

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT energia

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**LAPPEENRANNAN TEKNILLISEN YLIOPISTON 2.  
RAKENNUSVAIHEEN VALAISTUS-OHJAUS, RYHMITTELY JA  
SIJOITUS**

**CONSTRUCTION LIGHTING, CONTROL, GROUPING AND  
INVESTMENT AT LAPPEERANTA UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY, THE SECOND CONSTRUCTION PERIOD**

Lappeenrannassa 28.4.2010

0309933 Ville Kakkonen, ENTE 4

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>SYMBOLILUETTELO</b> .....	<b>1</b>
<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>2</b>
<b>2 VALAISTUS</b> .....	<b>3</b>
2.1 Valaistuksen sijainti ja suuntaus .....	3
2.2 Valaistuksen säätö ja ohjaus.....	4
2.3 Liiketunnistimet .....	6
2.3.1 Pir-valaisimet .....	6
2.3.2 Tutkavalaisimet.....	6
2.3.3 Tutkatunnistin .....	7
<b>3 VALAISTUKSEN TARKASTELU TYYPPITILOITTAIN</b> .....	<b>8</b>
3.1 Porraskäytävät .....	8
3.1.1 Ikkunattomat porraskäytävät.....	8
3.1.2 Porraskäytävät, joissa on ikkuna.....	9
3.2 Käytävät .....	9
3.3 Työhuone .....	10
3.4 Luokkahuone.....	11
3.5 Kokoushuone .....	13
3.6 Luentosalit.....	14
<b>4 VALAISTUKSEN TEHOSTAMINEN</b> .....	<b>15</b>
4.1 Valaistuksen tehostamisen tarve .....	15
4.2 Valaistuksen parannusmahdollisuudet.....	15
4.2.1 Vanhan valaistuksen korvaaminen uudella järjestelmällä .....	15
4.2.2 Vanhan valaistuksen täydentäminen uudella lisävalaistuksella.....	16
4.2.3 Vanhan valaistuksen osittainen uusiminen .....	16
4.2.4 Päivä- ja keinovalon yhteiskäyttö .....	17
4.2.5 Automaattisella keinovalon säädöllä saavutettavat edut.....	19
<b>5 KUSTANNUSLASKENTA</b> .....	<b>23</b>
5.1 Kiinteät kustannukset .....	23
5.2 Muuttuvat kustannukset .....	25
5.3 Luokkahuoneet .....	25
5.3.1 On-off-säätö .....	25
5.3.2 Jatkuva säätö .....	27
5.4 Toimistot .....	29
5.4.1 On-off-säätö .....	29
5.4.2 Jatkuva säätö .....	32
5.5 Porraskäytävät .....	32
5.6 Käytävät .....	34
5.7 Kokoushuoneet.....	34
5.8 Ylläpitokustannukset.....	35
5.9 Muutostöiden kannattavuus .....	35
<b>6 YHTEENVETO</b> .....	<b>37</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>38</b>
<b>LIIKTEET</b>	

**SYMBOLILUETTELO**

$A$	ikkuna-ala	[-]
$e$	energianhinta	$[\frac{\text{€}}{\text{kWh}}]$
$H$	hankintahinta	[€]
$k_a$	annuiteettikerroin	[-]
$K$	vuotuismaksut	[€]
$n$	pitoaika vuosina	[-]
$p$	korkoprosentti	[-]
$P$	teho	[W]
$S$	säästö	[€]
$t$	käyttöaika	[h]

## Alaindeksit

a annuiteetti

# 1 JOHDANTO

Valaistuksen energiankulutuksen merkitys kasvaa jatkuvasti energianhintojen noustessa. Valaistuksen tehokkaaseen ohjaukseen tarvittavat komponentit ovat kehittyneet ja hankintahinnat laskeneet. Perinteisen painonappi- ja ajastinohjauksen rinnalle on kehittynyt erilaisia päivänvaloa ja liiketunnistusta hyödyntäviä ohjauskomponentteja. Valaistuksen kehittyneellä ohjauksella voidaan saavuttaa huomattavia etuja taloudellisuuden lisäksi myös turvallisuuden ja käytettävyyden osalta.

Tässä työssä esitellään erilaisia mahdollisuuksia valaistuksen ohjaukseen sekä tarkastellaan kustannuslaskelmia erilaisten ohjauslaitteiden investoinneille. Valaistavana kohteena käytetään Lappeenrannan teknillisen yliopiston 2. rakennusvaihetta.

## 2 VALAISTUS

Tehtyjen tutkimusten perusteella valaistuksen vaikutusta nykyaikaisen toimistotyön tuottavuuteen on vaikea arvioida. Voidaan kuitenkin olettaa, että nykyisten suositusten mukaisesti rakennettu toimistovalaistus on riittävä työn tuottavuuden kannalta. Yleisien tilojen valaistus tulee suunnitella nykyisten suositusten perusteella ottaen huomioon valotehon lasku valaisimen ikääntyessä ja likaantumisen vaikutukset. Työpisteiden suunnittelussa voidaan kiinnittää huomiota näköjärjestelmältään poikkeaviin yksilöihin, joille valaistusjärjestelmät tulee rakentaa aina tapauskohtaisesti. (Autio 2005, 14)

### 2.1 Valaistuksen sijainti ja suuntaus

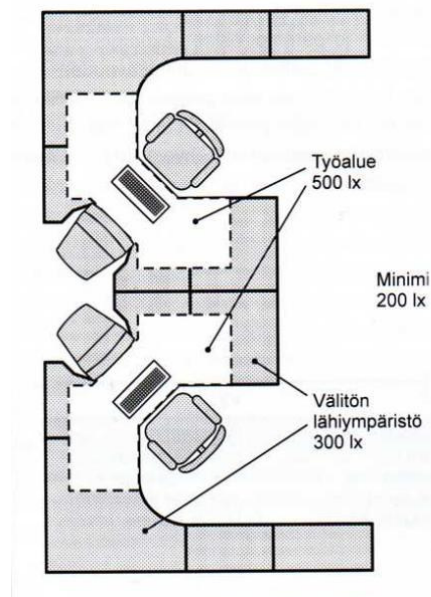
Valotiheyden mittana pinnan kirkkaudelle käytetään luminanssia. Luminanssi ilmaisee kuinka kirkkaalta heijastava pinta tai itsesäteilevä kohde kuten tietokoneen näyttöruutu tarkastelusuunnassa näyttää. Pintojen luminanssiin vaikuttaa tulevasta valosta takaisin heijastuvan valon määrä (heijastumissuhde), heijastumistapa (suuntaheijastuminen, tapuheijastuminen ja sekaheijastuminen). Tärkeimpänä valaistusteknisenä tekijänä hyvään näkökykyyn pyrittäessä on näkökohteen ja ympäristön luminanssi ja niiden keskeinen suhde. Näkökentän luminanssit määräävät silmien sopeutumistason, jolla on vaikutusta näkö tarkkuuteen.

Valaistuksessa on suositeltavaa käyttää epäsuoria komponentteja. Epäsuorilla komponenteilla pystytään vähentämään suoran komponentin tarvetta. Etuna saavutetaan pienempi häikäisy. Valaisimet pyritään sijoittamaan siten, että estetään suoran häikäisyn esiintyminen ja saavutetaan riittävä valaistuksen taso valaistavassa tilassa. (Autio 2005, 14–15)

## 2.2 Valaistuksen säätö ja ohjaus

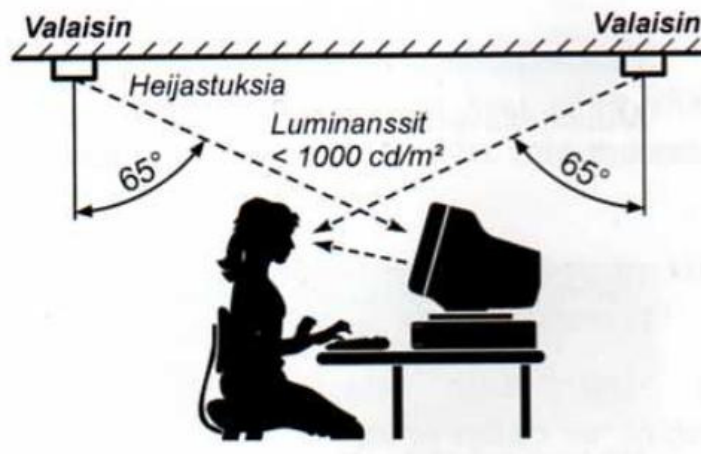
Valaistuksen säädettävyydessä suositellaan päivänvalon hyödyntämistä. Hyvällä säädettävyydellä ja ohjattavuudella voidaan aikaan saada tila, joka on helposti muunneltavissa käyttötarkoituksen mukaan. Neuvottelutiloissa tulisi pyrkiä tilanneohjausmahdollisuuteen. Mahdollisuus korotettuun valaistustasoon pimeinä vuodenaikoina tai aamutunteina parantavat viihtyvyyttä ja ehkäisevät mm. kaamosmasennusta. Erittäin suurta tarkkuutta vaativissa tehtävissä tulee käyttää yleisvalaistuksen ohella paikallisvalaistusta.

Nykyisissä sisävalaistussuosituksissa (CEN 12464) ei vaadita tasaista valaistusta koko huoneeseen, vaan työalueiden ja niiden välittömien lähialueiden tulee olla hyvin valaistuja. Valonlähteiden valinnassa suositellaan käytettäväksi vain valotehokkaita ja hyvän väritoiston omaavia valonlähteitä. Joustavan asennustavan merkitystä tulee painottaa valaisimien sijainnin vaihtamiseksi tarvittaessa. Huoneen käyttämättömään osaan riittää pienempi valaistusvoimakkuus kuten esimerkiksi kuvassa 1 on esitetty. Etuna koko alueen kattavaan valaistukseen saavutetaan vapaampi valaisimien sijoitus työpisteiden mukaan sekä matalampi valaistuksen energiankulutus.



**Kuva 1.** Työpisteen valaistus (Autio 2005)

Näytöltä, valaisimista ja kirkkailta pinnoilta heijastuvalle valolle on määritelty suositus raja-arvoja. Heijastuvan valon luminanssit on pyrittävä pitämään kohtuullisella tasolla sekä pintojen väliset luminanssisuhteet sopivina. Standardiehdotus on määritelty eri luokkiin, joissa kaikissa on käytetty valaisimen valoaukon luminanssille maksimiarvoa kulma alueelle  $65\text{...}85^\circ$  pystytasosta lukien. Näytön kallistukselle taaksepäin käytetään maksimissaan  $15^\circ$ . Näytön laatuluokka vaikuttaa valoaukon luminanssin raja-arvoon, joka on esimerkiksi luokassa III  $200 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$  ja luokassa I ja II  $1000 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ . Valoaukon luminanssin korkeampi raja-arvo luokassa I ja II johtuu näyttöjen pinnan paremmista heijastusta vähentävistä ominaisuuksista. Kuvassa 2 on havainnollistettu luokan I ja II valaistustilannetta.



