yksittäinen kotitalouksien sähköä kuluttava laiteryhmä.
- Toimisto- ja liikerakennuksissa jopa kolmasosa sähkönkulutuksesta aiheutuu valaistuksesta. [Valaistus, Motiva 2015]

Alue	Kulutus MWh/a	Säästö- potentiaali MWh/a	%	CO <sub>2</sub> -päästöjen vähennys tonnia/a <sup>5)</sup>
Kotivalaistus <sup>1)</sup>	1.600.000	1.000.000	62	200 000
Palvelu- ja julkinen valaistus <sup>2)</sup>	4.000.000	1.200.000	30	240 000
Teollisuusvalaistus <sup>3)</sup>	1.500.000	400.000	26	80 000
Katuvalaistus <sup>4)</sup>	900.000	200.000	22	40 000
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>8.000.000</b>	<b>2.800.000</b>	<b>30</b>	<b>560 000</b>

- 1) Motiva
- 2) Motiva: palvelu- ja julkisen sektorin osuus kokonaiskulutuksesta 19 %, josta tyypillisesti valaistuksen osuus 24 %
- 3) Arvio Ruotsin teollisuuden energiankulutuksen perusteella.
- 4) Kuntaliitto, tilastokeskus ja maahantuojaen tilastot.
- 5) Suomen keskimääräinen sähkönhankinta 200 g CO<sub>2</sub>/kWh

28 milj. puuta pystyy  
absorboimaan tämän  
määrän CO<sub>2</sub>:ta.

Kuva 4. Valaistukseen käytetyn sähköenergian säästöpotentiaali Suomessa käyttösektoreittain. [Energiatehokas valaistus, valosto]

### 3.3.2 Valaistusvaatimukset

Rakentamismääräyskokoelman D2 mukaan Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeellä voidaan ylläpitää näkötehtävän edellyttämä valaistus käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti.

Hyvässä valaistuksessa on oleellista, että vaaditun valaistusvoimakkuuden lisäksi myös laadulliset ja määrälliset tarpeet tyydytetään. Valaistusvaatimukset määritetään seuraavan kolmen perustarpeen täyttymisenä:

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

Eurooppalainen sisävalaistusstandardi SFS-12464-1:2011 määrittelee henkilöiden sisätyötilojen valaistusvaatimukset lähtien normaalinäkökykyisten henkilöiden näkömukavuuden ja näkötehokkuuden tarpeista. Standardissa käsitellään kaikkia yleisimpiä näkö-

tehtäviä mukaan lukien tietokoneella suoritettava työ. Standardi määrittelee valaistusratkaisujen määrälliset ja laadulliset vaatimukset useimmille sisätyöpaikoille ja niihin liittyville alueille. Tärkeimmät näköympäristön tekijät suhteessa keino- ja päivänvaloon ovat:

- **luminanssijakauma**
  - Luminanssijakauma näkökentässä määrää silmien sopeutumistason, joka vaikuttaa kohteen näkyvyyteen.
  
- **valaistusvoimakkuus**
  - Valaistusvoimakkuudella ja sen jakaumalla työalueella ja sitä ympäröivällä alueella on suuri merkitys sille, kuinka nopeasti, turvallisesti ja miellyttävästi henkilö hahmottaa näkötehtävän ja suoriutuu siitä.
  
- **valon suuntaus, sisätilan valaisu**
  - Työkohteiden valaistuksen lisäksi myös tila, jossa ihmiset oleskelevat, tulisi valaista. Tämä valo on tarpeen korostamaan kohteita ja tekstuuria ja parantamaan tilassa toimivien ihmisten viihtyvyyttä. Ilmaisulla "keskimääräinen sylinterivalaistusvoimakkuus", "muodonanto" ja "suunnattu valaistus" kuvataan valaistusolosuhteita.
  
- **valon vaihtelevuus (valon tasot ja värit)**
  - Kellonajan mukaan vaihtelevat valaistusolosuhteet, kuten suurempi valaistusvoimakkuus, luminanssijakauma ja laajempi värilämpötilan vaihteluväli voivat stimuloida ihmisiä ja parantaa heidän hyvinvointiaan.
  
- **valon väri ja sen värintoisto-ominaisuudet**
  - Lampun värivaikutelma tarkoittaa sen säteilevän valon näkyvää väriä (väri-laatu). Sen määrittää lampun ekvivalenttinen värilämpötila (TCP).

Taulukko 1. Lampun värivaikutelma värilämpötilan funktiona. [SFS-EN 12464-1 s.10]

Värivaikutelma	Ekvivalenttinen värilämpötila $T_{CP}$
lämmin	alle 3 300 K
neutraali	3 300 K...5 300 K
kylmä	yli 5 300 K

- Näkötehokkuuden, mukavuuden ja hyvinvoinnin vuoksi ympäristön, siinä olevien kohteiden ja ihmisten ihon värien tulee toistua luonnollisena, oikeana ja tavalla, joka saa ihmiset näyttämään miellyttäviltä ja terveiltä.
- Valonlähteiden värintoisto-ominaisuuksien tasapuolista määrittämistä varten on kehitetty yleinen värintoistoindeksi  $R_a$ . Sen suurin arvo on 100.
- **häikäisy**
  - Häikäisy on tunne, jonka aiheuttavat näkökentässä olevat kirkkaat kohteet kuten valaistut pinnat, valaisinten osat, ikkunat ja/tai kattoikkunat. Häikäisyä tulee rajoittaa virheiden, väsymyksen ja tapaturmien välttämiseksi. Häikäisy voidaan kokea joko kiusahäikäisynä tai estohäikäisynä.
- **välkyntä**
  - Välkyntä häiritsee ja saattaa aiheuttaa fysiologisia oireita kuten päänsärkyä. [SFS-EN 12464-1 s.14 - 34]

Sisävalaistusstandardissa SFS-EN 12464-1 on taulukoitu (esimerkkinä taulukko 2) valaistusvaatimukset eri tehtäville ja toiminnoille seuraavasti:

- **Sarake 1** ilmaisee tilan (alueen), tehtävän tai toiminnan viitenumeron.
- **Sarake 2** ilmaisee ne alueet, tehtävät tai toiminnot, joita annetut vaatimukset koskevat. Mikäli tiettyä tilaa (aluetta), tehtävää tai toimintaa ei ole esitetty, sovelletaan samankaltaiselle tai vastaavalle tilanteelle annettuja arvoja.
- **Sarake 3** ilmaisee keskimääräisen ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden  $E_m$  tarkastelutasolla sarakkeessa 2 annetulle tilalle (alueelle), tehtävälle tai toiminnalle.
- **Sarake 4** ilmaisee UGR-häikäisyindeksin maksimi-arvon (Unified Glare Rating Limit, UGR, jota sovelletaan sarakkeessa 2 ilmoitetussa tilanteessa).
- **Sarake 5** ilmaisee valaistusvoimakkuuden tasaisuuden  $U_o$  vähimmäisarvon vertailutasolla sarakkeessa 3 ilmaistulla ylläpidettävällä valaistusvoimakkuudella
- **Sarake 6** ilmaisee pienimmän sallitun värintoistoindeksin ( $R_a$ ) sarakkeessa 2 esitetyille tilanteille.
- **Sarakkeessa 7** on annettu erityisvaatimuksia sarakkeessa 2 esitetyille tilanteille. [SFS-EN 12464-1 s.34]

Taulukko 2. Standardin SFS-EN 12464-1 valaistusvaatimustaulukko.

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	$E_m$ lx	UGR <sub>L</sub> -	$U_o$ -	$R_a$ -	Erityisvaatimukset
5.26.1	Arkistointi, kopiointi, jne.	300	19	0,40	80	
5.26.2	Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4,9
5.26.3	Tekninen piirtäminen	750	16	0,70	80	

### 3.3.3 Valaistuksen ohjaus

Valaistuksen käyttö vain silloin kun sitä tarvitaan, on tärkeimpiä yksittäisiä seikkoja valaistuksen energiankulutuksen vähentämisessä. Tämäkin voidaan nykyään hoitaa automaattisesti kehittyneen ohjaustekniikan avulla. Valaistuksen energiankulutuksen vähentäminen ei tarkoita valon määrästä tai laadusta tinkimistä. Uusilla ohjaustekniikoilla voidaan valaistuksen määrää ja laatua jopa parantaa, ja silti säästää käyttökustannuksissa. [Valaistus, Motiva 2015]

Rakentamismääräyskokoelman D2 mukaan valaistuksen ryhmittely, energiansyöttö ja ohjaus tulee toteuttaa siten, että valaistusta voidaan vaihdella tehtävien toimintojen ja luonnonvalon määrän mukaisesti.

Alla on esitettyä kaksi eri valaistuksen eri ohjaustapaa ja niiden vaikutusta energiankulutukseen.

**Valaistuksen käyttöajan ohjaus**, jossa valaistuksen päällä oloa pyritään ohjaamaan tarpeen mukaisesti. Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi:

- Hämäräkytkin
- Läsnaolo-ohjaus (automaattinen sytytys ja sammutus)
- Poissaolo-ohjaus (manuaalinen sytytys ja automaattinen sammutus)
- Kello-ohjaus
- Porrasvaloautomaatit
- Avainkorttilukijat

Ohjauksen vaikutus energiankulutukseen vaihtelee voimakkaasti. Säästöpotentiaali on tyypillisesti suuruusluokkaa 15–30 %, mutta on myös tiloja, joissa säästö voi olla selvästi suurempikin (kuten esimerkiksi WC-tilat).

**Valaistuksen määrällinen ohjaus** tarkoittaa keinovalaistuksen tarpeenmukaista säätöä niin, että saatavilla olevan päivänvalon lisäksi käytetään keinovalaistusta alueellisesti vain sen verran, että asetettu valaistusvaatimus toteutuu. Määrällinen ohjaus voi olla myös valaistusvoimakkuuden säätöä toiminnallisten tarpeiden mukaisesti, kuten auditorio- ja neuvottelutiloissa. Tällöin ensisijaisena tavoitteena ei ole energiansäästö, vaan säästöä saavutetaan primäärisen tavoitteen sivutuotteena. Määrällisen ohjauksen menetelmiä ovat esimerkiksi:

- Manuaalinen himmennys
- Tilanneohjaus
- Vakiovalo/päivänvalo-ohjaus
- Poissaolovalaistus (valaistus himmennetään läsnäolotiedon avulla pienemmälle tasolle, kun tilassa ei oleskella).

Ohjauseriaatteella saavutettava energiansäästö riippuu päivänvalon saatavuudesta (ikkunoiden ilmansuunnat, rakennuksen sijaintipaikkakunta, ikkunarakenne, ikkunapinta-ala, ikkunan yläreunan korkeus, tilan syvyys, lasipinnan valon läpäisyominaisuudet, ulkopuoliset varjostavat rakenteet, ohjauseriaate, anturien määrä ja sijoitus, tilojen käyttöaika, ohjausjärjestelmän asetukset, jne.).

Vakiovalo-ohjaus kompensoi myös alenemasta johtuvan ylimitoituksen, josta syntyy valonlähteestä ja tilan likaisuudesta riippuen luokkaa 10–25 % energiansäästö. [RakMK D5 s.27]

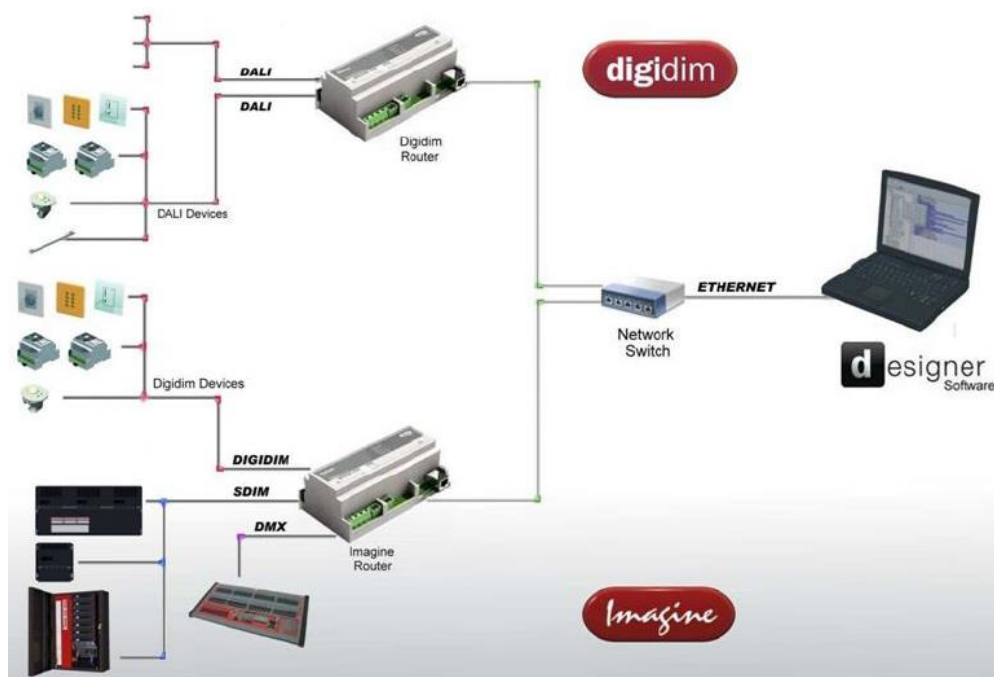
Vaikutus energiankulutukseen vaihtelee voimakkaasti. Säästöpotentiaali on suuruusluokkaa 10–40 %. Myös aleneman kompensoitumisesta saavutetaan 10–25 % säästö. [Valaistuksen energiatehokkuustekijät, Markku Varsila 2014]

### 3.3.4 DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on valaistuksen ohjaukseen tarkoitettu osoitteellinen, digitaalinen väyläprotokolla. DALI-järjestelmässä laitteet ovat väylässä, jonka maksimipituus on 300 metriä ja topologia on vapaa. Väylä on kaksijohtiminen ja se tulee olla verkkojännitteen kestävä. Se voidaan asentaa saman johtovaipan sisään ryhmäjohtoon kanssa (esim. MMJ 5x1,5S).

Helvarin DIGIDIM –reititinjärjestelmä (kuva 5) kykenee ohjaamaan kahta DALI-aliverkkoa, joissa kussakin voi olla enintään 64 laitetta. Jokaisella laitteella on oma osoitteensa. Reitittimien, sisääntuloyksiköiden tai muiden väyläratkaisujen avulla voidaan yhdistää eri järjestelmiä. Järjestelmän käyttöönotto ja muutokset vaativat ohjelmointia ohjelmointityökalulla (esim. Helvar Designer tai Helvar Digim Toolbox). Jokaiselle valaisimelle voidaan ohjelmoida oma ohjaus tai valaisimia voidaan ohjata ryhmänä eri tilanteilla. Reititinjärjestelmässä valaistukseen voidaan ohjelmoida 128 eri tilannetta.

Vapaamuotoinen väylärakenne on muutosystävällinen ja tekee ohjausjohtotuksesta yksinkertaisen. Valaistuksen ohjausryhmien muutokset hoituvat ohjelmallisesti eivätkä vaadi fyysisiä kytkentämuutoksia. Myös valaisimien toiminnasta saadaan tieto osoitteellisuuden ja kaksisuuntaisen tiedon vuoksi. [DALI Technical Overview, ZVEI työryhmä 2016]



Kuva 5. Esimerkki Helvarin DALI-reititinjärjestelmästä. [DALI-peruskurssi, opetusmateriaali 2013]



## **4 KOHDEKIINTEISTÖ**

Kohdeyritys eli opinnäytetyön tilaaja omistaa tarkasteltavan toimistokiinteistön. Modernisointia pilotoidaan omissa kiinteistöissä, jotta modernisointikonsepti kehittyy valmiiksi asiakkaille tarjottavaksi tuotteeksi.

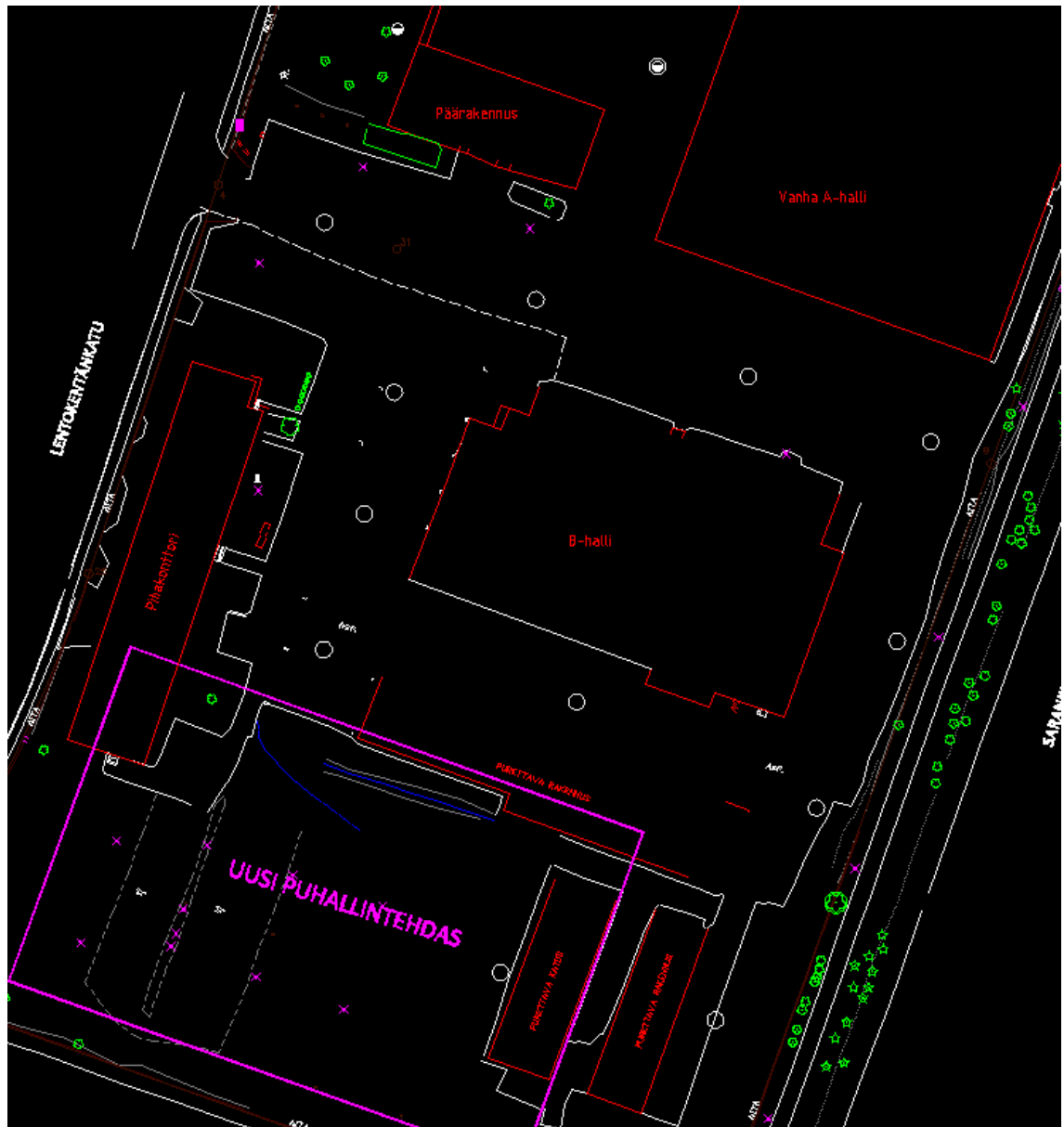
### **4.1 Kohdeyritys**

Kohdeyritys kehittää, valmistaa ja markkinoi laadukkaita, energiaa ja ympäristöä säästäviä, teknistä osaamista vaativia ilmastointi- ja ilmapuhaltusratkaisuja sekä puhaltimia rakentamisen ja teollisuuden tarpeisiin.

Asiakkaiden tarpeen ja kiristyneiden ympäristö ja -päästösopimusten myötä kohdeyrityksen halu laajentua ja olla edelläkävijä kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamisessa johti uuden liiketoimintakonseptin luomiseen. Se käsittää kiinteistön kokonaisvaltaisen energiamodernisoinnin avaimet käteen -periaatteella. Kohdeyritys tarjoaa modernisointia ilmanvaihtoon, valaistukseen ja automaatioon, jotka kattavat kiinteistön energiankulutuksesta hyvin suuren osan. Tällä konseptilla lähdettiin myös kartoittamaan kohdeyrityksen omia kiinteistöjä ja opinnäytetyöaiheeksi valikoitui Tampereen pääkonttori.

### **4.2 Kohteen yleistiedot**

Kohdeyrityksen päätoimipiste sijaitsee Tampereella ja tontilla (kuva 6) on pääkonttori, toimistorakennus sekä kolme teollisuushallia. Tontilla on aloitettu mittavat saneeraus- ja uudisrakennustyöt, joiden aikana nykyinen C-halli puretaan ja tilalle rakennetaan uusi A-halli. Nykyinen A-halli puretaan osittain ja B-hallissa tehdään saneeraus. Lisäksi pihakonttori puretaan osittain. Viimeisenä puretaan nykyinen pääkonttori ja rakennetaan tilalle uusi.



Kuva 6. Tontin asemakuva.

Pääkonttori on rakennettu vuonna 1971 ja se on pinta-alaltaan noin 1 000 m<sup>2</sup>. Kiinteistöissä on toimistohuoneita, avotoimistoja, neuvottelutiloja, ruokala, keittiö, aula, arkisto, serverihuone, sekä puku- pesu- ja WC-tiloja.

### 4.3 Kohteen ilmanvaihto ja rakennusautomaatio

IV-kartoituksen yhteydessä on selvitetty ilmanvaihtokoneiden toimintaperiaate, tutustuttu automaatioon, perehdytty käyttötarkoitukseen, haastateltu tilan käyttäjiä ja tutkittu

IV-koneiden, puhaltimien ja moottoreiden tyypit, kilpiarvot sekä ohjaustavat. Näiden perusteella on selvitetty ilmanvaihtojärjestelmän ja automaation nykytilanne ja sen avulla on tehty modernisointiehdotus.

Kiinteistössä on kaksi tuloilmakojetta, joista TK02 palvelee keittiötä ja TK01 muuta rakennusta. Kojeeissa on lämmityspatterit ja varaus jäähdytykselle. Lisäksi TK01:ssa on ilman kostutus, joka on poistettu käytöstä. Puhaltimet ovat suorakäyttöisiä, hihnavetoisia ja yksinopeuksisia.

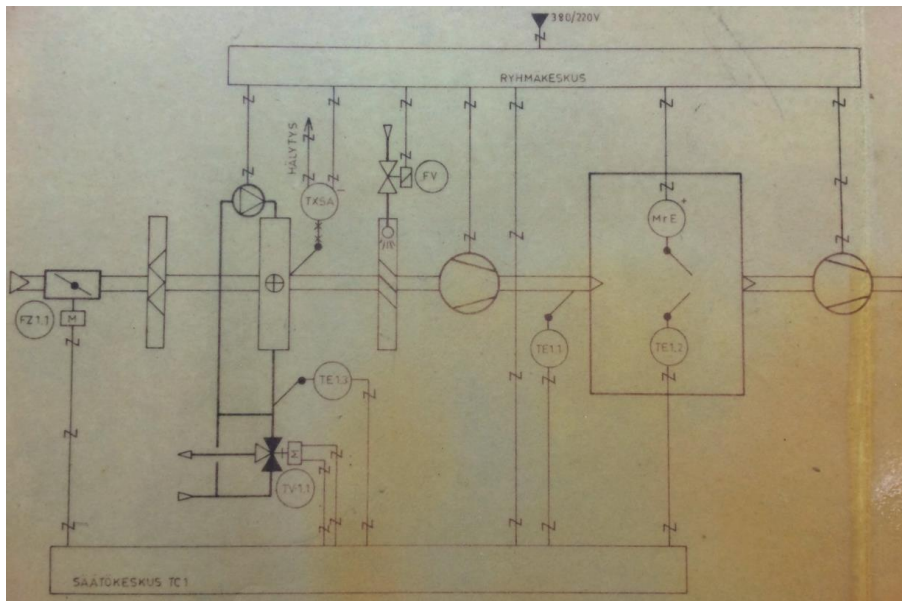
Poistoilma hoidetaan kiinteistössä kahden huippuimurin avulla PK01 ja PK02, joista PK02 on yhdistetty keittiön huuvaan ja PK01 hoitaa muun rakennuksen poistoilman. Lämmöntalteenottoa ei ole.

Ilmamäärät saatiin koneiden tyyppikilvistä. TK01 ja PK01 ilmamäärä on 1,1 m<sup>3</sup>/s ja TK02 ja PK02 ilmamäärä on 0,7 m<sup>3</sup>/s.