**Kuva 2.** Näytöllinen työpiste (Autio 2005)

Valaistusluokitukseen toimistovalaisuudessa käytetään kolmitasoista valaistusluokitusta (LIITE 5) Heikoin valaistusluokitus V3 on riittävä täyttämään toimistotilojen sisävalaistukselle asetetut yleiset minimivaatimukset. Valaistusluokitus V3:ssa ei ole otettu huomioon eri työtehtävien, muunneltavuuden, hyvän näköergonomian, yksilöllisten tarpeiden ja mahdollisimman taloudellisen energiankäytön asettamia vaatimuksia. Luokka V2 ottaa luokan V3 lisäksi huomioon muunneltavuuden, näköergonomian ja energiatehokkuuden parantamisen. Luokka V1 edustaa nykyisen tekniikan rajoissa parasta laatua ajatellen käyttäjien yksilölliset tarpeet vaativan toimistotyön vaatimukset ja tavoittelee mahdollisimman korkeaa energiataloutta. (Autio 2005, 19–20)

## **2.3 Liiketunnistimet**

### **2.3.1 Pir-valaisimet**

PIR tarkoittaa ihmisen liikkeeseen ja ruumiinlämpöön reagoivaa passiivista infrapunatunnistinta. Ihmisen on astuttava kytkimen toiminta-alueelle, jotta valaistus kytkeytyy päälle. PIR-järjestelmää voidaan käyttää yhden tai useamman tunnistimen ja valaisimen muodostamassa järjestelmässä. Tunnistimen asentaminen ei vaadi johdotusta valokatkaisijalta eli saneerausasennuksissa ei tarvita uutta kaapelointia. PIR-tunnistimeen pohjautuvan järjestelmän etuina voidaan pitää tilan energiataloudellisuutta verrattuna painokatkaisimiin, turvallisuutta ja mukavuustekijöitä. Liikkuminen tiloissa on turvallisempaa, koska valokatkaisimia ei tarvitse etsiä valaistuksen ollessa pois päältä. Energiatehokkaaksi PIR-valaisimen käytön tekee valaistuksen ylläpitäminen vain niissä tiloissa joissa ihmisiä liikkuu. Tilan valaistus kytkeytyy automaattisesti päälle aina kun tilassa havaitaan ihmisen läsnäolo ja ihmisen poistuessa valaistus kytkeytyy pois päältä. Suositeltavina käyttökohteina PIR-valaisimiin pohjautuvalle järjestelmälle voidaan pitää porraskäytäviä. (Ensto 2010)

### **2.3.2 Tutkavalaisimet**

Tutkavalaisimet ovat pelkästään liikkeeseen reagoivia. Liikkeentunnistus voidaan toteuttaa avoimessa tilassa tai vaihto-ehtoisesti ohuen seinämän tai esteen takaa. Asentaminen ei vaadi johdotusta valokatkaisijasta eli saneerauksessa ei tarvita uusien kaapeleiden asentamista. Tutkavalaisimilla on mahdollista saavuttaa turvallinen ja käyttömukavuudeltaan hyvä valaistusjärjestelmä. Suositeltavia käyttökohteita ovat kellarit ja porraskäytävät. Porraskäytävissä liiketunnistimen avulla automaattisesti kytkeytyvä valaistus ennaltaehkäisee tapaturmia ja helpottaa esimerkiksi tavaran kuljetuksia. Kellareissa ja muissa vähän käytetyissä tiloissa valot palavat usein pitkiäkin aikoja vaikkei tilassa ole ketään. Tutkavalaisimilla saadaan rakennettua järjestelmä, joka sammuttaa valojärjestelmän kun tila on tyhjä ja ehkäisee näin tarpeetonta energiankulutusta. (Ensto 2010)



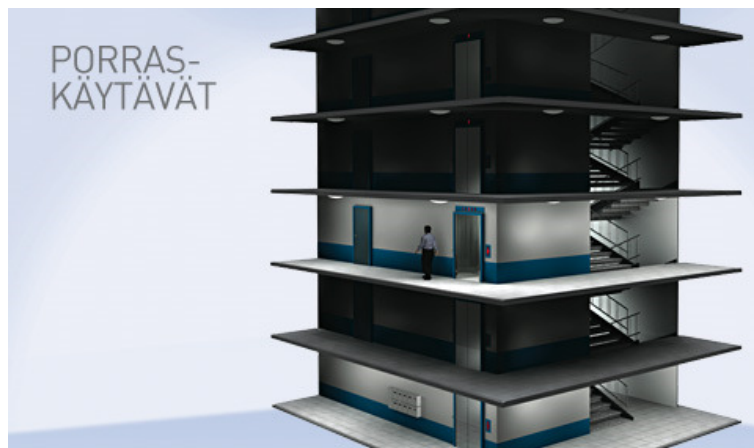
### **2.3.3 Tutkatunnistin**

Erillinen tutkatunnistin sopii valaistuksen ohjaamiseen kohteissa, joissa liiketunnistimen paikka halutaan valita vapaammin. Tunnistimen toiminta-alue kattaa jopa 8 metriä asennuspaikasta ja tilan muodosta riippuen. Tutkatunnistin on hyvä vaihtoehto erityisesti saneerauskohteissa, missä ei ole käytetty liiketunnistinvalaisimia ja valaisinten paikkaa ei voida vaihtaa. (Ensto 2010)

### 3 VALAISTUKSEN TARKASTELO TYYPPILOITAIN

#### 3.1 Porraskäytävät

Porraskäytävissä valaistuksen perusteena pidetään turvallista liikkumista. Oletuksellisesti alueilla ei varsinaisesti suoriteta näkötyötä, joten tilan, ihmisten ja muiden kohteiden riittävä näkyminen yhdessä turvallisen liikkumisen kanssa ovat valaistussuunnittelun päätavoitteita. Kuvassa on esitetty esimerkki porraskäytävän valaistustilanteesta. Portaissa valaisimet on suositeltavaa sijoittaa siten, että valo lankeaa portaille edestäpäin. Edellytyksenä on valaisimen sijoittaminen jokaiseen porrasmutkaan. Valaisimien sijoituspaikat on suositeltavaa sijoittaa niin, että niihin päästään helposti käsiksi huoltotoimenpiteitä suorittaessa. (Aphonen 1982, 115–117)



**Kuva 3.** Porraskäytävät (Portaikot 2010)

##### 3.1.1 Ikkunattomat porraskäytävät

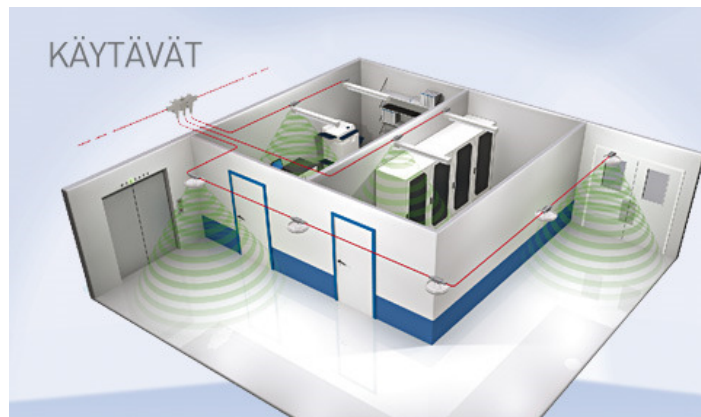
Ikkunattomille porraskäytävillä perusvalon määrästä on suositeltavaa käyttää noin 10 % kun käytävässä ei liikuta. Keinovalaistusta tarvitaan siis turvallisuustekijöiden takia vaikka tilassa ei liikuta.

### **3.1.2 Porraskäytävät, joissa on ikkuna**

Ikkunallisiin porraskäytäviin voidaan asentaa tunnistinvalaisin sytytys/sammutus toiminnolla. Liiketunnistimeen voidaan määrittää, millä hämäryystasolla valaisimet kytkeytyvät päälle automaattisesti. Valaisimet kytkeytyvät automaattisesti päälle, kun käytävässä on liikettä pimeänä vuorokaudenaikana. Vaihtoehtoisesti voidaan asentaa valaisimet, joiden perusvalo syttyy määritetyllä hämäryystasolla. (Ensto 2010)

## **3.2 Käytävät**

Käytävien valaistussuunnittelun perusteena on turvallinen liikkuminen. Matalissa käytävissä on suositeltavaa käyttää katto- tai seinävalaisimia ja korkeissa käytävissä mahdollisesti riippuvalaisimia. Valaistusjärjestelmille on kolme perusvaihtoehtoa: valaisimet jonossa käytävän suuntaisesti, valaisimet poikittain tai yksittäisten valaisimien käyttö. Valaistuksen suunnittelussa on pyrittävä luomaan valaistus, joka antaa käytävässä liikkujille hyvän optisen ohjauksen. Risteyskohdat, hissit ja muuta erikoiskohdat on pyrittävä valaisemaan voimakkaammin, jotta ne näkyisivät jo kaukaa. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki käytävien valaistuksesta. (Aphonen 1982, 115–117)

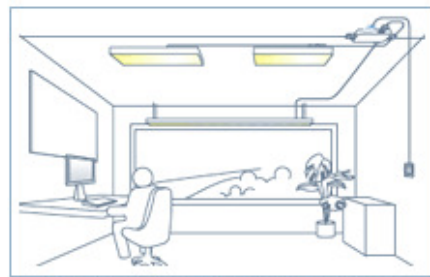


**Kuva 4.** Käytävät (Käytävät 2010)

### 3.3 Työhuone

Työhuoneet ovat tavallisesti yhden tai kahden hengen toimistohuoneita. Työhuoneiden valaistuksessa käytettävät periaatteet ovat hyvin sovellettavissa myös suurempiin toimistohuoneisiin. Valaistuksen suunnittelussa on huomioitava työpisteiden sijoittelu huoneissa. Kun työpisteiden sijainti tiedetään etukäteen, helpottuu valaistuksen suunnittelu huomattavasti. Ikkunaa lähinnä olevat valaisimet ovat yleensä epäsymmetrisiä ja sisempänä olevat symmetrisiä. Kuvassa 5 on esitetty erilaisia kytkentätapoja toimiston valaistuksen ohjaukseen. (Aphonen 1982, 108–111)

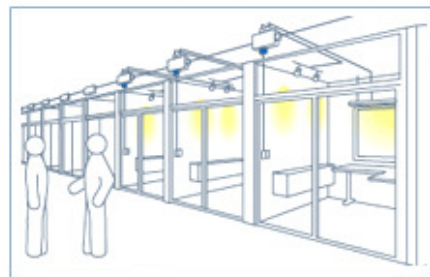
## Työhuone



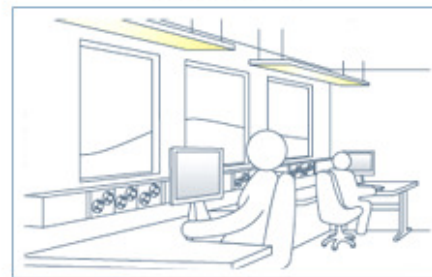
Energiansäästöratkaisu valaistukseen haaroitusrasialla ja hämäräkytkimellä



Valaisinasennukset T-haaroittimella ja kytkinrasialla



Valaisinasennukset kytkinrasialla



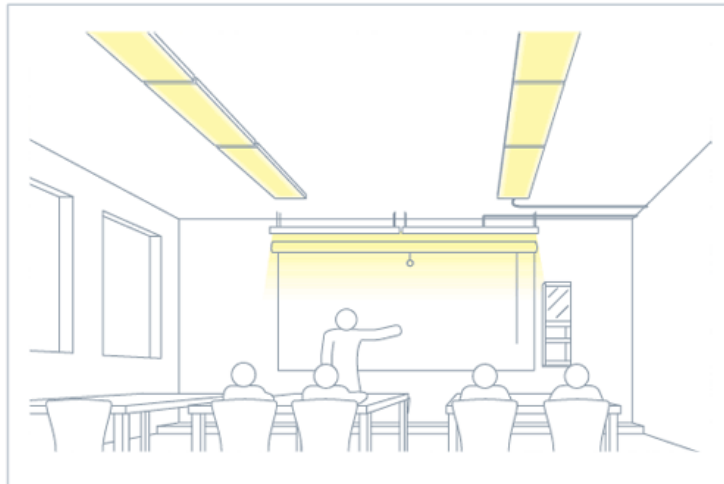
ProDuct pistorasia-asennukset johtokanavaan

**Kuva 5.** Työhuone (Suunnittelijanopas 2010)

## 3.4 Luokkahuone

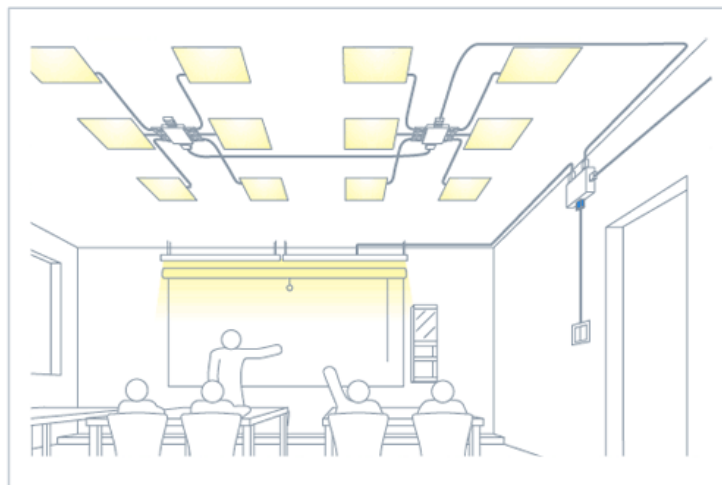
Luokkahuoneissa kirjoittaminen, lukeminen ja opetuksen seuraaminen taululta/valkokankaalta ovat keskeisiä näkötehtäviä. Yleensä luokkahuoneiden valaistukseen käytetään teknillis-taloudellisista syistä suoria putken muotoisia loistelamppuja. Oleellisia suunnittelussa huomioon otettavia ominaisuuksia ovat kiiltohäiriöt pulpettitasolla ja heijastukset taululta. (Aphonen 1982, 118–123)

Kuvassa 6 on esitetty luokkahuoneen valaistuksen asennus käyttämällä joustavaa T haaroitinta ja integroitua T-haaroitinta. Asennus tehdään yksivaiheisella ketjutetulla syötöllä ja integroidulla tai joustavalla T-haaroittimella.