Kohteen rakennusautomaatio on vuodelta 1971, ja se on hyvin yksinkertainen. Ilmanvaihtoa ohjataan kellokytkimien aikaohjelmilla arkisin klo 5.00 – 18.00. Viikonloppuisin koneet ovat pysähdyksissä. Lisäksi maanantaiaamuna koneet käynnistyvät kello 4.00.

Rakennuksessa on myös automaattilukot ja työaikaseurantajärjestelmä. Ne ovat kuitenkin käyttökuntoiset ja niitä ei ole syytä modernisoida.

### 4.3.1 IV-kojeiden toiminta



Kuva 7. TK01 toimintakaavio.

TK01 (kuva 7) ja TK02 toimivat samalla periaatteella eli kojeen käydessä TE1.1 ja TE1.2 ohjaavat moottoriventtiiliä TV1.1 säätökeskuksen TC1 kautta pitäen huonelämpötilan vakiona. TE1.1 toimii lisäksi sisäänpuhalluslämpötilan minimirajoitustermostaattina.

Kojeen seistessä on raitisilmapelti kiinni ja paluovesituntoelin TE1.3 ohjaa moottoriventtiiliä pitäen patterin paluuvien lämpötilan vakiona. Jäätymissuojatermostaatti TXSA pysäyttää puhaltimen ja hälyttää lämpötilan laskiessa alle asetusarvon. Tuloilmapuhallin pakkokytetään patterin kiertovesipumpun kanssa siten, että puhallin ei käynnisty, ellei pumppu käy. Kostutus ei ole käytössä.

Kohteessa ilmanvaihdon kuluttama sähköenergia on nykyhetkellä noin 19,5 MWh ja lämpöenergia noin 68,2 MWh vuodessa. SFP-luku on 3,15 kW/(m<sup>3</sup>/s). Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän käytöstä syntyy kuluja (energiankulutus + ylläpito) vuodessa noin 6 800 €. Tulokset ja kustannukset ovat laskennallisia arvoja perustuen nykyisiin tehoihin, käyttötunteihin, käyttäjähaastatteluihin ja standardeihin.

#### 4.4 Kohteen valaistus

Modernisointihanketta valmisteleavan valaistuskartoituksen yhteydessä on mitattu valaistusvoimakkuus, selvitetty valaisintiedot, perehdytty käyttötarkoitukseen, haastateltu tilan käyttäjiä ja tutustuttu tilaan yleisesti. Näiden perusteella on selvitetty valaistuksen nykytilanne ja sen avulla on tehty modernisointiehdotus.

Kohteessa yleisvalaistus on toteutettu 2 x 58 W loisteputkivalaisimilla avotoimistoissa ja toimistohuoneissa. Neuvotteluhuoneissa, ruokalassa ja aulassa on 4 x 18 W loisteputkivalaisimet. Avotoimistoissa on valaisinripustuskiskot ja muissa tiloissa valaisimet ovat uppoasennettuja pois lukien ruokalan pinta-asennetut valaisimet.

Valaistuksen ohjaus on toteutettu kytkimillä, jotka laitetaan päälle työpäivinä ensimmäisen työntekijän saapuessa. Valaisimet sammutetaan viimeisen töistä lähtijän toimesta. Usein kuitenkin valot saattavat jäädä palamaan koko yöksi ja myös neuvotteluhuoneissa ja aulassa kertyy paljon turhia polttotunteja valojen palaessa, vaikka ketään ei ole paikalla. Valaistuksen huolto on ollut lähinnä lamppujen vaihtoa, mutta puhdistusta ei ole tehty koskaan ja tästä syystä valotaso on paikoin heikentynyt. Kartoitushetkellä oli palanut noin 5 % lamppuista.

Kohteessa on kannattavaa hyödyntää päivänvaloa, sillä ikkunoita on paljon, ja näin ollen päivänvalon määrä on standardin SFS-EN 15193 mukaan voimakas. Tilojen käyttömäärät vaihtelevat ja sen ansiosta läsnäolotunnistuksen ja aikaohjelmien hyödyntäminen olisi järkevää.

Tiloissa on nykyisellä valaistusratkaisulla riittävästi valoa, mutta paikoin liikaakin, jonka tuottaminen kuluttaa merkittävästi energiaa. Valaistusvoimakkuuden pudottamisella tasolle, joka on silti riittävä toimisto- ja neuvottelutiloihin, saadaan merkittäviä energiasäästöjä ilman, että käyttäjät kokevat valaistuksen huonontuneen.

Kohteessa valaistuksen energiankulutus on nykyhetkellä noin 63,5 MWh vuodessa. Ominaiskulutus on 20,4 W/m<sup>2</sup>. Nykyisen valaistusjärjestelmän käytöstä syntyy kuluja (energiankulutus + ylläpito) vuodessa noin 8 500 €. Tulokset ja kustannukset ovat laskennallisia arvoja perustuen nykyvalaistuksen tehoon, käyttötunteihin, käyttäjähaastatteluihin ja standardeihin.

## 5 MODERNISOINTIRATKAISUT

Nykytilanteen kartoituksen perusteella on tehty modernisointiratkaisu, joka voidaan toteuttaa avaimet käteen -periaatteella. Alla olevissa kappaleissa on selitetty eri osa-alueiden modernisoinnit, joista asiakas voi valita haluamansa osuuden tai kokonaisvaltaisen paketin.

### 5.1 Ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiosuunnittelu

Nykyiset ilmanvaihtokoneet ja huippuimurit ovat alkuperäiset, joten ne ovat elinkaarensa päässä. Tämän takia pelkkää puhallin- ja moottoripäivitystä ei kannata tehdä, vaan uusia tulokoneet ja huippuimurit kokonaan. Myös automaatio, jolla koneita ohjataan, on vanhaa teknologiaa, joten se uusitaan. Suunnittelussa pyritään käyttämään olemassa olevia kanavia ja päätelaitteita, sillä ne ovat vielä toimintakuntoiset. Asennustöitä kuitenkin tulee IV-konehuoneen kanavoinnista ja LTO:n putkituksesta.

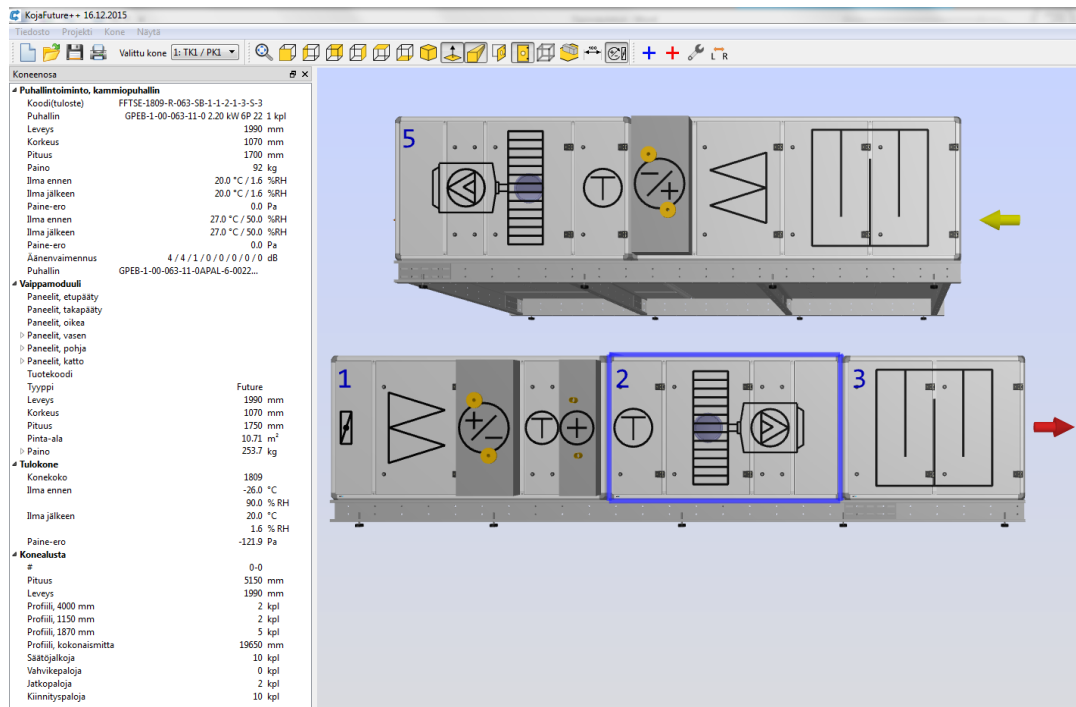
Käyttäjähäastatteluiden perusteella ilman laatu koetaan ajoittain huonoksi, joka ilmenee viireystilan heikentymisenä, joten ilmanvaihtosuunnittelu aloitettiin määrittämällä riittävä ulkoilmavirta D2 Rakentamismääräyskokoelman taulukoiden mukaisesti. Mitoitus tehtiin laskemalla jokaisen tilan pinta-ala ja kerrottiin se taulukon 3 mukaisilla arvoilla. Menetelmällä saatiin ulkoilmavirran arvoksi 2,6 m<sup>3</sup>/s. Ulkoilmavirran kasvaessa nykyisestä myös painehäviöt kanavissa kasvavat ja sen myötä energiankulutus hieman nousee. Lisäksi tulee huomioida, etteivät äänitasot saa nousta ohjearvojen yläpuolelle kasvaneen ilmavirtauksen vuoksi.

Taulukko 3. Ohjearvot toimistorakennuksen ilmavirtojen mitoitukseen. [RakMK D2 s.26]

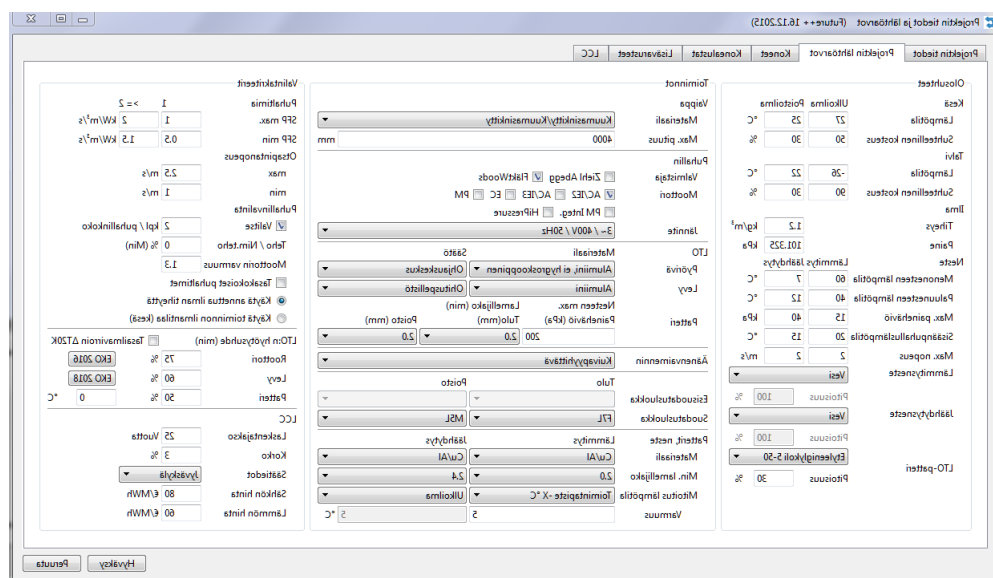
Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta (dm <sup>3</sup> /s)/hlö	Ulkoilmavirta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Poistoilmavirta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Äänitaso L <sub>A,eq,T</sub> / L <sub>A,max</sub> dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Toimistohuone ja vastaavat tilat	8	1,5	0,35	33 / 38 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Neuvotteluhuone		4		33 / 38	0,20 / 0,30	#3
Asiakastila		2		38 / 43	0,30 / 0,40	#2,
Käytävätila		0,5		38 / 43	0,30	#2,
Kahvio, taukotila		5		38 / 43	0,25	
Arkisto, varasto						
Tupakointitila: – rakennuksen käyttöaikana – rakennuksen käyttöajan ulkopuolella			20	38 / 43	0,30	#4
Kopiointihuone		1	10			#4
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilman nopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.					
#3	Jos rakennuksessa on kolme tai useampia neuvotteluhuoneita, on niiden ilmanvaihto oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.					
#4	Tupakointitilan on aina oltava alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.					

## 5.1.1 Laitevalinnat

Tuloilmakoneen mitoituksessa käytettiin apuna Future++ -ohjelmaa (kuva 8), jolla saadaan valittua haluttu kone. Ohjelmaan syötetään projektin tiedot ja lähtöarvot (kuva 9), jonka jälkeen valitaan koneen ja mahdollisen LTO:n tyyppi. Lisäksi voidaan valita jäähdytys ja äänenvaimennin. Tämän jälkeen syötetään ilmavirta ja paine, joiden avulla ohjelma mitoittaa vaihtoehtoiset konetyypit (kuva 10).



Kuva 8. Future++ ilmanvaihdon mitoitusohjelma.



Kuva 9. Future++ -mitoitusohjelman lähtöarvojen täyttö välilehti.

Projektiin tiedot Projektin lähtöarvot Koneet Konealustat Lisävarusteet LCC

Projekti yhteensä SFP 0.60, 1.6 kW Hinta 0 €

Ilmavirrat, Paineet Materiaalit, Lämpötilat Tiedot

#	Tulo			Poisto		
	Tyyppi	Positio	Kät. Q (m³/s) dP(Pa)	Koko	Positio	Kät. Q (m³/s) dP(Pa)
1	Future	TK1	2.6	300	Auto	

Lisää mallikone Kopioi valittu Poista kone

SFP	LTO	Vo	Hinta	Konekoko	Mitat WxHxL	LTO(EKO)	Puhaltimet
0.60	0	1.1	13658.3	1515	1670x1670x4350	0	GPEB-1-00-063-11-0/APAL-6-00220-2-2-7
0.61	0	1.2	13419.8	1812	1990x1350x4400	0	GPEB-1-00-063-11-0/APAL-6-00220-2-2-7
0.62	0	1.1	14077.6	1515	1670x1670x4450	0	GPEB-1-00-071-13-0/APAL-6-00300-2-2-7
0.62	0	1.2	14680.4	2409	2550x1070x4350	0	GPEB-1-00-063-11-0/APAL-6-00220-2-2-7
0.63	0	1.2	13825	1812	1990x1350x4500	0	GPEB-1-00-071-13-0/APAL-6-00300-2-2-7
0.64	0	1.1	13287.9	1515	1670x1670x4300	0	GPEB-1-00-056-10-0/APAL-4-00300-1-2-7
0.64	0	1.3	13757.4	1810	1990x1190x4350	0	GPEB-1-00-063-11-0/APAL-6-00220-2-2-7
0.64	0	1.1	13287.9	1515	1670x1670x4300	0	GPEB-1-00-056-11-0/APAL-6-00220-2-2-7
0.64	0	1.4	12512.5	1512	1670x1350x4350	0	GPEB-1-00-063-11-0/APAL-6-00220-2-2-7
0.65	0	1.2	14015.7	1812	1990x1350x4500	0	GPEB-1-00-080-13-0/APAL-6-00300-2-2-7
0.65	0	1.2	13034	1812	1990x1350x4350	0	GPEB-1-00-056-10-0/APAL-4-00300-1-2-7

Kuva 10. Future++ -ohjelman koneen valinta välilehti.

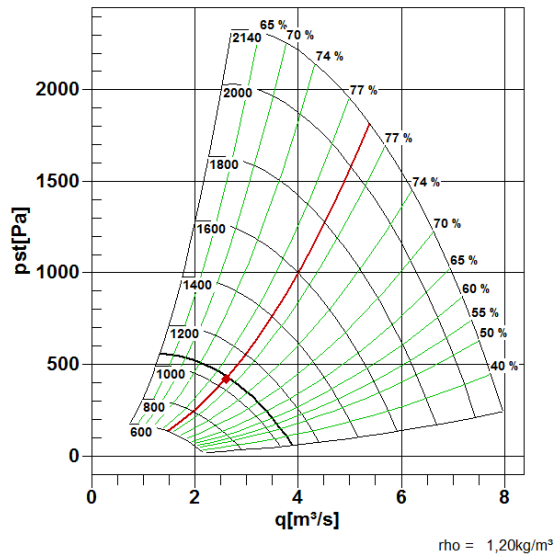
Uuden tuloilmakoneen malliksi valikoitui Koja Oy:n SMARTAiR IV-kone (kuva 11), joka toimitetaan valmiina pakettina sisältäen Schneider Electricin automaatiojärjestelmän.



Kuva 11. Koja SMARTAir IV-kone. [Future esite]

IV-koneen valinnan jälkeen ohjelmasta tulee tarkistaa puhaltimien ja moottoreiden tyyppi. Tässä tapauksessa tulopuhaltimen puhallinkäyrän toimintapiste oli liian vasemmalla, eli puhallin oli ylimitoitettu, jolloin hyötysuhde oli alle 65 %. Uuden puhaltimen valinnan jälkeen puhaltimen hyötysuhde nousi 77 prosenttiin (kuva 12).





Kuva 12. Mitoitusohjelman mitoittaman tulopuhaltimen puhallinkäyrä.

Asiakkaan toiveena oli lämmöntalteenotto ja se vaikutti huippuimureiden tyyppin valintaan. Tyypiksi valittiin Koja Oy:n HiFEK EC-03 -huippuimuri (kuva 13 ja liite 1), jonka moottoriin on sovellettu kestomagneettitekniikkaa ja se on nimensä mukaan elektronisesti kommutoitu. EC-moottoreilla saavutetaan erittäin hyvä hyötysuhde ja kierrosnopeuden ohjaaminen tapahtuu 0 – 10 V jänniteviestillä tai 4 – 20 mA virtaviestillä.

PK01 huippuimurin yhteyteen asennetaan Koja Oy:n HiLTO EC18 -korkean hyötysuhteen lämmöntalteenottoyksikkö (kuva 14 ja liite 2). Talteenoton ydin ovat lämmönsiirtonesteellä toimivat lamellipatterit, jotka putkitetaan tuloilmakoneelle TK01. Tämän ansiosta poistoilmasta saatava lämpö voidaan käyttää tuloilman esilämmitykseen, joka vähentää lämmitysenergian kulutusta huomattavasti.



Kuva 13. Koja Oy HiFEK-huippuimuri.  
[HiFEK esite]



Kuva 14. Koja Oy HiLTO-lämmöntalteenottoyksikkö.  
[HiLTO esite]

### 5.1.2 Ilmanvaihdon automaatio

SMARTAiR-tuloilmakoneeseen on saatavilla tehdasasenteinen Schneider Electric -automaatiojärjestelmä, johon tilaaja voi valita mieleisensä kokonaisuuden. SMARTAiR ennakoi, varmistaa ja valvoo ilmanvaihdon tehoa ja taloudellisuutta koko laitteen ja rakennuksen elinkaaren ajan. Toimitukseen on saatavilla myös valvomo-ohjelmisto. Automaatiossa käytetään Modbus-protokollaa. Valinnan jälkeen Future++ -ohjelma muodostaa säätökaavion (liite 3) ja toimintaselostuksen automaattisesti.

### 5.1.3 Ilmanvaihto- ja automaatiolaskelmat

Tässä kappaleessa on esitettyä vertailua nykyisen ja uuden ilmastointijärjestelmän eroista. Laskelmissa sähköenergian hintana on käytetty 12 snt/kWh ja lämpöenergian hintana 6 snt/kWh. Hinnoissa on huomioitu korot ja elinkaaren aikainen hinnan muutos. Kaikki hinnat ovat ALV 0 %.

Taulukon 4 mukaan IV:n sähköenergian kulutus laskee noin 25 % ja lämpöenergian kulutus noin 75 %. Tämä tarkoittaa noin 4 000 € säästöjä vuosittain. Myös ylläpitokustannukset laskevat, sillä uusissa puhaltimissa ei ole hihnavälitystä ja hihnan vaihdot poistuvat. Myös SFP-luku paranee uuden laitteiston myötä arvoon 1,6 kW/(m<sup>3</sup>/s) ja se on alle sallitun maksimiarvon 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).

Taulukko 4. Ilmanvaihtolaskelmat ja vertailu nykyisen ja uuden järjestelmän välillä sekä vuosittaiset kustannukset ja säästöt.

Ilmanvaihto	Nykyinen	Uusi
Käyttöaika	66 h/vko	66 h/vko
Ulkoilmavirta	1,8 m <sup>3</sup> /s	2,6 m <sup>3</sup> /s
Kokonaishyötysuhde	52 %	67 %
Kokonaisottoteho	5,7 kW	4,2 kW
SFP-luku	3,15 kW/(m <sup>3</sup> /s)	1,60 kW/(m <sup>3</sup> /s)
Sähköenergian kulutus	19,5 MWh	14,2 MWh
Lämpöenergian kulutus	68,2 MWh	16,4 MWh
Sähköenergian kustannus	2300 €/a	1700 €/a
Lämpöenergian kustannus	4100 €/a	1000 €/a
Ylläpitokustannus	400 €	50 €
<b>Kustannukset yhteensä</b>	<b>6800 €</b>	<b>2750 €</b>
<b>Säästö</b>	<b>0 €</b>	<b>4050 €</b>

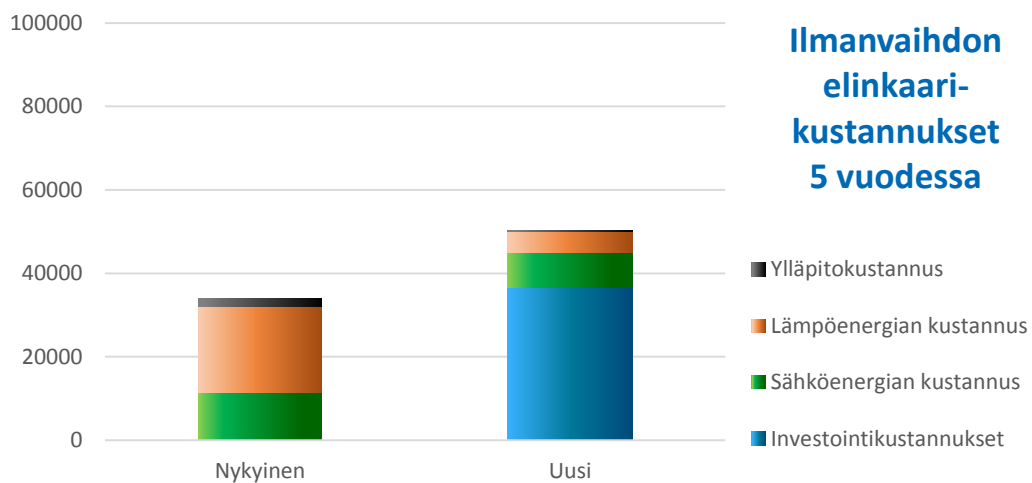
Taulukoissa 5 ja 6 sekä kuvassa 15 on esitettyä investointikustannukset, elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuaika IV:n osalta. Energiankulutuksissa on suuri ero uuden ja vanhan järjestelmän välillä, vaikka ilmamäärä kasvaa  $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tämä johtuu parantuneista puhaltimien ja moottoreiden hyötysuhteista, sekä LTO:n lisäyksestä.

Taulukko 5. Ilmanvaihtomodernisoinnin investointikustannukset.

Investointikustannukset	Uusi
Laitteet	21 200 €
Asennus	12 800 €
Mittaus ja säätö	2 500 €
<b>Yhteensä</b>	<b>36 500 €</b>

Taulukko 6. Ilmanvaihtomodernisoinnin takaisinmaksuaika.

Ilmanvaihto	
Sijoitettu pääoma	36 500 €
Vuosituotto/säästö	4 050 €
Sijoitetun pääoman tuotto-% <b>ROI %</b>	<b>11,1 %</b>
<b>Takaisinmaksuaika</b>	<b>108 kk</b>



Kuva 15. Rakennuksen elinkaaren aikaiset ilmanvaihtokustannukset..

Rakennuksen elinkaaren ollessa näin lopussa, suuren investoinnin ja pitkän takaisinmaksuajan takia modernisointi tässä mittakaavassa ei ole kannattavaa. Toteutukseen johtavaa modernisointia varten on tehtävä lisätutkimuksia ja selvittää pärjätäänkö pelkällä tulopuhaltimien vaihdolla ja LTO:n pois jättämisellä. Tällöin investointi on merkittävästi pienempi ja sisäilman laatu kuitenkin paranee kohtuullisesti.

## 5.2 Valaistussuunnittelu

Valaisimina käytettiin kotimaisia Ensto Lightingin LED -valaisimia. Valaisinten sijoittelussa on pyritty käyttämään olemassa olevia asennuspaikkoja ja valaisinripustuskiskoja. Myös valaisinten sähkönsyöttö pyrittiin toteuttamaan vanhojen kaapeleiden avulla. DALI-väylä kuitenkin tarvitsee verkkojännitteen kestäväää kaapelointia (esim. MMJ 3x1,5S). Valaistussuunnittelussa on huomioitu valaistuksen energiatehokkuus ja laatu sekä turvallisuusnäkökulmat.