**Kuva 6.** Luokkahuone (Suunnittelijanopas 2010)

Kuvassa 7 on esitetty luokkahuoneen valaistuksen asennus ketjutetulla yksivaihesyötöllä ja kahden erillisen lähdön pois/päällä kytkennällä yhdistettynä kuudelle valaisinlähdölle.

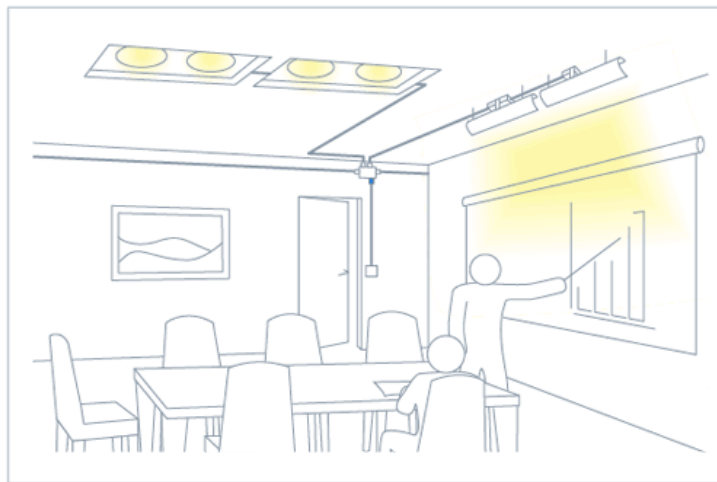


**Kuva 7.** Luokkahuone 2 (Suunnittelijanopas 2010)

### 3.5 Kokoushuone

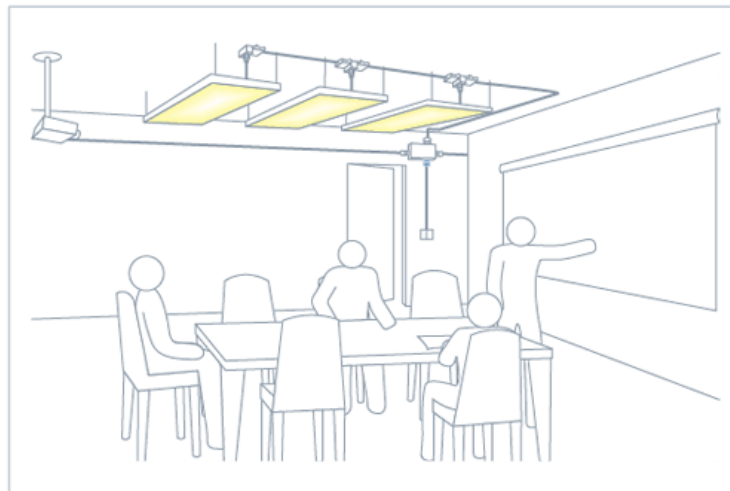
Kokoushuoneiden valaistuksen suunnittelussa on riittävän valaistuksen, häikäisyiden ja muiden näkyvyyteen vaikuttavien tekijöiden lisäksi tärkeää ottaa huomioon tilan viihtyvyys. Suoran ja epäsuoran valaistuksen käytön lisäksi voidaan käyttää erilaisia tehostevalotapoja. (Aphonen 1982, 114–115)

Kuvassa 8 on esitetty kokoushuoneen valaistuksen asennus yksivaiheisella ketjutetulla syötöllä ja kahden erillisen valaisinlähden pois/päällä kytkennällä. Lähdet on asennettu yksivaiheisilla T-haaroittimilla.



**Kuva 8.** Kokoushuone (Suunnittelijanopas 2010)

Kuvassa 9 on esitetty kokoushuoneen valaistuksen asennus yksivaiheisella ketjutetulla syötöllä ja kahden valaisinlähden pois/päällä kytkennällä. Valaisinlähdet asennetaan erillisillä T-haaroittimilla. Asennustapa mahdollistaa kahden lähden erillisen ohjauksen.



**Kuva 9.** Kokoushuone 2 (Suunnittelijanopas 2010)

### 3.6 Luentosalit

Luentosalin valaistus suunnitellaan yleensä yhtenä kokonaisuutena, sekä kuulijoiden, että luennoitsijan kannalta. Kuulijoiden on nähtävä hyvin luennoitsija ja luennoitsijan on nähtävä kuulijat. Keskikokoiset luentosalit ovat yleensä suorakulmion muotoisia ja suuret satojen kuulijoiden luentosalit kiilan muotoisia. Demonstraatioluentosaleissa kuulijapaikat on yleensä porrastettu kohoavaksi auditorioksi. Luentosalin etuseinän luminanssien muodostumiseen on kiinnitettävä suunnittelussa huomiota. Suurten luminanssien kuvastumista taulun pinnalta ja liitutaulun ympäristön liian suurta valaistusta tulee välttää. Valaistuksella on pyrittävä edistämään kuulijoiden huomiota luennoitsijaa kohtaan. Luentosalien yleisvalaistuksen laatutekijöihin voidaan soveltaa luokkahuonevalaistuksen perusvaatimuksia. Kaltevien luentosalien kuulijoiden ja luennoitsijan katse suunnat eivät ole vaakatasossa, joten valaisinten häikäisy suojakulmat on määritettävä tärkeimmän katsetason suhteen. (Aphonen 1982, 123)



## **4 VALAISTUKSEN TEHOSTAMINEN**

### **4.1 Valaistuksen tehostamisen tarve**

Valaistuksen suoranaiset vaikutukset työsuoritukseen ja sairas-poissaoloihin ovat vaikeasti osoitettavissa. Silmät mukautuvat tehokkaasti erilaisiin valaistusolosuhteisiin. Valaistuksen muutoksissa huomion ei pidä keskittyä pelkästään valaistusvoimakkuuteen vaan valaistuksen laatuun. Nykyinen toimistotyö keskittyy jatkuvasti enemmän näyttöpäätetyöhön, jolloin valaistusvoimakkuuteen ja häikäisyyn on kiinnitettävä huomiota eri tavalla kuin aikaisemmin. Erityisesti työsuoritusta heikentävänä tekijänä voidaan pitää kattovalaisimien ja kirkkaan ikkunan aiheuttamia häikäisyjä. (Autio 2005, 21)

### **4.2 Valaistuksen parannusmahdollisuudet**

#### **4.2.1 Vanhan valaistuksen korvaaminen uudella järjestelmällä**

Vanhan valaistuksen korvaaminen kokonaan uudella järjestelmällä on kustannuksiltaan kallein ratkaisu ja on ajankohtainen yleensä peruskorjauksen yhteydessä. Valaistusjärjestelmän uusiminen kattaa valaisimien vaihdon, uusien kaapeleiden kytkemisen, kytkimien asennuksen ja muutokset sähkökeskuksiin, ryhmytyksiin sekä rakennuksen muutos- ja maalaustyöt. Uutta valaistusta suunnitellessa on huomioitava ettei parasta mahdollista hyötyä järjestelmän uusimisesta saada pelkästään vaihtamalla uudet valaisimet vanhojen paikoille. Mahdollisten epäedullisten heijastusten ja häikäisyjen vaikutukset eivät olennaisesti muutu pelkästään valaisimien vaihdolla.

Valaistusjärjestelmän korvaaminen uudella järjestelmällä aiheuttaa oletettavasti muutoksia energiataloudessa ja huolto- ja korjauskustannuksissa. Valaistusjärjestelmän uusimisen investointikustannusten takaisinmaksuaikaa laskettaessa on suositeltavaa huomioida muutokset järjestelmän energiataloudessa ja huolto- ja

korjauskustannuksissa. Vanhan järjestelmän purkamisessa ja uuden järjestelmän asennuksia on huomioitava peruskorjauksen muiden muutostöiden vaikutukset töiden suorittamisen ajankohtaan. On pyrittävä välttämään tilanteita, joissa uuden järjestelmän asennukset vaikeuttavat rakennuksen muutostöitä ja toisaalta otettava huomioon tilanteet joissa uutta valaistusjärjestelmää voidaan hyödyntää. Hyvällä suunnittelulla päästään peruskorjauksen kokonaiskustannuksissa mahdollisimman edulliseen ratkaisuun ja välttään viivästyksiltä rakennusurakassa. (Autio 2005, 21–22)

#### **4.2.2 Vanhan valaistuksen täydentäminen uudella lisävalaistuksella**

Valaistuksen täydentämistä voidaan soveltaa tiloihin, joissa valaistus on teknillisesti ja energiataloudellisesti riittävän hyvällä tasolla, mutta valaistusta on määrällisesti liian vähän. Valaistuksen täydentäminen voi tarkoittaa yksinkertaisimmillaan työvalaisimien lisäämistä, siirrettäviä ja säädettäviä valaisimia, jotka eivät tarvitse kiinteää asennusta. Toteutustavasta tekee edullista vanhan järjestelmän kokonaan uusimiseen verrattuna rakenne- ja muutostöiden edulliset kustannukset. Valaisimien sähkötarve voidaan toteuttaa tilassa olevilla pistorasioilla. Tarpeelliset kytkimet, säätimet ja anturit voidaan sijoittaa itse valaisimeen ja välttää näin kiinteää asennusta. Valaisimien valinta on helpoin suorittaa soveltuvuus tutkimuksella eli asentamalla eri tilatyyppeihin testivalaisimia joista suoritetuilla mittauksilla ja subjektiivisella arvioinnilla voidaan valita sopivat valaisimet. Lisävalaistuksessa tulee ottaa huomioon energiatehokkuudeltaan korkean tasoiset valaisimet, jolloin välttään energiakustannusten nousulta ja pienennetään investoinnin takaisinmaksuaikaa. (Autio 2005, 21–22)

#### **4.2.3 Vanhan valaistuksen osittainen uusiminen**

Vanhan valaistuksen osittaisella uusimisella tarkoitetaan toimenpidettä, jossa vanhasta valaistusjärjestelmästä osa poistetaan käytöstä. Valaistuksen uusiminen on suositeltavaa kohdistaa järjestelmiin, joiden energiatehokkuus ja sijoitus ovat epäedullisimpia. Vanhan järjestelmän korvaava valaistus on suositeltavaa suunnitella työpistekohtaisesti

ottaen huomioon suoran ja epäsuoran valaistuksen tarve. Osittaisella uusimisella voidaan pidentää valaistusjärjestelmän tehokasta käyttöikää seuraavaan peruskorjaukseen saakka. Investointilaskelmissa on kiinnitettävä huomiota tulevien peruskorjausten ajankohtaan ja investoinnin suuruuteen. Hyvin suunnitellulla osittaisen uusimisen ajankohdalla voidaan päästä tehokkaaseen valaistukseen ja välttää valaistuskustannusten nousua turhan korkeaksi pitkällä aikavälillä. (Autio 2005, 21–22)

#### **4.2.4 Päivä- ja keinovalon yhteiskäyttö**

Päivänvalon merkitystä valaistusratkaisuissa on pidetty yleensä vähän merkittävänä, koska valaistuksen laatuvaatimuksia on ollut vaikea täyttää kaikkina vuorokaudenaikoina päivävaloon pohjautuen. Ikkunoita ja sen myötä päivänvaloa pidetään viihtyvyyden ja virkistävän vaikutuksen kannalta hyvin oleellisena. Valaistusratkaisuissa on nykyisen säätötekniikan avulla mahdollisuus hyödyntää päivänvaloa energiansäästötarkoituksissa.