### 5.2.1 Mallinnus

Valaisinratkaisujen suunnittelussa ja laskennassa on käytetty avoimen lähdekoodin valaisinvalmistajista riippumatonta Dialux-valaistuslaskentaohjelmaa, jolla tiloista voidaan luoda todellisuutta vastaavat 3D-mallit. Ohjelman avulla on suunniteltu uudet valaistukset ja saavutettu luotettavat valaistuksen laskentatulokset sekä tarkasteltu jokaista tilaa visuaalisesti.

Valaistusratkaisut täyttävät sisätyöpaikkojen valaistukselle standardissa SFS-EN 12464-1 asetetut vaatimukset. Standardi määrittelee määrälliset ja laadulliset vaatimukset, jotka takaavat työntekijöiden viihtyvyyden ja tuottavuuden työtiloissa. Taulukossa 7 on esitetty standardin vaatimukset kohteen eri tiloille ja niiden työalueille.

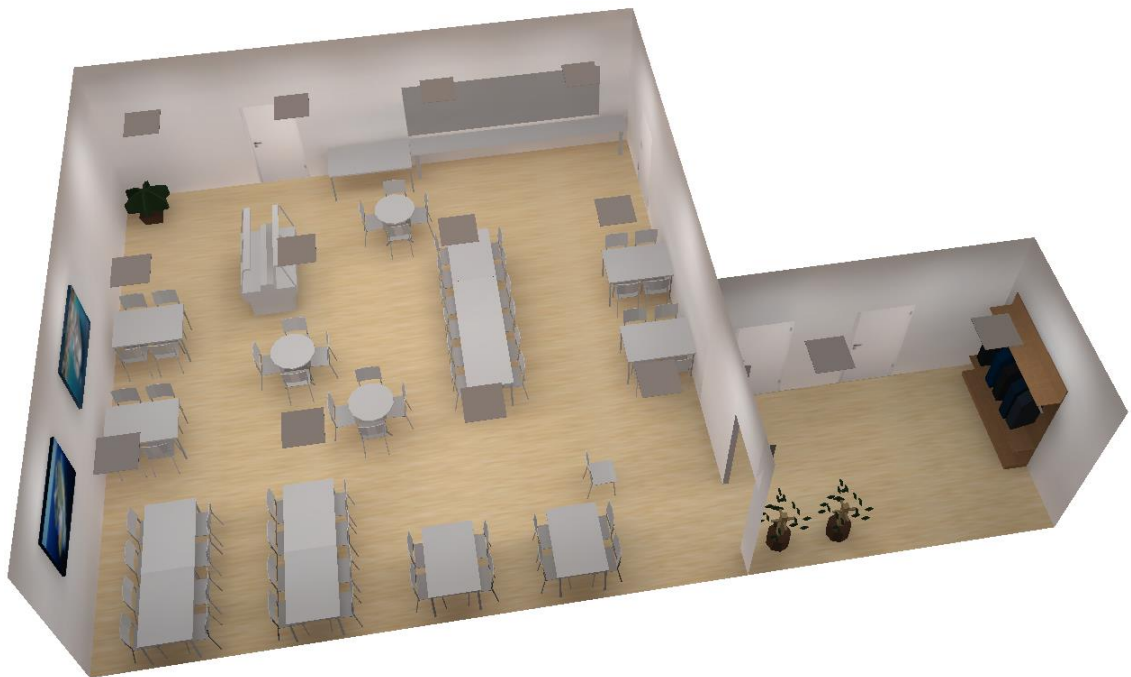
Taulukko 7. Valaistusvaatimukset. SFS-EN-12464-1

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	$E_m$	UGR	$U_o$	$R_a$
5.2.1	Kahvihuoneet	200	22	0,4	80
5.2.4	Pesutilat, kylpyhuoneet, WC	200	25	0,4	80
5.3.1	Talotekniset tilat, kytkentälaitetilat	200	25	0,4	60
5.4.1	Varastotilat	100	25	0,4	60
5.26.1	Arkistointi, kopiointi, jne	300	19	0,4	80
5.26.2	Toimistotyöskentely, CAD työasemat	500	19	0,6	80
5.26.5	Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,6	80
5.26.6	Arkistot	200	25	0,4	80
5.29.2	Keittiö	500	22	0,6	80
5.29.3	Ruokasali	-	-	-	80

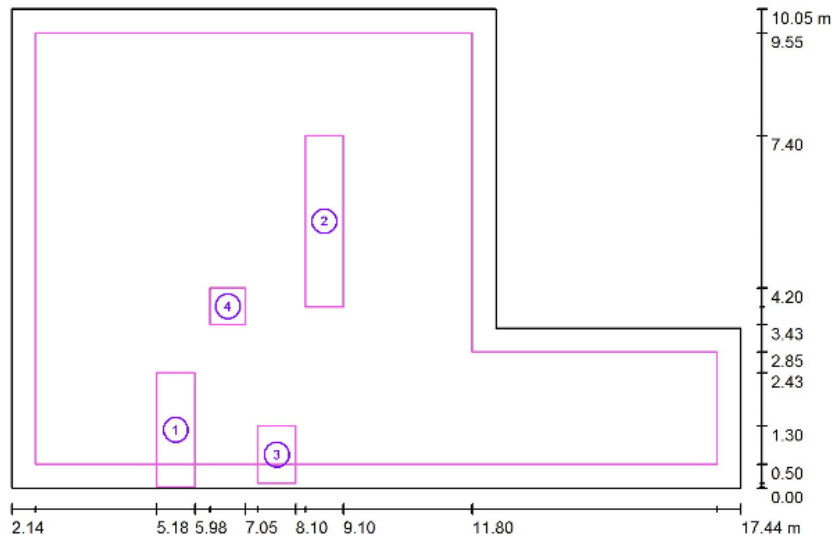
Ruokasalin valaistusvoimakkuudelle, häikäisylle ja valon tasaisuudelle ei ole annettu arvoja, mutta erityisvaatimussarakkeessa todetaan, että valaistus tulisi suunnitella niin, että se luo sopivan ilmapiirin.

Lähtötilanteessa valaistus on mitoitettu käyttäen huoltokertoimenä 0,9, joka huomioi valaisinten valotehon aleneman käyttöään aikana (5 %), sekä likaantumisen johtuvan valotehon putoamisen (5 %). Tällä mitoitusmenetelmällä taataan valaistusvaatimusten täyttyvän koko elinkaaren ajan, joka tässä rakennuksessa tarkoittaa 3-5 vuotta.

Kohteen jokaisesta tilasta tehtiin mallinnus pois lukien WC:t, toinen arkisto ja tekniset tilat. Esimerkkikuvissa 16 – 19 on esitettyä ruokalan mallinnus ja tulokset.



Kuva 16. Dialux mallinnus ruokalasta.



Kuva 17. Dialux työalueet ruokalasta.

Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
Työalue 1	4 x 8	310	231	358	0.745	0.647
Työalue 2	4 x 16	378	353	404	0.934	0.873
Työalue 3	4 x 4	282	241	321	0.856	0.750
Työalue 4	4 x 4	363	355	373	0.978	0.952
Ympäröivä alue	128 x 128	314	154	403	0.491	0.382

Kuva 18. Dialux tulokset ruokalasta.

Numero	Tunnus	Sijainti [m]			Näkökulma [°]	Arvo
		X	Y	Z		
1	UGR-laskelmapiste 1	4.400	3.300	1.200	0.0	18
2	UGR-laskelmapiste 2	5.182	1.553	1.200	0.0	17
3	UGR-laskelmapiste 3	9.100	5.873	1.200	180.0	17
4	UGR-laskelmapiste 4	7.446	8.569	1.200	-90.0	18
5	UGR-laskelmapiste 5	8.100	0.982	1.200	180.0	17
6	UGR-laskelmapiste 6	11.418	6.500	1.200	-90.0	16
7	UGR-laskelmapiste 7	3.152	3.631	1.200	90.0	16

Kuva 19. Dialux UGR arvot ruokalassa.

Tärkeimpien tilojen Dialux mallinnukset ja tulokset ovat esitettyinä liitteissä 4 – 5. Mallinnuksen jälkeen saatiin tehtyä valaisinluettelo, joka on esitetty taulukossa 8. Se sisältää kaikki uudet valaisimet, sekä niiden DALI-virrankulutukset ja osoitteet.

Taulukko 8. Valaisinluettelo.

Valaisinluettelo	Määrä	DALI virran- kulutus (mA)	Dali osoitteet	Teho (W)
<b>Ensto Lighting</b>				
Monixslim + tutka	14	0	0	47
Monixslim	5	0	0	47
Monixslim DALI	1	2	1	47
Tino 45 W DALI	39	78	39	44
Tino 59 W DALI	41	82	41	58
Diana DALI	45	90	45	40
Aluno + tutka	4	0	0	13
Aluno	3	0	0	12
<b>Yhteensä</b>	<b>152</b>	<b>252</b>	<b>126</b>	<b>6922</b>

### 5.2.2 Valaistuksen ohjaus

Ohjaukset tiloihin on suunniteltu siten, että ne huomioivat ikkunoista tulevan päivänvalon, sekä tilakohtaisen työskentelyn läsnäolotunnistusta käyttäen. DALI-verkot liitetään yhteen Helvarin Digidim-reititinjärjestelmällä, joka käyttää normaalia Ethernet-yhteyttä. DALI virrankulutus- ja osoitelaskelmat ovat esitettynä taulukossa 9. Laskelmissa selvisi, että DALI-väyliä tulee neljä, jolloin tarvitaan kaksi Helvarin Digidim 910-reititintä (kuva 20). Ne asennetaan molempien kerrosten keskuksien viereen omaan koteloon.



Kuva 20. Helvar 910-reititin. [Helvar tuotekatalogi 2014]

**Toimistohuoneisiin** asennetaan 132-painikkeet (kuva 21), joihin ohjelmoidaan päälle-, pois- ja himmennystoiminnot. Tällöin valaisimien valotehokkuutta säädetään käyttötarpeen mukaan ja keinovalon määrän laskeminen vähentää valaistuksen energiankulutusta ja lisää valaisimien käyttöikää.



Kuva 21. Helvar 13XX painikkeita. [Helvar tuotekatalogi 2014]

**Avotoimistoihin** sijoitetaan 312-multisensorit (kuva 22), jotka huomioivat päivänvalon ja säätävät keinovalon määrän sopivalle tasolle. Lisäksi avotoimistoihin asennetaan 313-mikroaaltotunnistimet (kuva 23), jotka ohjaavat valoja päälle ja pois läsnäolon mukaan.



Kuva 22. Helvar digidim 312 multisensor. [Helvar tuotekatalogi 2014]



Kuva 23. Helvar digidim 313 mikroaaltotunnistin. [Helvar tuotekatalogi 2014.]

**Neuvottelutiloihin** sijoitetaan 135-painikkeet, joihin ohjelmoidaan esim. esitystilanne, valot 100 %, valot 0 % ja himmennystoiminnot. Lisäksi alakerran neuvottelukabinettiin asennetaan 312-multisensori, joka säätää keinovalon määrää päivänvalon mukaan. Neuvottelukabinetin painikkeeseen ohjelmoidaan myös vakiovalotilanne.

**Keittiöön ja ruokalaan** asennetaan 313-läsnäolotunnistimet ja yksi 312-multisensori, joka ohjaa koko tilan keinovalon määrää päivänvalon mukaan.



**Aulaan** tulee 312-multisensorilla toteutetun vakiovalo-ohjauksen lisäksi aikaohjelma, joka pitää valot päällä työaikana.

Valaistuksen älykäs ohjaus myös mahdollistaa valaistuksen uudelleen ohjelmoimisen, jolloin käyttötarpeen muuttuessa valaistus saadaan optimoitua uuden tarpeen mukaiseksi ilman valaisinten vaihtoa.

**Muiden tilojen** (arkistot, serverihuone, keittiön varastot, pesu/pukuhuoneet, WC:t, tekninen tila) ohjaus toteutetaan tunnistinvalaisimilla, jotka ohjaavat saman tilan orjavalaisimia. Näin valot palavat vain tarpeen mukaan, eikä turhia polttotunteja tule.

Taulukko 9. DALI-laiteluettelo ja virrankulutus- sekä osoitelaskelmat.