Päivänvalo voidaan jakaa kolmeen komponenttiin eli suoraan auringonvaloon, taivaan hajasäteilyyn sekä maasta ja ympäristöstä heijastuvaan auringon- ja taivaansäteilyyn. Päivänvalon tuottama valaistusvoimakkuus vapaan taivaan alla riippuu tarkastelupaikan säätilasta, leveysasteesta sekä vuoden- ja kellonajasta. Päivänvalolaskennan perustana käytetään Euroopassa 5000 lx valaistusvoimakkuutena vapaan taivaan alla. Jos työajasta 80 % on tarkoitus valaista päivänvalolla, voidaan suositella suunnittelun perustaksi 3800 lx. valaistusvoimakkuutta.

Päivänvalon valaistusvoimakkuuteen sisätiloissa vaikuttavia tekijöitä ovat:

- valaistusvoimakkuus ulkona
- valon heijastuminen viereisistä rakennuksista ja maasta
- huoneen pintojen heijastamissuhteet
- ikkunoiden muoto, koko ja sijainti
- valovoimakkuuden alenema ikkunoissa
- rakennusta varjostavat ulkopuoliset esteet

Rakennuksen sisälle tulevaa päivänvalon osuutta kuvataan päivänvalosuhteella. Päivänvalosuhteella kuvataan työtasolle tulevan päivänvalon valaistusvoimakkuuden suhdetta puolipallon muotoisen vapaan taivaan alla vallitsevaan vaakatason valaistusvoimakkuuteen. Pilvipeitteen ollessa tasainen valaistusvoimakkuuden on muuttuvan sisällä samassa suhteessa kuin vapaan taivaan alla. Päivänvalosuhte ei siis ole riippuvainen esimerkiksi vuorokauden- tai vuodenaajoista.

Päivän- ja keinovalon yhdistämisessä käytetään pohjana päivänvalonmäärä, jota täydennetään keinovaloilla. On suositeltavaa käyttää keinovalaistusta myös tilanteissa, joissa päivänvalon valaistusvoimakkuus olisi riittävä koko tilan valaisemiseen. Keinovalaistuksen avulla tilan luminanssijakauma saadaan sopivaksi ja häikäisy pienemmiksi. Näkyvän taivaan ja huonepintojen kontrasti on suoraan verrannollinen häikäisyn määrään. Häikäisyrajoittimina voidaan käyttää ikkunoissa esimerkiksi kaihtimia, joilla pienennetään ulkoa tulevaa valaistusvoimakkuutta. Päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytöllä saadaan aikaan hyvät näköolosuhteet, korkea näkömukavuus ja oikein toteutettuna energiansäästöä.

Päivän- ja keinovalon yhteiskäyttöä voidaan soveltaa noin 10...12m huonesyvyyteen asti. Suunnittelun perustana voidaan olettaa, että päivällä kolmasosa huoneesta ikkunasta lukien valaistetaan pelkästään päivänvalolla, keskimäinen kolmannes päivä- ja keinovalon yhteiskäytöllä ja viimeinen kolmannes pelkästään keinovalolla. Kyseisellä menetelmällä saadaan valaistustarpeesta päiväsaikaan noin puolet hoidettua päivänvalolla ja puolet keinovalolla. Ikkunoiden lähialueella on valaistuksen sytyttäminen ja sammuttaminen mahdollistettava tarvittaessa. Jos päivänvalon vaikutus ikkunoiden lähialueella on voimakasta, voidaan huoneen sisäosien valaistus suunnitella säädettäväksi päivä- ja yöolosuhteiden mukaan. (Aphonen 1982, 308–311)

#### 4.2.5 Automaattisella keinovalon säädöllä saavutettavat edut

Yleensä suurin osa sisätiloista valaistaan osittain päivänvalolla ja osittain keinovalolla. Päivänvalon määrä vaihtelee vuorokauden- ja vuodenajan mukaan. Keinovalaistuksen ohjaukseen käytetään yleensä käsikytkimiä, joilla keinovalaistus kytketään päälle ja pois päältä. Kytkentätavan ongelmana energiatehokkuuden kannalta voidaan pitää keinovalaistuksen liiallista käyttöä. Valaistus kytketään päälle yleensä aamulla, jolloin päivänvalon määrä ei ole riittävä kattamaan tilan valaistustarvetta, mutta päivänvalon saavuttaessa valaistustarpeen ei keinovalaistusta kytketä pois päältä. Oletuksena voidaan pitää, että keinovalaistus on päällä koko tilassa oleskelu ajan esimerkiksi työpäivän verran.

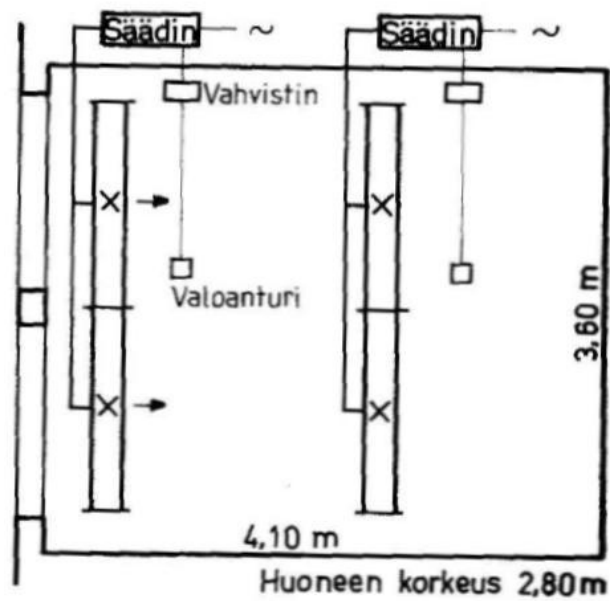
Valaistusenergian säästämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi on suositeltavaa valaistuksen ohjausta, joka säätää keinovalaistuksen määrää päivänvalon määrän mukaan. Valaistuksen säätäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi valoanturiohjauksella. Anturiohjaus pyrkii pitämään valaistustason vakiona tilassa samaan aikaan kun päivänvalon määrä muuttuu. Keinovalaistuksen voimakkuuden säätö anturiohjauksella voidaan toteuttaa sammuttamalla ja sytyttämällä valaisimia tarpeen mukaan tai säätää valaisimien valaistusvoimakkuutta. Valaistusvoimakkuuden säätövalaisimien valaistusvoimakkuutta muuttamalla edellyttää toimintoon suunniteltuja valaisimia. Suunnittelussa on järkevää käyttää periaatetta, että keinovalaistuksen alentaminen aloitetaan ikkunaa lähimmistä valaisimista. Valaistusvoimakkuuden säätäminen valaisimien tehon muutokseen perustuen on investoinniltaan huomattavasti korkeampi, mutta etuna voidaan pitää energian säästöä kaikilla päivänvalosuhteilla.

Kuvan 10 mukaiselle pienhuonetoimistolle, saadaan ikkunoiden koosta ja valitusta säätötavasta riippuen taulukossa 1 esitetyt säästöt.

**Taulukko 1.** Toimiston energiansäästö

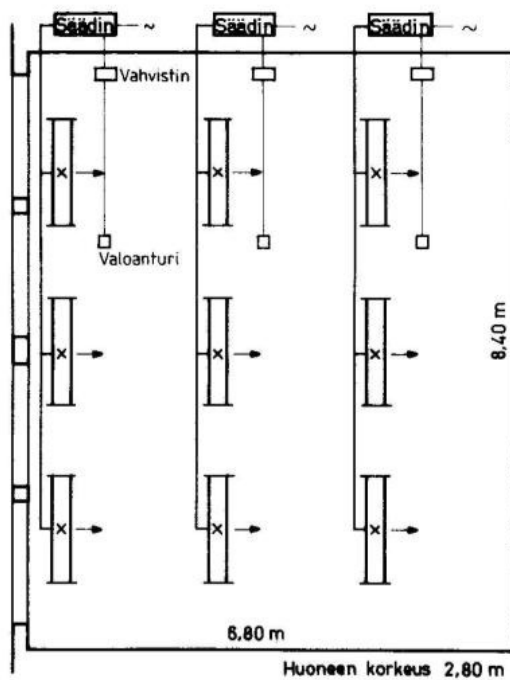
	Säästö ikkuna-alalla	Säästö ikkuna-alalla
	15 %	24 %
<b>Toimisto 1</b>		
Jatkuva säätö	39 %	48 %
on-off-säätö	17 %	37 %
<b>Toimisto 2</b>		
Jatkuva säätö	50 %	58 %
on-off-säätö	35 %	51 %

Toimistossa 1 valaistus on toteutettu kahdella 3 x 40W valaisimella, joita säädetään ja kahdella 2 x 40W valaisimella, joita ei säädetä. Toimistossa 2 valaistus on puolestaan toteutettu yhdellä 1 x 65W valaisimella, jota säädetään ja yhdellä 1 x 65W valaisimella, jota ei säädetä. Molemmissa toimistoissa säädetävät valaisimet ovat ikkunaa lähempänä olevassa valaistusrivissä, jonka säätäminen on kaikkein kannattavinta. Kuvassa 10 esitetystä keinovalaistusjärjestelmästä huomataan myös, etteivät valaisimet sijaitse tasajakaisesti huoneen syvyys suunnassa, vaan valaisimien painopiste on ikkunaseinän puolella. Valaistuksen painopiste on siis ikkunan puoleisella seinällä, jolloin saadaan enemmän tehoa säädön piiriin. Kattoikkunoilla voidaan samalla ikkuna-alalla päästä huomattavasti korkeimpiin säästöihin johtuen päivänvalosuhteen korkeimmista arvoista. Esimerkiksi jos kattoikkunan ala on 24 % prosenttia lattian alasta ja lasipinnat ovat vaakasuorassa päivänvalosuhte voi olla 10...15 %. Kyseisillä päivänvalosuhteilla säästö 500lx valaistusvoimakkuudella on jatkuvalla säädöllä epäsuotuisammassakin tapauksessa lähes 90 % ja on-off-säädöllä lähes 80 %.



**Kuva 10.** Toimisto (Aphonen 1982)

Luokkahuoneen keinovalaistus on toteutettu kuvan 11 mukaisesti kolmella 2 x 65W valaisimella, joita säädetään ja kuudella 2 x 65W valaisimella, joita ei säädetä. Luokkahuoneen ikkuna-alalla 14 % saadaan jatkuvaa säätöä käyttäen 27 % ja on-off-säätöä käyttäen 21 % energiansäästö.