<b>DALI-laiteluettelo</b>	<b>Määrä</b>	<b>DALI virrankulutus</b>	<b>Dali osoitteet</b>
<b>Helvar</b>			
Multisensor 312	7	105	7
Mikrotunnistin 313	9	180	9
2-painike 132	11	110	11
7-painike 135	3	30	3
Reititin 910	2	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>32</b>	<b>425</b>	<b>30</b>

### 5.2.3 Valaistuslaskelmat

Tässä kappaleessa on esitettyä vertailua nykyisen ja uuden valaistusjärjestelmän eroista. Laskelmissa sähkön hintana on käytetty 12 snt/kWh. Kaikki hinnat ovat ALV 0 %. Hinnoinnissa on huomioitu korot ja elinkaaren aikainen hinnan muutos.

Taulukon 10 mukaan valaistuksen energiankulutus laskee noin 80 %, joka tarkoittaa noin 6 800 € säästöjä vuosittain. Ohjausjärjestelmän tuoma hyöty on mitoitettu rakentamismääräyskokoelman D5 ohjauksertoimien mukaan (läsnäolotunnistin ja päivänvalosäädin 0,70). Myös ylläpitokustannukset laskevat, sillä LED-valaisimien valonlähteitä ei tarvitse vaihtaa. Uuden järjestelmän ylläpitokustannukset muodostuvat valaisinten puhdistuksesta, joka on suositeltavaa tehdä kahden vuoden välein.

Taulukko 10. Valaistuslaskelmat ja vertailu nykyisen ja uuden järjestelmän välillä sekä vuosittaiset kustannukset ja säästöt.

Valaistus	Nykyinen	Uusi
Sisävalaisimet	178 Kpl	152 Kpl
Kokonaisteho	20,5 kW	7 kW
Valaistusteho	18,8 W/m <sup>2</sup>	6,4 W/m <sup>2</sup>
Energiankulutus / a	64,0 MWh	13,7 MWh
Energiakustannus / a	7 700 €	1 600 €
Ylläpitokustannus / a	900 €	200 €
<b>Kustannukset yhteensä / a</b>	<b>8 600 €</b>	<b>1 800 €</b>
<b>Säästö / a</b>	<b>0 €</b>	<b>6 800 €</b>

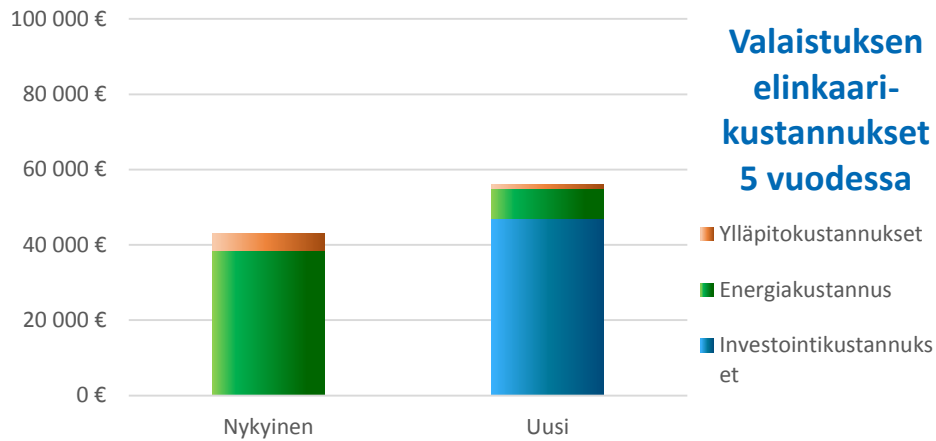
Taulukoissa 11 ja 12 sekä kuvassa 24 on esitettyä investointikustannukset, elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuaika. Vaikka energiankulutuksessa on suuri ero uuden ja vanhan järjestelmän välillä, niin takaisinmaksuaika on lähes 7 vuotta. Pitkän takaisinmaksuajan takia modernisointia tulee miettiä asiakkaan kanssa ja mahdollisesti soveltaa uutta järjestelmää vain tiloissa, joissa käyttötunnit ovat korkeat, kuten avotoimistot, toimistohuoneet, aula ja ruokala. Vähemmällä käytöllä olevat tilat, kuten varastot, WC, pukuhuoneet, pesutilat ja neuvottelutilat jättämällä modernisoinnista pois, saadaan investointikustannuksia merkittävästi pienemmäksi. Edellä mainitut tilat eivät ole energiankulutuksen kannalta ratkaisevia, joten takaisinmaksuaika voidaan jopa puolittaa kohdentamalla modernisointi vain osaan tiloista.

Taulukko 11. Valaistusmodernisoinnin investointikustannukset.

Investointikustannukset	Uusi
Valaisimet ja ohjaus	38 000 €
Asennus	8 500 €
Ohjelmointi	400 €
<b>Yhteensä</b>	<b>46 900 €</b>

Taulukko 12. Valaistuksen takaisinmaksuaika.

Uusi järjestelmä	
Sijoitettu pääoma	46 900 €
Vuosituotto/säästö	6 800 €
Sijoitetun pääoman tuotto-%	<b>14,5 %</b>
<b>ROI %</b>	
<b>Takaisinmaksuaika</b>	<b>82 kk</b>



Kuva 24. Rakennuksen elinkaaren aikaiset valaistuskustannukset.

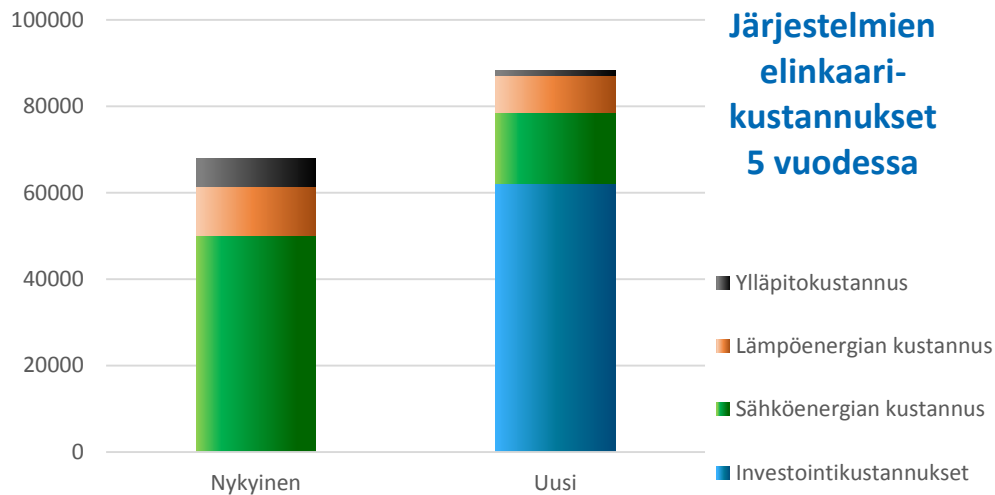
### 5.3 Laskelmien ja ratkaisujen teknisten ominaisuuksien yhteenveto

Taulukossa 13 on esitetty yhteenveto nykyisen ja modernisoidun järjestelmän energiankulutuksista ja käyttökustannuksista. Sen perusteella kokonaissäästö vuodessa on noin 8 350 euroa.

Taulukko 13. Yhteenveto nykyisen ja modernisoidun järjestelmän eroista.

Vuosikulutus ja -säästö	Nykyinen	Uusi
Sähköenergian kulutus	83,4 MWh	28,0 MWh
Lämpöenergian kulutus	19,5 MWh	14,2 MWh
Sähköenergian kustannus	10000 €/a	3 300 €/a
Lämpöenergian kustannus	2300 €/a	1700 €/a
Ylläpitokustannus	1300 €	250 €
<b>Kustannukset yhteensä</b>	<b>13600 €</b>	<b>5250 €</b>
<b>Säästö</b>	<b>0 €</b>	<b>8350 €</b>

Kuvassa 25 on esitetty elinkaarikustannukset rakennuksen elinkaaren aikana, eli viidessä vuodessa. Huomioitavaa on kuitenkin, että modernisoidun laitteiston elinkaari on 15 - 20 vuotta ja uudelleenkäyttö on mahdollista tulevassa pääkonttorissa.



Kuva 25. Rakennuksen elinkaaren aikaiset kustannukset.

Taulukossa 14 on esitetty kokonaismodernisoinnin vaikutus hiilidioksidipäästöihin vuodessa. Säästöt ovat merkittäviä ja edesauttavat osaltaan energiatehokkuusdirektiivin toteutumista. Direktiivin tavoitteena on saavuttaa 20 % energiansäästö EU:ssa vuoteen 2020 mennessä.

Taulukko 14. Järjestelmien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt vuodessa.

CO2 päästöt	
Nykyinen	21600 kgCO2
Uusi	8900 kgCO2
Erotusprosentti	59 %

Vaikka investoinnit ovat suuria ja takaisinmaksuaika on pitkä, niin sisäolosuhteiden paraneminen on yhtä tärkeä asia kuin kustannustehokkuus. Modernisoinnin myötä kiinteistö on laadullisesti nykyaikainen ja täyttää standardien vaatimukset niin ilmanvaihdon kuin valaistuksen osalta. Parantuneet sisäolosuhteet vaikuttavat käyttäjien mielialaan, vireyteen, ja työtehokkuuteen positiivisesti.

## 6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella toimistokiinteistöön kokonaisvaltainen energiamodernisointi. Työ on toteutettu tilaajan liiketoimintamallilla ja se sisältää tarkastelun valaistus-, ilmanvaihto- ja automaatiojärjestelmistä. Työssä perehdyttiin standardeihin, vaatimuksiin, määräyksiin sekä päästö- ja energiavaatimuksiin yleisesti, joiden pohjalta on suunniteltu laadullisesti ja energiatehokkuudeltaan nykyaikaiset järjestelmät.

Työn tavoitteissa onnistuttiin hyvin, sillä vanhojen ja uusien järjestelmien välinen vertailu todisti merkittäviä parannuksia niin laadullisesti kuin energiatehokkuudellisesti. Lisäksi hiilidioksidipäästöt laskevat merkittävästi, joka on arvokas asia ympäristön ja yrityksen imagon kannalta. Takaisinmaksuaika on pitkä verrattuna kiinteistön elinkaareen ja on suositeltavaa tehdä tarkempaa tarkastelua ja kompromisseja eri järjestelmien osalta. Investoimalla vain merkityksellisimpiin energiankuluttajiin, investointikustannus ja näin ollen takaisinmaksuaika pienenevät huomattavasti. Toisaalta tulee huomioida myös iv-koneen, valaisimien ja ohjauslaitteiden mahdollinen uudelleenkäyttö tulevassa pääkonttorissa.

Työssä käsitellyt asiat auttavat tilaajaa valitsemaan haluamansa modernisointiosuudet, mutta ennen toteutusta tulee harkita sen laajuutta, koska se vaikuttaa suuresti investoinnin kannattavuuteen. Työn aikana tehdyn selvityksen perusteella tämän kaltaisia energiamodernisointeja tulee tehdä, sillä suuri osa Suomen kiinteistöistä on tekniikaltaan vanhaa ja saneerauksille on tarvetta. Energiansäästöpotentiaalia löytyy hyvin laajasti toimisto- teollisuus- asunto- sekä julkisista rakennuksista.

## LÄHTEET

Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki. Ympäristöministeriö.

Sandberg, E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät.

Säteri, J. Sisäilmastoluokitus 2008 – tarpeenmukainen sisäilmasto. Luettu 15.1.2016.  
<http://www.swegonairacademy.com/wp-content/uploads/2012/04/Sateri-Tampere-2008.pdf>

Allergia- ja Astmaliitto ry ja Hengitysliitto ry. 2011. Sisäilmaopas. Luettu 11.1.2016  
<http://www.hengitysliitto.fi/sites/default/files/oppaat/sisailmaopas.pdf>

Motiva. 2012. Energiatehokas ilmanvaihto. Luettu 11.1.2016.  
[http://www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas\\_ilmanvaihto.pdf](http://www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas_ilmanvaihto.pdf)

Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus.

Rakennusautomaatiojaos, BAFF. Verkkojulkaisu. Luettu 18.12.2015.  
<http://www.automaatioseura.fi/index/toiminta.php?id=1004&sivu=d8bf6c97>

Sähkötieto ry. 2008. ST-Käsikirja 22, Kiinteistöjen valvomojärjestelmät.

Baff, Johtokunta. 2005. Rakennusautomaatiolla saavutettavissa olevat hyödyt. Luettu 18.12.2015.  
[https://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/BAFF\\_%20hyodyt.pdf](https://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/BAFF_%20hyodyt.pdf)

Modbus Organization. Verkkojulkaisu. Luettu 11.3.2016.  
<http://www.modbus.org/faq.php>

Työterveyslaitos. 2014. Valaistus. Verkkojulkaisu. Luettu 18.12.2015.  
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/Sivut/default.aspx>

Harsia, P & Kallioharju, K. 2014. Sisävalaistuksen suunnittelu ja valaistusratkaisu. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Harsia, P & Kallioharju, K. 2015. Valaistuksen laadullisten tekijöiden ja energialaskennan määrittely FInZEB-hankkeelle.

Motiva. 2015. Sisävalaistus. Verkkojulkaisu. Luettu 18.12.2015.  
[http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energiankayton\\_tehostaminen/valaistus/sisava-laistus](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/valaistus/sisava-laistus)

Motiva. 2015. Valaistus. Verkkojulkaisu. Luettu 18.12.2015.  
[http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/koulut\\_oppilaitokset/aktiivista\\_oppimista\\_ja\\_konkreettisia\\_saastoja/valaistus](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/koulut_oppilaitokset/aktiivista_oppimista_ja_konkreettisia_saastoja/valaistus)

Motiva. 2015. Valaistus. Verkkojulkaisu. Luettu 18.12.2015.  
[http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energiankayton\\_tehostaminen/valaistus](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/valaistus)

Suomen standardoimisliitto. 2011. SFS-EN 12464-1 Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki. Ympäristöministeriö.

Varsila, M. 2014. Valaistuksen energiatehokkuustekijät. PDF-julkaisu.

ZVEI työryhmä. DALI Technical Overview. Verkkojulkaisu. Luettu 4.1.2016.

<http://www.dali-ag.org/discover-dali/technical-overview.html>

Tampereen ammattikorkeakoulu. DALI-peruskurssi, opetusmateriaali. 2013.

Helvar. 2014. Tuotekatalogi.

[http://www.helvar.com/sites/default/files/attachment\\_files/Catalogue\\_2014\\_FI.pdf](http://www.helvar.com/sites/default/files/attachment_files/Catalogue_2014_FI.pdf)

Koja Oy. 2016. Future esite.

<http://www.koja.fi/uploads/materiaalipankki/pdf/Future-esite.pdf>

Koja Oy. 2016. HiFEK esite.

[http://www.koja.fi/uploads/materiaalipankki/pdf/HiFEK%20esite\\_FI.pdf](http://www.koja.fi/uploads/materiaalipankki/pdf/HiFEK%20esite_FI.pdf)

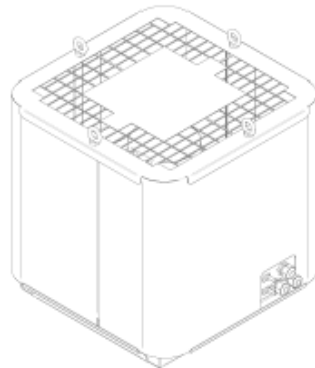
Koja Oy. 2016. HiLTO esite.

[http://www.koja.fi/uploads/materiaalipankki/pdf/HiLTO%20EC\\_esite\\_FI.pdf](http://www.koja.fi/uploads/materiaalipankki/pdf/HiLTO%20EC_esite_FI.pdf)

## LIITTEET

## Liite 1. Koja Oy HiFEK -huippumuri. [HiFEK esite]

## HiFEK EC-03

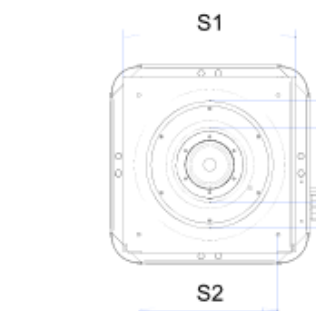
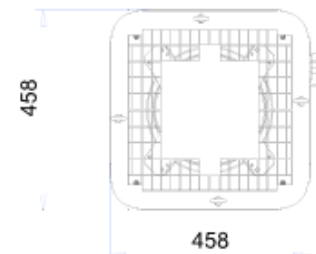
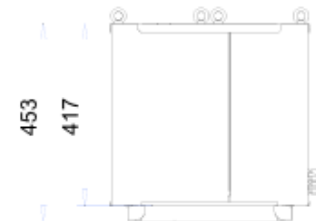
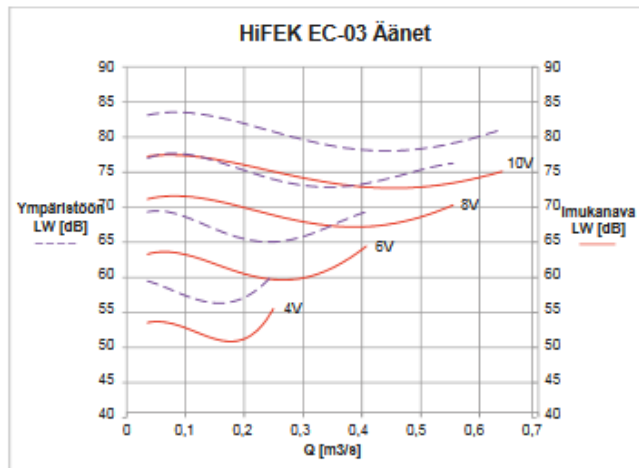
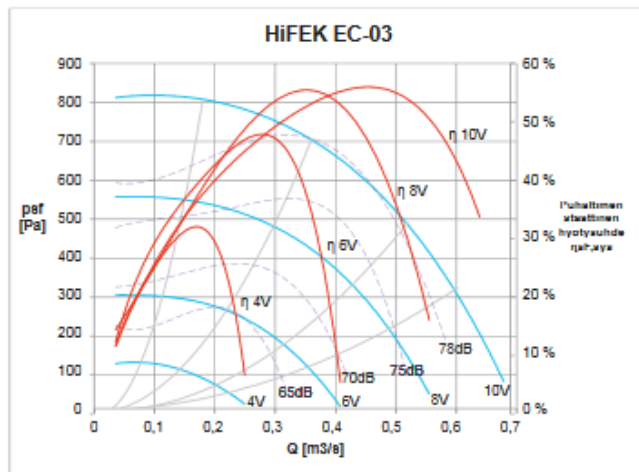


## HiFEK EC-03

Ilmamäärä max	0,64 m <sup>3</sup> /s (200 Pa)
k-arvo	16,7
Massa	26 kg
Puhaltimen yleinen hyötysuhde $\eta_e$	61,3 %
Tavoite-energiäteho $\eta_{target}$	48,3 %
Hyötysuhdetaso N	62
Hyötysuhteen laskennassa oletettu integroitu taajuusmuuttaja.	
Lähtötapa A. Hyötysuhdeluokka staattinen.	

## Nimellisarvot:

Kierrosnopeus	3000 rpm
Teho	0,50 kW
Virta	2,60–1,90 A (50/60 Hz, 55 °C)
Jännite	1~ 200–277 V



S1 = 400 mm (Asennuslevyn sivumitta)

S2 = 320 mm (Huippumurin kiinnityspisteet)

d2 = 153 mm (Huippumurin imuaukon halkaisija)

d3 = 295 mm (Huippumurin asennuskehksen aukon halkaisija)

Kiinnityspisteiden vastaavuus: FEK 25

k-arvon kaava:  $\frac{k \cdot \sqrt{\Delta p}}{1000} = [m^3/s]$ , jossa  $\Delta p$  = paine-ero puhaltimen mittayhteistä [Pa]



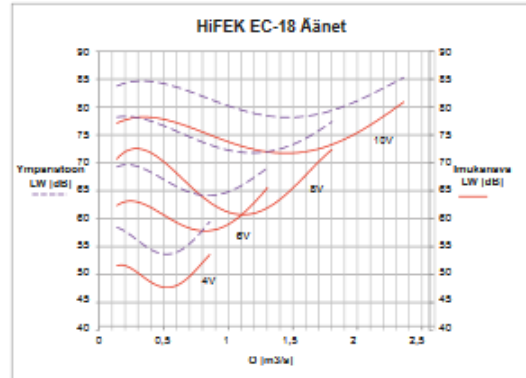
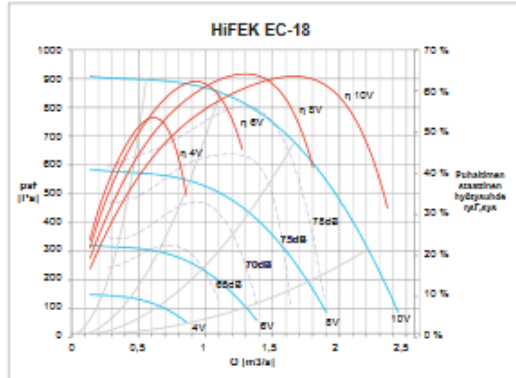
## Liite 2. Koja Oy HiLTO -lämmöntalteenottoyksikkö. [HiLTO esite]

## HiLTO EC-18

## HiLTO EC-18

**Pyydä mitoitusta ja tarjous alueesi myyjältä.**

Selvitä mitoitusta varten ilma- ja/tai nestevirta, poistoilman ja/tai nesteen lämpötila, poistoilman kosteus tai entalpia. Puhallinmitoituksessa huomioitava pattereiden ja kanaviston painehäviöt.



Puhaltimen yleinen hyötysuhde  $\eta_e$  67,6 %

Tavoite-energiätehoisuus  $\eta_{target}$  54,1 %

Hyötysuhdetaso N 62

Hyötysuhteen laskennassa oletettu integroitu taajuusmuuttaja.

Litöntätapa A. Hyötysuhdeluokka staattinen.

**Nimellisarvot:**

Kierrosnopeus 1800 rpm

Teho 1,8 kW

Virta 2,90–2,30 A (50/60 Hz, 40 °C)

Jännite 3~ 380–480 V

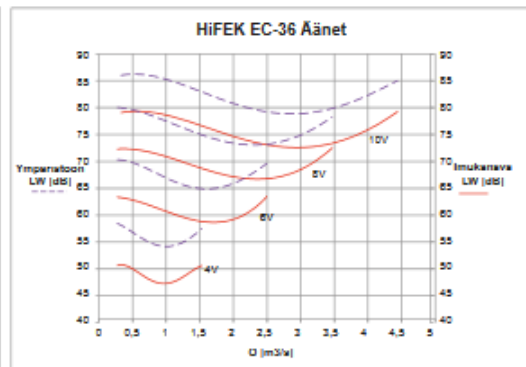
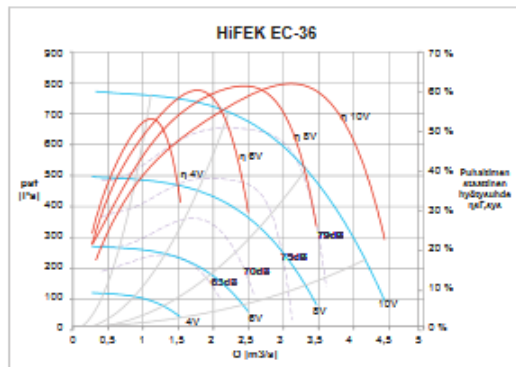
## ÄÄNET YMPÄRISTÖÖN

Tehotaso LW	90	85	80	75	70	65	60	55	dB(A)
Painetaso Lp	62	57	52	47	42	37	32	27	dB(A)

Painetaso Lp vepäessa tilassa etäisyydellä 10m suuntaavuus Q=2 (kattoasennus)

## HiLTO EC-36

## HiLTO EC-36



Puhaltimen yleinen hyötysuhde  $\eta_e$  63,7 %

Tavoite-energiätehoisuus  $\eta_{target}$  56,3 %

Hyötysuhdetaso N 62

Hyötysuhteen laskennassa oletettu integroitu taajuusmuuttaja.

Litöntätapa A. Hyötysuhdeluokka staattinen.