**Kuva 11.** Luokkahuone (Aphonen 1982)

Valaistuksen mitoituksessa huomioidaan yleensä lamppujen vanhenemisesta ja likaantumisesta aiheutuvat valaistustehon alenemat. Valaistusvoimakkuus lamppujen käyttöjaksen alussa on siis huomattavasti suurempi kuin tarvittava valaistusvoimakkuus. Valaistuksen mitoituksessa käytetään apuna alenemakertoimia, joiden suuruus riippuu tilan likaisuusluokasta ja valaistushuollon toiminnasta. Keinovalon säädöllä pystytään kompensoimaan alenemakertoimista johtuvaa ylimitoitusta. Jatkuvalle säädöllä ylimitoitus voidaan kompensoida kokonaan. On-off-säädöllä energiansäästö ei ole yhtä tehokasta. Teollisuustiloissa käytetään suunnittelussa alenemakertoimena yleisesti 0,5, jolloin jatkuvalle säädöllä saavutetaan aluksi jopa 50 % säästö. Koulu- ja toimistotiloissa käytetään puolestaan alenemakertoimena 0,7, jolloin jatkuvalle säädöllä saavutettava säästö olisi aluksi jopa 30 %. Keskimääräiseksi säästökseen laskennoissa käytetään yleisesti 10 % säästöä. (Aphonen 1982, 339–347)



## 5 KUSTANNUSLASKENTA

Valaistuksen uusimisesta voidaan olettaa tapauksessa, jossa valaistusvoimakkuutta ei oleellisesti nosteta energiankulutuksen pienenevän. Investointi maksaa itseään takaisin energiansäästöinä. Investoinnin takaisinmaksussa on huomioitava myös huolto- ja jätekustannukset sekä muutosten vaikutus ilmastointiin ja lämmitykseen. Painoarvoa voidaan antaa myös mahdollisten loukkaantumisien ennaltaehkäisevänä vaikutuksena. Kyseisessä rakennusvaiheessa on myös aiheutunut useita turhia palohälytyksiä vanhan valaistusjärjestelmän komponenttien pettäessä. Lämmityskulut kuuluvat lappeenrannan teknillisen yliopiston vuokraan kiinteästi, joten valaistuksen tehon aleneminen ei tässä tapauksessa vaikuta lämmityskustannuksiin. Valaistuksesta tuleva lämpö täytyy esimerkiksi kesäaikaan kuljettaa ilmastoinnin avulla ulos rakennuksesta. Kesällä tilojen käyttö on vähäistä, joten energiansäästö pitkällä aikavälillä voidaan laskemissa olettaa mitättömäksi.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston 2. rakennusvaiheen peruskorjauksen investoinneissa valaistuksen ohjauksen, ryhmittelyn ja sijoituksen kannalta oleellisimpana voidaan ryhmäkeskuksen liittämistä yhteiseen kauko-ohjaukseen muiden rakennusvaiheiden kanssa, päivä- ja keinovalaistuksen yhteiskäyttöä ja liiketunnistimien lisäämistä. Ryhmäkeskuksen liittäminen on yliopiston muissa rakennusvaiheissa havaittu toimivaksi ratkaisuksi, joten kustannuslaskelmia ei siltä osin ole järkevää tehdä. Päivänvalon hyödyntäminen ja liiketunnistimien käyttö vaatii korkeampia investointeja verrattuna painonappijärjestelmään, joka on nykyisellään käytössä. Tästä syystä kyseisten osa-alueiden kohdalla on järkevää suorittaa investointilaskelmat. (Lumme 2010)

### 5.1 Kiinteät kustannukset

Kiinteät kustannukset sisältävät valaisimien ja valaistussähköverkon hankinta- ja asennuskustannuksien koroista ja poistoista. Alkuperäisenä pidetään valaistusjärjestelmän asennuksiin ja ensimmäisiin valaisimiin sijoitettua pääomaa.

Valaisimien ja sähkötarvikkeiden hinnat voitiin aikaisemmin olettaa 25...35 % ja lamppujen 35 % halvemmiksi kuin Suomen sähkötukkuliikkeiden liiton ohjehinnat, mutta nykyään yhteisen ohjehinnaston puuttuessa on suositeltavaa selvittää tuotteen hinta usealta eri valmistajalta, jonka perusteella laskelmat tehdään. Työkustannukset joudutaan arvioimaan kokemusperäisesti, koska vaihtelut ovat suuria riippuen asennuskohteesta, asennustavasta ja asennuksen ulkonäölle asetettavista tavoitteista. Tarvikekustannuksiltaan kalliimmilla ratkaisuilla voidaan usein pienentää työkustannuksia huomattavasti. Vaihtoehtotarkasteluissa on huomioitava, ettei työkustannuksia useinkaan onnistuta arvioimaan riittävän tarkasti.

Vuotuismaksu eli annuiteetti riippuu hankintahinnan lisäksi korkokannasta ja poistosta.

$$K_a = k_a H , \quad (1)$$

jossa

$K_a$  = vuotuismaksu

$k_a$  = annuiteettikerroin

H = hankintahinta.

Annuiteettikerroin lasketaan kaavalla:

$$k_a = \frac{(1 + p/100)^n}{(1 + p/100)^n - 1} \times \frac{p}{100} , \quad (2)$$

jossa

p = korkoprosentti

n = poisto aika vuosina.

Annuiteettikerroimen arvoja poistoajan ja korkokannan funktiona on esitetty liitteessä 1.

Valaisimien käyttöikäen perustuen poistoajana käytetään teollisuudessa yleensä 8...15 vuotta ja toimistoissa 20 vuotta. Lyhyt poisto aika johtuu valaisimien ja valonlähteiden teknisestä kehitymisestä. Ryhmäkeskusten ja sähköjohtojen osalta poisto aika voi olla pitempi. (Aphonon 1982, 61–62)

## 5.2 Muuttuvat kustannukset

Muuttuviin kustannuksiin voidaan laskea energiakustannukset, lamppukustannukset sekä huolto- ja korjauskustannukset. Peruskorjaukset ja parannukset tulisi sisällyttää kiinteisiin kustannuksiin. Sähkönsiirron häviökustannukset luetaan yleensä myös muuttuviin kustannuksiin, mutta niiden merkitys käyttäjän kannalta on hyvin pieni. (Aphonen 1982, 63)

## 5.3 Luokkahuoneet

Päivänvalon hyödyntämisen kannattavuutta voidaan tutkia laskemalla tarvittavan investoinnin takaisinmaksuaika energiankulutuksen pienenemisestä aiheutuvilla säästöillä.

### 5.3.1 On-off-säätö

Päivänvalon hyödyntämisen kannattavuutta voidaan tutkia asettamalla investoinnin takaisinmaksuaika 20 vuoteen ja laskea investoinnin maksimiarvo, jolla päästään nollatulokseen verrattuna painonappi-ohjaukseen. Vuotuismaksun suuruus lasketaan arvioimalla päivänvalon hyödyntämisestä saatavat energiansäästöt. Laskelmissa voidaan olettaa valaisimien käyttöön pysyvän samalla tasolla käytettäessä on-off-säätöä kuin käytettäessä painonappi-ohjausta. Valaisimien päälle ja pois kytkeminen lisääntyy ja aiheuttaa rasituksia, mutta samalla valaisimien käyttöaika pienenee.

Jatkuvalla säädöllä saavutetaan koulu- ja toimistotiloissa valaisimien ylirajoituksesta (alennemakerroin 0,7) johtuen alussa noin 30 % säästö ja keskimäärin yli 10 % säästö. On-off-säädöllä ei saavuteta keskimäärin niin suurta säästöä, mutta varsinkin uusilla valaisimilla säästö on huomatta. Käyttöaikana käytetään 255 työpäivää, jolloin jatkuva työaika (8h) sijoittuu aikavälille 7.00...17.00. Työaika alkaa siis välillä 7.00...9.00 ja päättyy välillä 15...17. Kyseisellä välillä voidaan tuloksia pitää

kohtuullisen tarkkoina vaikka päivänvalon määrä vaihtelee. Valaistusaikana  $t$  käytetään laskennassa 2040 tuntia.

Säädettävän valaistuksen tehoksi asetetaan kolme 130 watin valaisinta, jolloin säädettävä teho on yhteensä 390W. Säättämättömän valaistuksen piiriin kuuluu kuusi 130 watin valaisinta. Kokonaistehoksi  $P$  saadaan 1170W. Energiahintana  $e$  voidaan pitää siirtomaksujen jälkeen  $0,10 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ . Investoinnin korkokantana  $p$  käytetään 8 % ja takaisinmaksuaikana  $t$  20 vuotta. Ikkuna-alana  $A_{ik}$  käytetään 14 %, jolloin säästöksi saadaan vuodessa noin 21 %. Päivänvalo ohjauksella saavutettavaa säästöä vuoden energiankulutuksesta merkataan laskennassa kertoimella  $s = 0,21$ .

Energiansäästö vuoden aikana koostuu ohjauksen aiheuttamasta energiantarpeen pienenemisestä sekä valaisinten ylimitoituksesta johtuvan turhan energiankulutuksen vähenemisestä. Energiansäästö lasketaan yhtälöllä:

$$S = Ptes \quad (3)$$

$$S = 1,170\text{kW} * 2040\text{h} * 0,10\text{€} / \text{kWh} * 0,21 \approx 50,123\text{€} .$$

Vuotuisesti säästöksi saadaan siis 50 €, jota käytetään investointilaskelmassa vuotuismaksuna. Korkokannalla 8 % ja takaisinmaksuajalla 20 vuotta käytetään annuiteettikerrointa  $k_a = 0,102$ . Yhtälöstä 1 voidaan johtaa investoinnin hankintahinta olettaen, että investoinnilla saavutetaan nollatullos:

$$K_a = k_a H, \quad (4)$$

josta saadaan johtamalla hankintahinta:

$$H = \frac{K_a}{k_a}. \quad (5)$$

Sijoittamalla alkuarvot saadaan hankintahinnaksi:

$$H = \frac{50,123\text{€}}{0,102} = 492\text{€} .$$

Keskimääräinen sähkönhinta seuraavan 20 vuoden aikana tulee oletusarvoisesti olemaan korkeampi. Korkeampi sähkönhinta tarkoittaisi lyhyempää takaisinmaksuaikaa ja taas vastaavasti matalampi sähkönhinta pidempää takaisinmaksuaikaa.

Tarkastellaan miten sähkönhinnan muutokset vaikuttavat hankintahintaan. Valitaan keskimääräiseksi sähköhinnaksi  $0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  aiemmin käytetyn  $0,10 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  sijaan. Eli energianhinta olisi keskimäärin 20 % korkeampi (noin 1,9 % hinnannousu vuodessa). Sähkönhinnan kehitys on esitetty liitteessä 2. Energiansäästö lasketaan yhtälöllä 3.

$$S = P_{\text{tes}}$$

$$S = 1,170 \text{ kW} * 2040 \text{ h} * 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 0,21 = 60,147 \text{ €}$$

Vuotuiseksi säästökseen saadaan siis 60,147€, jota käytetään investointilaskelmassa vuotuismaksuna. Korkokannalla 8 % ja takaisinmaksuajalla 20 vuotta käytetään annuiteettikerrointa  $k_a = 0,102$ .

Lasketaan hankintahinta yhtälöllä 5:

$$H = \frac{K_a}{k_a}$$

Sijoittamalla alkuarvot saadaan hankintahinnaksi:

$$H = \frac{60,147 \text{ €}}{0,102} = 590 \text{ €}$$

Tarkemmat laskelmat eri maksuajoilla ja korkokannoilla luokkahuoneen on-off-säädölle on esitetty liitteessä 4.

### 5.3.2 Jatkuva säätö

Laskelmissa voidaan olettaa valaisimien käyttöön pysyvän samalla tasolla käytettäessä jatkuvaa säätöä kuin käytettäessä painonappi-ohjausta. Todellisuudessa valaisimien

käyttöön on havaittu pidentyvät lamppujen tyypistä johtuen eri tavalla. huolto- ja jättekustannukset voidaan siis olettaa pienemmiksi kuin painonappi-ohjauksella.

Jatkuvalla säädöllä saavutetaan koulu- ja toimistotiloissa valaisimien ylirajoituksesta (alennemakero 0,7) johtuen alussa noin 30 % säästö ja keskimäärin yli 10 % säästö. Käyttöaikana käytetään 255 työpäivää, jolloin jatkuva työaika (8h) sijoittuu aikavälille 7.00...17.00. Työaika alkaa siis välillä 7.00...9.00 ja päättyy välillä 15...17. Kyseisellä välillä voidaan tuloksia pitää kohtuullisen tarkkoina vaikka päivänvalon määrä vaihtelee. Valaistusaikana,  $t$ , käytetään laskennassa 2040 tuntia.

Säädettävän valaistuksen tehoksi asetetaan kolme 130 watin valaisinta, jolloin säädettävä teho on yhteensä 390 wattia. Säättämättömän valaistuksen piiriin kuuluu kuusi 130 watin valaisinta. Kokonaistehoksi,  $P$ , saadaan 1170W. Energianhintaan,  $e$ , voidaan pitää siirtomaksujen jälkeen  $0,10 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ . Investoinnin korkokantana,  $p$ , käytetään 8 % ja takaisinmaksuaikana,  $t$ , 20 vuotta. Ikkuna-alana,  $A_{ik}$ , käytetään 14 %, jolloin säästöksi saadaan vuodessa noin 27 %. Päivänvalo ohjauksella saavutettavaa säästöä vuoden energiankulutuksesta merkataan laskennassa kertoimella  $s = 0,27$

Energiansäästö vuoden aikana koostuu ohjauksen aiheuttamasta energiantarpeen pienenemisestä sekä valaisinten ylirajoituksesta johtuvan turhan energiankulutuksen vähenemisestä. Energiansäästö lasketaan yhtälöllä 3.

$$S = P_{tes} \cdot$$

Sijoittamalla lukuarvot saadaan säästöksi:

$$S = 1,170 \text{ kW} * 2040 \text{ h} * 0,10 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 0,27 = 64,44 \text{ €}$$

Vuotuisesti säästöksi saadaan siis 64,44€, jota käytetään investointilaskelmassa vuotuismaksuna. Korkokannalla 8 % a takaisinmaksuajalla 20 vuotta käytetään annuiteettikerrointa  $k_a = 0,102$ . Lasketaan hankintahinta yhtälöllä 5.

$$H = \frac{K_a}{k_a} \cdot$$

Sijoittamalla alkuarvot saadaan hankintahinnaksi:

$$H = \frac{64,44\text{€}}{0,102} = 632,72\text{€}.$$

Lasketaan vastaava energiansäästö korotetulla sähköhinnalla yhtälöllä 3.

$$S = Ptes$$

$$S = 1,170\text{kW} * 2040\text{h} * 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 0,27 = 77,33\text{€}.$$

Vuotuiseksi säästökseen saadaan siis 77,33€, jota käytetään investointilaskelmassa vuotuismaksuna. Korkokannalla 8 % ja takaisinmaksuajalla 20 vuotta käytetään annuiteettikerrointa  $k_a = 0,102$ .

Lasketaan hankintahinta yhtälöllä 4.

$$H = \frac{K_a}{k_a}$$

Sijoittamalla alkuarvot saadaan hankintahinnaksi:

$$H = \frac{77,33\text{€}}{0,102} = 759,26\text{€}$$

Tarkemmat laskelmat eri maksuajoilla ja korkokannoilla luokkahuoneen jatkuvalle säädölle on esitetty liitteessä 4.

## 5.4 Toimistot

### 5.4.1 On-off-säätö

Lasketaan hankintahinnat toimistokäytössä kahdella erilaisella toimistomallilla. Käyttöaikoja voidaan pitää vastaavanlaisina kuin luokkahuoneissa eli valaistusaikana, t, käytetään laskennassa 2040 tuntia.

Ensimmäisessä mallissa asetetaan säädettävän valaistuksen tehoksi kaksi 120wattia valaisinta, jolloin säädettävä teho on yhteensä 240 wattia. Säättämättömän valaistuksen

piiriin kuuluu kaksi 80watin valaisinta. Kokonaistehoksi,  $P$ , saadaan 400w. Energianhintana,  $e$ , voidaan pitää siirtomaksujen jälkeen  $0,10 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ . Investoinnin korkokantana  $p$  käytetään 8 % ja takaisinmaksuaikana,  $t$ , 20 vuotta. Ikkuna-alana käytetään 15 %, jolloin säästöksi saadaan vuodessa noin 17 %. Päivänvalo ohjauksella saavutettavaa säästöä vuoden energiankulutuksesta merkataan laskennassa kertoimella  $s = 0,17$ .

Energiansäästö vuoden aikana koostuu ohjauksen aiheuttamasta energiantarpeen pienenemisestä sekä valaisinten ylimitoituksesta johtuvan turhan energiankulutuksen vähenemisestä. Energiansäästö lasketaan yhtälöllä 3.

$$S = PteS$$

$$S = 0,400\text{kW} * 2040\text{h} * 0,10 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 0,17 = 13,872\text{€}.$$

Vuotuisesti säästöksi saadaan siis 13,872€, jota käytetään investointilaskelmassa vuotuismaksuna. Korkokannalla 8 % ja takaisinmaksuajalla 20 vuotta käytetään annuiteettikerrointa,  $k_a = 0,102$ . Yhtälöstä 4 voidaan lasketa hankintahinta. Sijoittamalla alkuarvot saadaan hankintahinnaksi:

$$H = \frac{13,872\text{€}}{0,102} = 136,20\text{€}$$

Lasketaan korotetulla sähkönhinnalla energiansäästö yhtälöllä 3.

$$S = PteS$$

$$S = 0,400\text{kW} * 2040\text{h} * 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 0,17 = 16,64\text{€}.$$

Vuotuisesti säästöksi saadaan siis 16,64€, jota käytetään investointilaskelmassa vuotuismaksuna. Korkokannalla 8 % ja takaisinmaksuajalla 20 vuotta käytetään annuiteettikerrointa  $k_a = 0,102$ . Lasketaan hankintahinta yhtälöllä 5.

$$H = \frac{K_a}{k_a}$$



Sijoittamalla alkuarvot saadaan hankintahinnaksi:

$$H = \frac{16,64\text{€}}{0,102} = 163,44\text{€}$$

Suoritetaan laskennat uudelleen käyttämällä Ikkuna-alana 24 %, jolloin säästökseen saadaan vuodessa noin 37 %. Päivänvalo ohjauksella saavutettavaa säästöä vuoden energiankulutuksesta merkataan laskennassa kertoimella,  $s = 0,37$ . Muut alkuarvot säilyvät ennallaan. Tulokset on esitetty taulukossa 3. Toimistomallissa 2 valitaan säädettävän valaistuksen tehoksi kaksi 65 watin valaisinta. Säädettävä teho on yhteensä 130 W. Säättämättömän valaistuksen piiriin kuuluu yksi 65 watin valaisin. Kokonaistehoksi,  $P$ , saadaan 195W. Ikkuna-alana käytetään 15 % jolloin saadaan energiansäästökertoimeksi 0,35 ja ikkuna-alaa 24 %, jolloin säästökertoimeksi saadaan 0,50. Laskennallisesti verrattuna ensimmäiseen toimiston malliin ainoat erot tulevat valaistustehossa, energiansäästökertoimissa ja tehon jakautumisessa säädettävän ja säättämättömän valaistuksen piiriin. Tulokset on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** On-off-säätimen hankintahinnat kokonaisteholla 195W

Hankintahinta	Ikkuna-ala	
Sähkön hinnalla 0,10€/kWh	15 %	24 %
Toimisto 1	136 €	296 €
Toimisto 2	137 €	195 €
Hankintahinta	Ikkuna-ala	
Sähkön hinnalla 0,12€/kWh	15 %	24 %
Toimisto 1	163 €	356 €
Toimisto 2	164 €	234 €

Laskelmat on-off-säädön hankintahinnalle eri korkokannoilla ja takaisinmaksu ajoilla on esitetty toimistotyypille 1 liitteessä 5 ja toimistotyypille 2 liitteessä 6.

### 5.4.2 Jatkuva säätö

Jatkuvan säädön laskenta suoritetaan täysin vastaavalla tavalla kuin on-off-säädön laskenta. Alkuarvoista muuttuvat vain energiansäästökertoimet. Toimistotyypille yksi saadaan 15 % ikkuna-alalla säästökertoimeksi 0,39 ja ikkuna-alalla 24 % 0,48. Vastaavasti toimistotyypille kaksi saadaan 15 % ikkuna-alalla säästökertoimeksi 0,51 ja ikkuna-alalla 24 % 0,58. Tulokset laskennasta on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Jatkuvan säädön hankintahinnat toimistolle

Hankintahinta	Ikkuna-ala	
Sähköhinnalla 0,10€/kWh	15 %	24 %
Toimisto 1	312 €	385 €
Toimisto 2	199 €	227 €
Hankintahinta	Ikkuna-ala	
Sähköhinnalla 0,12€/kWh	15 %	24 %
Toimisto 1	375 €	461 €
Toimisto 2	239 €	272 €

Laskelmat jatkuvan säädön hankintahinnalle eri korkokannoilla ja takaisinmaksu ajoilla on esitetty toimistotyypille 1 liitteessä 5 ja toimistotyypille 2 liitteessä 6.

### 5.5 Porraskäytävät

Lappeenrannan teknillisen yliopiston 2. rakennusvaiheen porraskäytävien ikkunoiden koko ei ole riittävä, jotta pelkästään päivänvalon ja keinovalon yhteiskäyttö tulisi taloudellisesti kannattavaksi. Liiketunnistimien käyttö porraskäytävissä sen sijaan lisää huomattavasti turvallisuustekijöitä. Liiketunnistimille voidaan soveltaa laskentamallia, jossa hankintahintana toimii liiketunnistimen asennus ja hankintakulut ja vuotuismaksuna käytetään energiansäästöä verrattuna valojen jatkuvaan käyttöön työaikana. Laskenta suoritetaan liiketunnistimen lisäksi PIR-tunnistimella eli tunnistimella joka huomioi myös päivänvalonmäärän.

Käyttöaikana käytetään 255 työpäivää, jolloin jatkuva työaika (8h) sijoittuu aikavälille 7.00...17.00. Valojen käyttöaikana käytetään 10 tuntia. Korkokannalla 8 % ja takaisinmaksuajalla 20 vuotta käytetään annuiteettikerrointa  $k_a = 0,102$ . Portaikoissa sijaitsevien liiketunnistimien energiankulutuksen väheneminen lasketaan arvoilla 30 % ja 50 %. PIR-tunnistimen vastaavat energiankulutuksen muutokset 40 % ja 60 %. Tunnistimia on asennettava joka kerrokseen ja eli kahta valaisinta kohti tulee yksi tunnistin. Kustannuslaskelma voidaan suorittaa tutkimalla investoinnin kannattavuus yhden tunnistimen ja kahden valaisimen avulla. Lasketaan Tunnistimien kannattavuus valaisimen teholla 2x18W ja 1x58W.

Tunnistimen ohjauksella saavutettavaa säästöä vuoden energiankulutuksesta merkataan laskennassa kertoimella,  $s$ .

Energiansäästö vuoden aikana koostuu ohjauksen aiheuttamasta energiantarpeen pienenemisestä. Energiansäästö lasketaan yhtälöllä 3.

$$S = PteS$$

Investoinnin hankintahinta lasketaan yhtälöllä 5.

$$H = \frac{K_a}{k_a}$$

Liiketunnistimen kannattavat hankintahinnat valaisimen tehoilla 36W säästöprosentteilla 30 % ja 50 % sekä sähköhinnalla  $0,10 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  ja  $0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  on esitetty taulukossa 4.