**Nimellisarvot:**

Kierrosnopeus 1200 rpm

Teho 2,9 kW

Virta 4,80–3,80 A (50/60 Hz, 40 °C)

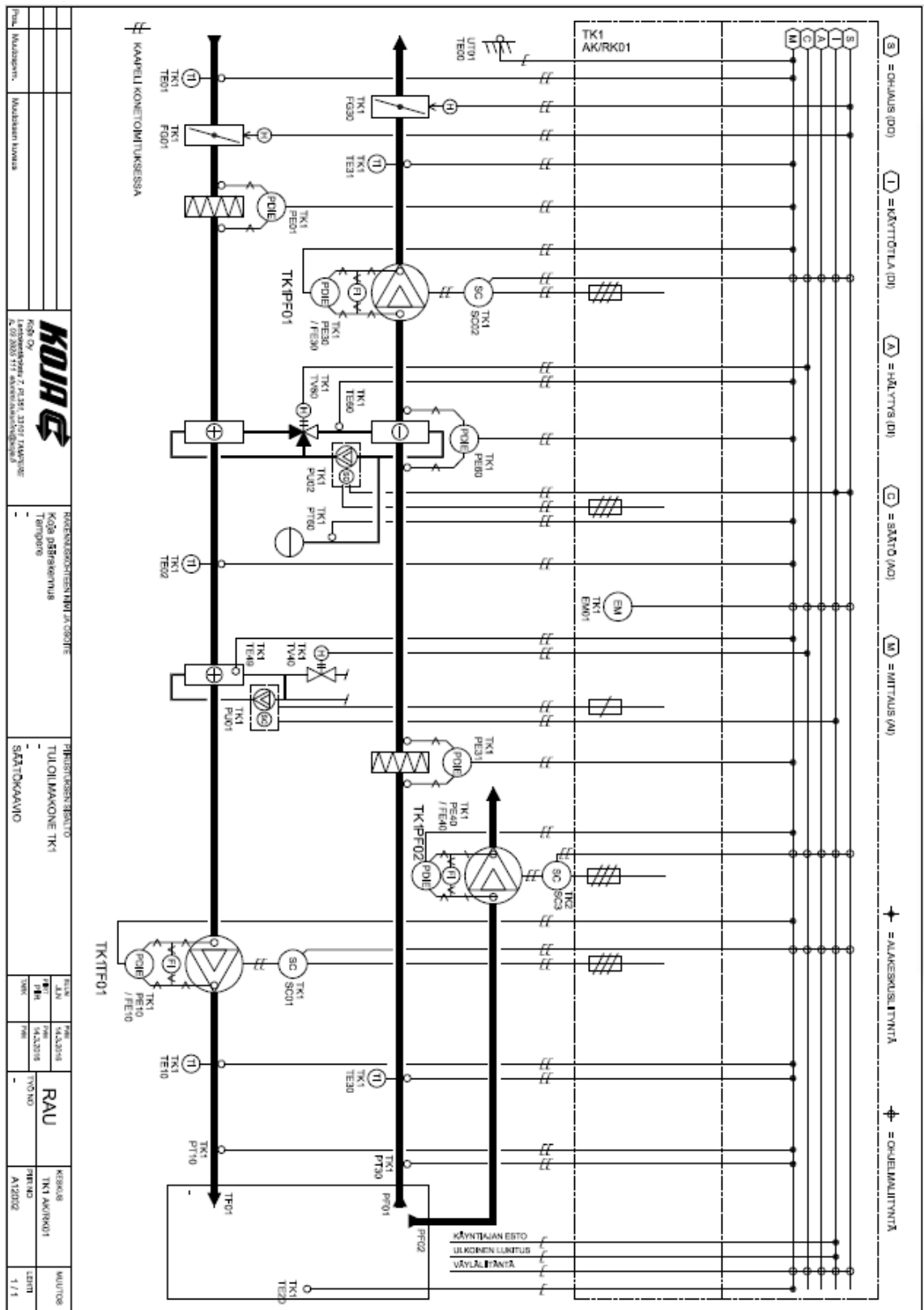
Jännite 3~ 380–480 V

## ÄÄNET YMPÄRISTÖÖN

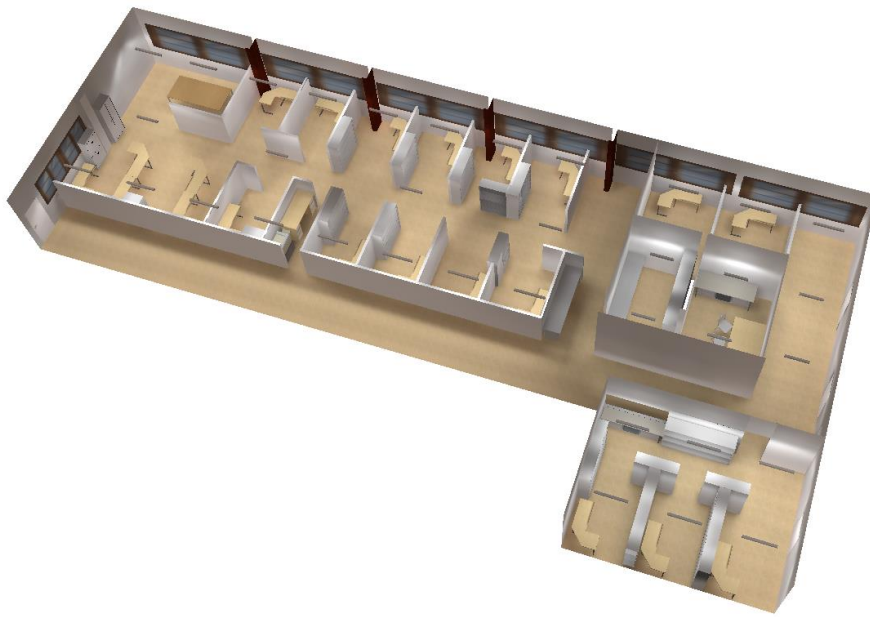
Tehotaso LW	90	85	80	75	70	65	60	55	dB(A)
Painetaso Lp	62	57	52	47	42	37	32	27	dB(A)

Painetaso Lp vepäessa tilassa etäisyydellä 10m suuntaavuus Q=2 (kattoasennus)

Liite 3. Uuden IV koneen säätökaavio.



## Liite 4. Dialux mallinnus ja tulokset yläkerran avotoimistosta. (1/2)



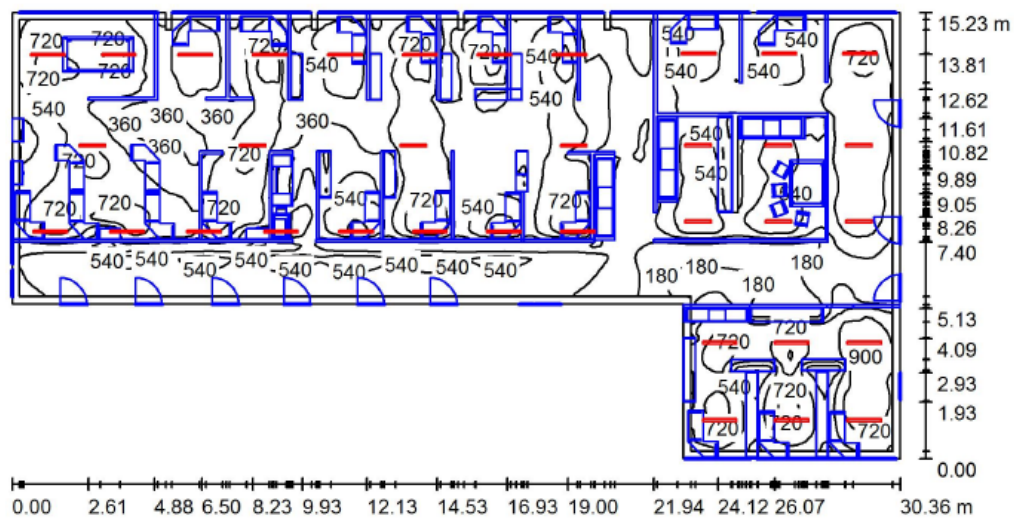
Projekti 1

DIALux

15.01.2016

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Yläkerta avotoimisto / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.350 m, Asennuskorkeus: 2.660 m, Huoltokerroin: 0.90

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:218

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	495	47	927	0.095
Lattia	63	335	33	668	0.098
Katto	30	225	83	332	0.369
Seinät (13)	71	287	42	787	/

## Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

Dialux mallinnus ja tulokset yläkerran avotoimistosta. (2/2)

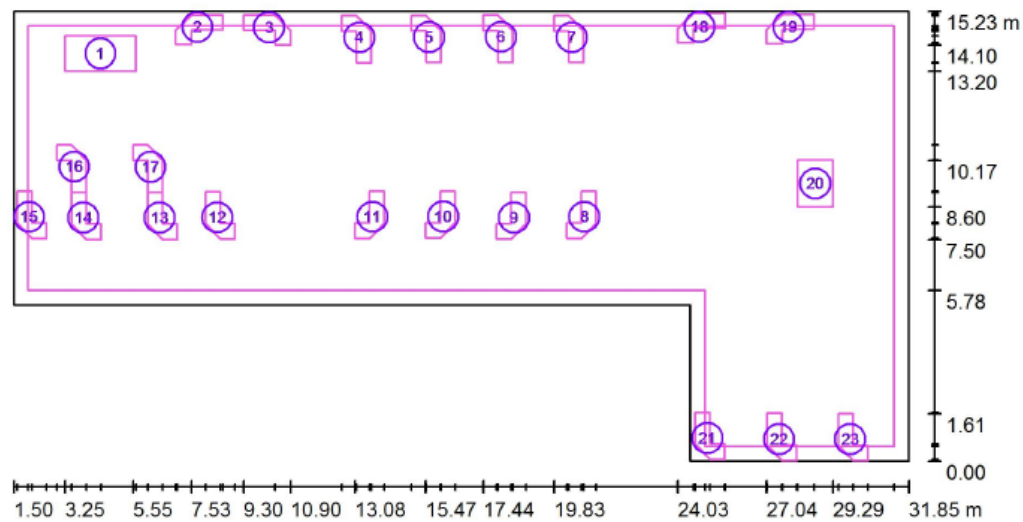
Projekti 1

**DIALux**

15.01.2016

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Yläkerta avotoimisto / Työalue 2 / Tuloksien yleisnäkymä**



Mittakaava 1 : 218

Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	16 x 8	678	591	746	0.872	0.792
	Työalue 2	8 x 8	528	446	600	0.845	0.743
	Työalue 3	8 x 8	539	389	663	0.721	0.586
	Työalue 4	8 x 8	592	506	674	0.855	0.750
	Työalue 5	8 x 8	625	501	747	0.802	0.671
	Työalue 6	8 x 8	605	461	710	0.763	0.650
	Työalue 7	8 x 8	605	469	770	0.775	0.609
	Työalue 8	8 x 8	760	666	843	0.876	0.790
	Työalue 9	8 x 8	654	526	726	0.805	0.724
	Työalue 10	8 x 8	749	641	827	0.856	0.775
	Työalue 11	8 x 8	596	453	686	0.760	0.660
	Työalue 12	8 x 8	642	510	736	0.795	0.693
	Työalue 13	8 x 8	638	559	718	0.875	0.778
	Työalue 14	8 x 8	603	372	711	0.616	0.523
	Työalue 15	8 x 8	537	422	685	0.785	0.615
	Työalue 16	8 x 8	641	511	739	0.797	0.691
	Työalue 17	8 x 8	507	448	580	0.884	0.773
	Työalue 18	8 x 8	523	453	598	0.865	0.757
	Työalue 19	8 x 8	526	433	600	0.823	0.721
	Työalue 20	8 x 8	461	356	586	0.772	0.607
	Työalue 21	8 x 8	537	436	671	0.811	0.649
	Työalue 22	8 x 8	506	407	633	0.806	0.643
	Työalue 23	8 x 8	526	425	660	0.807	0.644
	Ympäröivä alue	128 x 128	468	39	910	0.084	0.043

## Liite 5. Dialux mallinnus ja tulokset toimistohuoneesta.

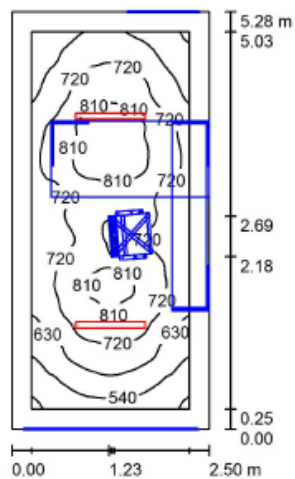


Projekti 1

**DIALux**  
 15.01.2016

 Tekijä  
 Puhelin  
 Faksi  
 Sähköpostiosoite

## Toimistohuone2 / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.90 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:68

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	701	433	866	0.617
Lattia	63	402	109	547	0.272
Katto	70	335	223	1175	0.667
Seinät (4)	70	426	44	905	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

## Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	2	Alppilux Oy TN2234WBC IP44 45W/840 TN2234WBC (1.000)	6003	6003	44.2
Yhteensä:			12006	12006	88.4

 Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $6.70 \text{ W/m}^2 = 0.96 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala: 13.20 m<sup>2</sup>)

Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	32 x 32	708	554	829	0.783	0.668
	Ympäröivä alue	128 x 128	698	381	817	0.546	0.467