**Taulukko 4.** Hankintahinnat liiketunnistimelle 36W teholla

Liiketunnistimen hankintahinta

Energiansäästökerroin	30 %	50 %
Sähköhinnalla 0,10€/kWh	27 €	45 €
Sähköhinnalla 0,12€/kWh	32 €	54 €
PIR-tunnistimen hankintahinta		
Energiansäästökerroin	40 %	60 %
Sähköhinnalla 0,10€/kWh	69 €	104 €
Sähköhinnalla 0,12€/kWh	87 €	130 €

Liiketunnistimen kannattavat hankintahinnat valaisimen tehoilla 58W säästöproseenteilla 30 % ja 50 % sekä sähköhinnalla  $0,10 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  ja  $0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5.** Hankintahinnat liiketunnistimelle 58W teholla

Liiketunnistimen hankintahinta

Energiansäästökerroin	30 %	50 %
Sähköhinnalla 0,10€/kWh	70 €	116 €
Sähköhinnalla 0,12€/kWh	87 €	145 €

PIR-tunnistimen hankintahinta

Energiansäästökerroin	40 %	60 %
Sähköhinnalla 0,10€/kWh	112 €	167 €
Sähköhinnalla 0,12€/kWh	139 €	209 €

Laskelmat porraskäytävän liiketunnistimen hankintahinnalle eri korkokannoilla ja takaisinmaksu ajoilla on esitetty valaistuksen teholla 36W liitteessä 6 ja teholla 58W liitteessä 7.

## 5.6 Käytävät

Lappeenrannan teknillisen yliopiston 2. rakennusvaiheen käytävien valaistuksen ohjaaminen liiketunnistimilla on verrattavissa porraskäytävien ohjaukseen. Toimistojen ja luokkahuoneiden ovien välissä saavutetaan valaistusteholta samansuuruisia teholuokkia yhtä tunnistinta kohden kuin rappukäytävässä. Optimaalinen paikka liiketunnistimien käyttöön olisi vähäisellä käytöllä olevat käytävät esimerkiksi kellarikerroksessa, jossa käytävän varrella on hyvin vähän ovia.

## 5.7 Kokoushuoneet

Kokoushuoneiden valaistuksen suunnittelussa viihtyvyyden merkitys on huomattava. Näin ollen valaistuksen säätäminen päivänvalo-ohjausta käyttämällä ei ole

suositeltavaa. Tarvittaessa voidaan kokoushuoneen koon mukaan käyttää kustannuslaskelmissa pohjana toimistojen ja luokkahuoneiden kustannuslaskelmia.

## **5.8 Ylläpitokustannukset**

Ylläpitokustannusten muutoksia mahdollisten päivänvalo-ohjausten ja liiketunnistimien käytön seurauksena on hyvin vaikea arvioida. Suurimmat kustannukset tulevat valaisimien lamppujen vaihdoista, puhdistus- ja huoltokustannuksista sekä jätekustannuksista. Valaisimien ohjaus lyhentää oletusarvoisesti lamppujen ikää, mutta samalla lamppujen käyttöaika lyhenee ja kustannukset pysyvät näin samalla tasolla kuin painonappiohjauksessa. Ylläpitokustannukset on näin järkevää arvioida pysyvän samalla tasolla. Mahdolliset säästöt ylläpitokustannuksissa voidaan katsoa hyvin pieniksi verrattuna energiansäästöön.

## **5.9 Muutostöiden kannattavuus**

Muutostöiden kannattavuus saadaan selville vertaamalla laskettuja hankintahintoja muutostöiden toimittajan tarjoamiin hintoihin. Hankintahinta sisältää laitteiston ja asennuksen. Liitteessä 3 on esitetty ohjehintoja erityyppisille liiketunnistimille ja hämäräkytkimille. Peruskorjauksen yhteydessä asennushinnan määrittäminen on huomattavasti vaikeampaa kuin muutostyössä, jossa liiketunnistin tai päivänvalo-ohjain lisätään järjestelmään jälkeenpäin. Suurin säästöpotentiaali luokkahuoneissa ja toimistoissa muodostuu pääosin ohjauksesta, sillä tehokkaalla ohjaukselle voidaan saavuttaa useamman kymmenen prosentin säästöt energiankulutuksessa.

Energianhinnan jatkuvasti noustessa ja vastaavasti ohjaustekniikan kehittyessä ja ohjainten hintojen laskiessa liiketunnistimiin ja päivänvalo-ohjaukseen perustuvat valaistusjärjestelmät tulevat koko ajan kannattavammiksi. Tehtyjen laskelmien tuloksia on esitetty taulukossa 6 esittämällä laskennassa saatujen hankintahintojen matalimpia ja korkeimpia arvoja riippuen laskennassa käytetyistä lähtöarvoista. Korkeimmat hankintahinnat laskennassa saatiin päivänvalo-ohjauksessa olevilla luokkahuoneilla ja

matalimmat vastaavasti liiketunnistinohjauksella porraskäytävissä. Luokkahuoneiden korkeampi hankintahinta verrattuna toimistoihin on selitettävissä luokkahuoneiden korkeammalla valaistuksen kokonaissähköteholla vaikka toimistotilojen energiansäästökertoimet ovat keskimäärin korkeampia.

Päivänvalon ja liiketunnistimien käytön kannattavuus on vahvasti riippuvainen energianhinnasta. Laskennassa käytetyt energianhinnat on laskettu erittäin maltillisella energianhinnan nousulla. Laskennassa saatuja korkeimpia hankintahintoja voidaan pitää realistisina ja saavutettavissa olevina. Energiatehokkaan ohjauksen lisäksi on suositeltavaa tutkia erityyppisten valaisimien käyttömahdollisuuksia. Energiatehokkaan ohjauksen yhdistämisellä energiatehokkaisiin valaisimiin voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä verrattuna aikaisempaan valaistusjärjestelmään.

**Taulukko 6.** Investointien hankintahinnat

Hankintahinta	Matalin	Korkein
Luokkahuone (on-off-säätö)	492 €	590 €
Luokkahuone (jatkuva säätö)	634 €	759 €
Toimisto (on-ei-säätö)	136 €	356 €
Toimisto (jatkuva säätö)	199 €	461 €
Porraskäytävät (liiketunnistin)	70 €	209 €

## 6 YHTEENVETO

Liiketunnistimiin ja hämäräkytkimiin pohjautuvien valaistusjärjestelmien tekniikka kehittyi jatkuvasti. Nykyistä tekniikkaa voidaan kuitenkin pitää tekniseltä tasoltaan riittävänä pidempiaikaisia investointeja ajatellen. Hintatason muutoksien huomioiminen on oleellista, jos ohjausjärjestelmän muutokset tehdään jälkiasennuksena. Jälkiasennuksen ajankohta ei ole jälkiasennuksia koskien niin kriittinen kuin peruskorjauksen. Valaistusjärjestelmän kannattavuutta laskettaessa oletettiin, ettei peruskorjauksen yhteydessä asennettavan valaistusjärjestelmän tekniikkaan tehdä oleellisia muutoksia ainakaan 20 vuoteen.

Valaistusjärjestelmän muutustyöt Lappeenrannan teknillisen yliopiston 2. rakennusvaiheen peruskorjauksen yhteydessä tulevat oletettavasti laskemaan energiankulutusta energiatehokkaampien valaisimien ansiosta vaikei ohjaukseen tehtäisi oleellisia muutoksia. Ohjauksen tehostaminen aikaisempaa kehittyneemmällä tekniikalla laskee energiankulutusta edelleen. Kehittyneiden ohjauslaitteiden käyttöä on rajoittanut voimakkaasti korkeat investoinnit verrattuna tehottomampaan ohjaukseen. Suoritetun laskennan tuloksista voidaan todeta energiankulutuksen vähenemisestä aiheutuvien säästöjen olevan huomattavia jo esimerkiksi yhden toimiston tai luokkahuoneen osalta.

Laskennan perusteella saatujen hankintahintojen vertaamista valaistusjärjestelmän rakennuttajan tarjoukseen ei voida pitää ainoana arviointi kriteerinä. Huomioon on otettava myös tehokkaamman valaistusjärjestelmän mukanaan tuomat edut turvallisuudessa ja käytettävyydessä. Energiantehokkaan valaistusjärjestelmän käyttäminen Lappeenrannan teknillisen yliopiston toisessa rakennusvaiheessa luo lisäksi pohjan siirtyä vastaavanlaiseen tekniikkaan myös muissa rakennusvaiheissa.

## LÄHTEET

Autio Ismo. 2005. Tuottava toimisto. Espoo: Sähkötieto ry. ISBN 978-952-5600-53-7

Veikko Ahponen, Tuomas Kaján, Sauli Falck. 1977 Valaistustekniikan käsikirja I. Helsinki: Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry. ISBN 951-95176-9-3

Veikko Ahponen, Sinikka Oksaharju. 1982 Valaistustekniikan käsikirja I. Helsinki: Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry. ISBN 951-95177-0-7

Ensto. Kiinteistön sähköistys. [Enston www-sivuilla] Päivitetty 2.1.2010 [viitatta 29.1.2010].

Saatavissa:[http://www.ensto.com/www/finnish/index/kiinteiston\\_sahkoistys.html](http://www.ensto.com/www/finnish/index/kiinteiston_sahkoistys.html)

Portaikot. [Enston www-sivuilla]. Päivitetty 15.2.2010. [viitattu 20.2.2010].

Saatavissa: <http://www.ensto.com/fi/ratkaisut/energiatehokasarki/valaistus/esimerkkeja/portaikot>

Kaytavat. [Enston www-sivuilla]. Päivitetty 15.2.2010. [viitattu 20.2.2010].

Saatavissa: <http://www.ensto.com/fi/ratkaisut/energiatehokasarki/valaistus/esimerkkeja/kaytavat>

Suunnittelijanopas. [Enston www-sivuilla]. Päivitetty 2.1.2010. [viitattu 29.1.2010].

Saatavissa: <http://www.ensto.com/suunnittelijanopas/>

Lumme, Harri. 2010. Turvallisuuspäällikkö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Lappeenranta. Haastattelu 25.1.2010.



## Liite 1. Annuiteettikertoimet

Poistoaika	Korkokanta			
	6 %	8 %	10 %	12 %
5	0,237	0,250	0,264	0,277
10	0,136	0,149	0,163	0,177
15	0,103	0,117	0,131	0,147
20	0,087	0,102	0,117	0,134

## Liite 2. Sähkönhinnankehitys

Sähkönhinnan ketitys 1,9% korolla

Vuosi	Hinta
1	10,00 €
2	10,19 €
3	10,38 €
4	10,58 €
5	10,78 €
6	10,99 €
7	11,20 €
8	11,41 €
9	11,63 €
10	11,85 €
11	12,07 €
12	12,30 €
13	12,53 €
14	12,77 €
15	13,01 €
16	13,26 €
17	13,51 €
18	13,77 €
19	14,03 €
20	14,30 €
Keskiarvo	12,03 €

### Liite 3. Ohjehinnasto

Liiketunnistin	Hinta [€]
STEINEL LIIKETUNN.IS140-2MU	86
STEINEL LIIKETUNN.IS140-2VA	73
ISNM360 LIIKETUNNISTIN.MU	88
LIIKETUNNISTIN ARGUS 70	71
LIIKETUNNISTIN ARGUS 220	124
LIIKETUNNISTIN ARGUS 110	105
LIIKETUNNISTIN ARGUS 300	151
LIIKETUNNISTIN ARGUS 360	162

PIR-tunnistimet	Hinta [€]
LIIKETUNNISTIN RS16 180 PIR	138
LIIKETUNNISTIN PLUS 180 PIR	146
LIIKETUNNISTIN PLUS 180 PIR	159
LIIKETUNNISTIN PLUS 180 PIR	159
LIIKETUNNISTIN RS16 PIR2300	96
LIIKETUNNISTIN RS16 PIR350	62
LIIKETUNNISTIN RS16 PIR2300	138
LIIKETUNNISTIN PLUS 2300PIR	159
AVL103PIR-TUNNISTIN	104
AVL105 PIR-TUNNISTIN	107

Tutkatunnistin	Hinta [€]
AVL66 TUTKATUNNISTINYKSIKKÖ	127
AVL106 TUTKATUNNISTIN	110
AVL107 TUTKATUNNISTIN	110
DEI-989 SISÄTILAN TUTKA	133

Pir-valaisin	Hinta [€]
VALAISIN AVR-400.0186D PIR	313
VALAISIN AVR-1.294E PIR	176
VALAISIN AVR-1.29/94E PIR	257
VALAISIN AVR-400.1184E PIR	240
VALAISIN AVR-400.418/94EPIR	348
VALAISIN AVR-400.2264E PIR	211
VALAISIN AVR-320.2134E PIR	221

Valosäätimet	Hinta [€]
2609013 H VALONSÄÄDIN UNI 400 230VAC	195
2609014 VALONSÄÄDIN UNI 400 12-30V	187
2609015 H VALONSÄÄDIN DIN 1000 RL 230	294
2609016 H VALONSÄÄDIN DIN 1000	320
2607029 THEBEN HKYTK LUNA 109	124
2607030 H THEBEN HKYTK LUNA 109	127
2607031 H THEBEN HKYTK LUNA 110	137

## Liite 4. Luokkahuoneen kustannuslaskelma

### LUOKKAHUONE

Luokkahuone	On-ei-säätö	Jatkuvasäätö
Käyttöaika [h]:	2040	2040
Sähkönhintaa [€/kWh]	0,12	0,12
energiansäästökerroin	0,21	0,27
Säädettyvaloteho [W]	390	390
Säätämätönvaloteho [W]	780	780
Ikkuna-ala	14 %	14 %

#### On-ei-säätö

Energiansäästö vuodessa [€]	60 €
Hankintahinta	591 €

Hankintahinta	korkokanta				
Poisto-aika vuosina (a)		6 %	8 %	10 %	12 %
5		253 €	240 €	228 €	217 €
10		443 €	404 €	370 €	340 €
15		584 €	515 €	457 €	410 €
20		690 €	591 €	512 €	449 €

#### Jatkuvasäätö

Energiansäästö vuodessa [€]	77 €
Hankintahinta	759 €

Hankintahinta	korkokanta				
Poisto-aika vuosina (a)		6 %	8 %	10 %	12 %
5		326 €	309 €	293 €	279 €
10		569 €	519 €	475 €	437 €
15		751 €	662 €	588 €	527 €
20		887 €	759 €	658 €	578 €

Liite 5. Toimistotyyppi 1 kustannuslaskelma

<b>Toimisto 1</b>	On-ei-säättö	Jatkuvasäättö			
Käyttöaika [h]:	2040	2040			
Sähköhinta [€/kWh]	0,12	0,12			
energiansäästökerroin	0,17	0,39			
Säädetty valoteho [w]	240	240			
Säätämätönvaloteho [w]	160	160			
Ikkuna pinta-ala	15 %	15 %			
<b>On-ei-säättö</b>					
Energiansäästö vuodessa [€]	17 €				
Hankintahinta	163 €				
Hankintahinta	korkokanta				
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %	
5	70 €	66 €	63 €	60 €	
10	123 €	112 €	102 €	94 €	
15	162 €	142 €	127 €	113 €	
20	191 €	163 €	142 €	124 €	
<b>Jatkuvasäättö</b>					
Energiansäästö vuodessa [€]	38 €				
Hankintahinta	375 €				
Hankintahinta	korkokanta				
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %	
5	161 €	152 €	145 €	138 €	
10	281 €	256 €	235 €	216 €	
15	371 €	327 €	290 €	260 €	
20	438 €	375 €	325 €	285 €	

jatkuu

liite 1 jatkoa

<b>Toimisto 1</b>	On-ei-säättö	Jatkuvasäättö
Käyttöaika [h]:	2040	2040
Sähköhinta [€/kWh]	0,12	0,12
energiansäästökerroin	0,37	0,48
Säädetty valoteho [W]	240	240
Säätämätönvaloteho [W]	160	160
Ikkuna pinta-ala	15 %	15 %

**On-ei-säättö**

Energiansäästö vuodessa [€]	36 €
Hankintahinta	356 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	153 €	145 €	137 €	131 €
10	267 €	243 €	223 €	205 €
15	352 €	310 €	276 €	247 €
20	416 €	356 €	308 €	271 €

**Jatkuvasäättö**

Energiansäästö vuodessa [€]	47 €
Hankintahinta	461 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	198 €	188 €	178 €	169 €
10	346 €	315 €	289 €	266 €
15	456 €	402 €	357 €	320 €
20	539 €	461 €	400 €	351 €

Liite 6. Toimistotyypin 2 kustannuslaskelma

<b>Toimisto 2</b>	On-ei-säättö	Jatkuvasäättö		
Käyttöaika [h]:	2040	2040		
Sähköhinta [€/kWh]	0,12	0,12		
energiansäästökerroin	0,35	0,51		
Säädetty valoteho [W]	130	130		
Säätämätönvaloteho [W]	65	65		
Ikkuna pinta-ala	15 %	15 %		
<b>On-ei-säättö</b>				
Energiansäästö vuodessa [€]	17 €			
Hankintahinta	164 €			
Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	70 €	67 €	63 €	60 €
10	123 €	112 €	103 €	94 €
15	162 €	143 €	127 €	114 €
20	192 €	164 €	142 €	125 €
<b>Jatkuvasäättö</b>				
Energiansäästö vuodessa [€]	24 €			
Hankintahinta	239 €			
Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	103 €	97 €	92 €	88 €
10	179 €	163 €	150 €	138 €
15	236 €	208 €	185 €	166 €
20	279 €	239 €	207 €	182 €

jatkuu

liite 6 jatkuu

<b>Toimisto 2</b>	On-ei-säättö	Jatkuvasäättö
Käyttöaika [h]:	2040	2040
Sähköhinta [€/kWh]	0,12	0,12
energiansäästökerroin	0,5	0,58
Säädetty valoteho [W]	130	130
Säätämätönvaloteho [W]	65	65
Ikkuna pinta-ala	24 %	24 %

**On-ei-säättö**

Energiansäästö vuodessa [€]	24 €
Hankintahinta	234 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	101 €	95 €	90 €	86 €
10	176 €	160 €	147 €	135 €
15	232 €	204 €	182 €	163 €
20	274 €	234 €	203 €	178 €

**Jatkuvasäättö**

Energiansäästö vuodessa [€]	28 €
Hankintahinta	272 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	117 €	111 €	105 €	100 €
10	204 €	186 €	170 €	156 €
15	269 €	237 €	211 €	189 €
20	318 €	272 €	236 €	207 €



Liite 7. Portaikon kustannuslaskelma 36W teholla

**Portaikko 36W teholla**

Käyttöaika [h]:	2550	2550
Sähköhinta [€/kWh]	0,12	0,12
energiansäästökerroin	0,3	0,5
Säädetty valoteho [W]	36	36

**Liiketunnistin 30%  
säästökertoimella**

Energiansäästö vuodessa [€]	3 €
Hankintahinta	32 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	14 €	13 €	13 €	12 €
10	24 €	22 €	20 €	19 €
15	32 €	28 €	25 €	23 €
20	38 €	32 €	28 €	25 €

**Liiketunnistin 50%  
säästökertoimella**

Energiansäästö vuodessa [€]	6 €
Hankintahinta	54 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	23 €	22 €	21 €	20 €
10	41 €	37 €	34 €	31 €
15	53 €	47 €	42 €	38 €
20	63 €	54 €	47 €	41 €

**PIR-tunnistin 40%  
säästökertoimella**

Energiansäästö vuodessa [€]	4 €
Hankintahinta	43 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	19 €	18 €	17 €	16 €
10	32 €	30 €	27 €	25 €
15	43 €	38 €	34 €	30 €
20	51 €	43 €	38 €	33 €

jatkuu

liite 7 jatkuu

**PIR-tunnistin 60%  
säästökertoimella**

Energiansäästö vuodessa [€] 7 €  
Hankintahinta 65 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poisto-aika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	28 €	26 €	25 €	24 €
10	49 €	44 €	41 €	37 €
15	64 €	57 €	50 €	45 €
20	76 €	65 €	56 €	49 €

Liite 8. Portaikon kustannuslaskelma 58W teholla

**Portaikko 58W teholla**

Käyttöaika [h]:	2550	2550
Sähköhinta [€/kWh]	0,12	0,12
energiansäästökerroin	0,3	0,5
Säädetty valoteho [W]	58	58

**Liiketunnistin 30%  
säästökertoimella**

Energiansäästö vuodessa [€]	5 €
Hankintahinta	52 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	22 €	21 €	20 €	19 €
10	39 €	36 €	33 €	30 €
15	52 €	46 €	40 €	36 €
20	61 €	52 €	45 €	40 €

**Liiketunnistin 50%  
säästökertoimella**

Energiansäästö vuodessa [€]	9 €
Hankintahinta	87 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	37 €	35 €	34 €	32 €
10	65 €	60 €	55 €	50 €
15	86 €	76 €	67 €	60 €
20	102 €	87 €	76 €	66 €

**PIR-tunnistin 40%  
säästökertoimella**

Energiansäästö vuodessa [€]	7 €
Hankintahinta	70 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	30 €	28 €	27 €	26 €
10	52 €	48 €	44 €	40 €
15	69 €	61 €	54 €	48 €
20	81 €	70 €	60 €	53 €

jatkuu

liite 8 jatkuu

**PIR-tunnistin 60%  
säästökertoimella**

Energiansäästö vuodessa [€]	11 €
Hankintahinta	105 €

Hankintahinta	korkokanta			
Poistoaika vuosina (a)	6 %	8 %	10 %	12 %
5	45 €	43 €	40 €	38 €
10	78 €	71 €	65 €	60 €
15	103 €	91 €	81 €	73 €
20	122 €	105 €	91 €	80 €

Liite 9. Valaistusluokitus

<b>Valaistusluokka</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>
<b>Valaistusvoimakkuus</b>	Tilanne- ja tarvekoh- tainen näkötehtävien erittäin hyvä suoritus. Suositusten mukaiset arvot yli 750 lx (suunn. arvo).	Kaikkien näkötehtä- vien hyvä suoritus. Suositusten mukai- set arvot 500 - 750 lx (suunn. arvo).	Perusnäkötehtävien suoritus mahdolli- nen. Suositusten mukaiset arvot 300 - 500 lx (suunn. arvo).
<b>Valaistuksen tasaisuus</b>	Tasapainoinen valais- tus; luminanssisuhteet huomioitava, tasai- suus > 0,6. Lisäksi esim. ATK-työn vaati- mukset.	Suunnitellaan tilan käyttötarkoituksen ja työpisteiden mukaan; tasaisuus työalueilla > 0,6.	Ei erityisvaatimuk- sia; minimi 200 lx.
<b>Ohjaus ja säätö</b>	Tilanneohjaus, säätö manuaalinen/autom.	Automaattinen on/off.	Manuaalinen on/off.
<b>Häikäisyn rajoitus</b>	Hyvä rajoitus kaikissa katselusuunnissa (yli 65 kulmiin), matalalu- minanssioptiikka < 1000 cd/m <sup>2</sup> . Aina epä- suora komponentti.	Hyvä rajoitus yleisis- sä katselusuunnissa (> 65 kulmiin), tarvit- taessa matalalumi- nanssioptiikka < 2000 cd/m <sup>2</sup> . Tarvitta- essa epäsuora komponentti.	Perusrajoitus valai- sinvalinnalla valon- lähteen mukainen, min 20° mek. suo- jakulma.
<b>Häikäisyindeksi UGR</b>	< 16	< 19	< 22
<b>Muunneltavuus</b>	Hyvä muunneltavuus. Koko järjestelmä help- po vaihtaa. Kiskot ja valaisinpistorasiat.	Valaisimien paikka helppo vaihtaa. Varauduttu muun- neltavuuteen.	Ei vaatimuksia.
<b>Valonväriominaisuudet</b>	Valinta tilan ominai- suuksien mukaan. Päivänvalo otetaan huomioon.	Lämmin tai neutraali.	Ei vaatimuksia.
<b>Värintoistoindeksi Ra</b>	Erittäin hyvä Ra > 90.	Hyvä, 80 < Ra < 90.	Minimi 80.
<b>Energiatehokkuus</b>	Paras tekniikka	Keskitason tekniikka	Perustekniikka