



VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUS JA ENERGIATEHOKKAAT OHJAUSJÄRJESTELMÄT

Kristoffer Blom

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2012
Sähkötekniikka
Talotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Talotekniikka

KRISTOFFER BLOM:

Valaistuksen energiatehokkuus ja energiatehokkaat ohjausjärjestelmät

Opinnäytetyö 55 sivua, josta liitteitä 3 sivua
Maaliskuu 2012

Tämä opinnäytetyö tehtiin Alppilux Oy:lle. Alppilux on yksityinen suomalaisomisteinen valaisinvalmistaja, jonka tehtaat sijaitsevat Suomessa Lohjalla ja Virossa Paidessa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä valaistuksen ohjauksen mahdollisuuksiin, yleisimpiin valaistuksen ohjausjärjestelmiin ja niiden ominaisuuksiin. Keskeisinä asioina työssä olivat järjestelmien energiatehokkuus ja valaistusta koskevat määräykset ja standardit.

Työhön on koottu yleisimpiä valaistuksen ohjaustapoja ja -järjestelmiä. Työssä tarkasteltiin sisävalaistusta koskevia direktiivejä ja määräyksiä valaistussuunnittelun näkökulmasta sekä energiatehokkaan ja toimivan valaistuksen tekijöitä. Työn lopussa on laskettu yleisimmillä ohjausjärjestelmillä toteutettujen valaistusjärjestelmien investointi- ja käyttökustannuksia. Kokonaiskustannusten pohjalta laskettiin järjestelmille takaisinmaksuajat perinteiseen valaistuksenohjausjärjestelmään verrattuna.

Työn pohjalta voidaan todeta oikeanlaisen valaistuksenohjauksen alentavan sähköenergian kulutusta ja sitä kautta järjestelmien kokonaiskustannuksia huomattavan paljon. Vaikka energiatehokkaiden ohjausjärjestelmien investointikustannukset ovat suuremmat, ovat uusien järjestelmien elinkaarikustannukset alhaisemmat perinteisiin järjestelmiin verrattuna.

Asiasanat: valaistuksenohjaus, energiatehokkuus, kustannuslaskenta.

ABSTRACT

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Electrical Building Services

KRISTOFFER BLOM:
Energy Efficiency of Lighting and Energy Efficient Control Systems

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 3 pages
March 2012

This thesis was made for Alppilux Ltd. Alppilux is a privately owned Finnish luminaire manufacturer, whose facilities are located at Lohja in Finland and Paide in Estonia.

The aim of this thesis was to study the possibilities of lighting control and the most common lighting control systems and their properties. The mainline in thesis was energy efficiency of systems, as well as respective regulations and standards of lighting.

Most common lighting control methods and systems are compiled to this thesis. The thesis examines the directives and regulations of indoor lighting from the perspective of lighting planning, as well as energy efficient and functional elements of lighting. At the end of the thesis there is a calculation of investment and running costs of different lighting control systems. Based on the total costs of different systems, payback periods compared to a conventional lighting control system were calculated.

The results based on this thesis suggest that the right kind of lighting control reduces energy consumption and therefore the total costs of lighting system considerably. Although the investment costs of energy efficient lighting control systems are higher, the total cost based on systems lifetime are lower compared to conventional control systems.

Key words: lighting control, energy efficiency, cost accounting.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUS.....	8
	2.1 Valaistuksen osuus rakennusten energiankulutuksesta.....	8
	2.2 Rakennusten energiatehokkuutta säätelevät direktiivit ja määräykset.....	8
	2.3 LENI-indeksi	9
	2.4 Energiatehokkuuden tekijät	10
3	VALAISTUSSUUNNITTELU	11
	3.1 Valaistuksen toimivuus	11
	3.2 Valaistuksen määrälliset ja laadulliset vaatimukset.....	12
	3.2.1 Valaistusvoimakkuus	12
	3.2.2 Sylinterivalaistusvoimakkuus	14
	3.2.3 Häikäisy.....	14
	3.2.4 Valon väriominaisuudet	15
	3.3 Valonlähteet	16
4	VALAISTUKSEN OHJAUS	17
	4.1 Ohjaustavat	18
	4.1.1 Läsnaolo- ja poissaolo-ohjaus	18
	4.1.2 Vakiovalo-ohjaus	19
	4.1.3 Tilanneohjaus	19
	4.1.4 Hämäräkytkin ja kellokytkin.....	20
	4.2 Valaistuksenohjausjärjestelmät.....	20
	4.2.1 1-10 V -ohjaus.....	20
	4.2.2 DSI (Digital Serial Interface)	22
	4.2.3 Suora painikeohjaus (SwitchDim, SwitchControl, TouchDim).....	24
	4.2.4 DMX (Digital Multiplex).....	25
	4.2.5 DALI (Digital Adressable Lighting Interface).....	26
	4.3 Tie- ja aluevalaistuksen ohjausjärjestelmät	28
	4.3.1 Tehonalennusreleet (StepDim).....	29
	4.3.2 Itsenäiset valonsäätöjärjestelmät	32
	4.3.3 Älykkäät tie- ja aluevalaistusjärjestelmät.....	34
5	SISÄVALAISTUKSEN OHJAUSRATKAISUJEN ELINKAARIKUSTANNUSVERTAILU	38
	5.1 Perinteinen painonapeilla toteutettu järjestelmä	39
	5.2 Suoralla painikeohjauksella toteutettu järjestelmä.....	40
	5.3 Analoginen 1-10 V –järjestelmä	41

5.4 Helvar iDim-järjestelmä	42
5.5 Helvar DIGIDIM-järjestelmä (DALI)	43
5.6 Ohjaustapojen elinkaarikustannusten vertailu	47
6 POHDINTA.....	50
LÄHTEET.....	51
LIITTEET	53

ERITYISSANASTO

Suure/Käsite	Symboli	Yksikkö	Selitys
Valovoima	I	kandela (cd)	Valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuus.
Valaistusvoimakkuus	E	luksi (lx)	Tietylle pinnalle osuvan valovirran suhde pinta-alaan.
Sylinterivalaistusvoimakkuus	E_z	luksi (lx)	Äärettömän pieneen, tiettyyn pisteeseen sijoitetun sylinterin kaarevalle pystypinnalle lankeava kokonaisvalovirta jaettuna sylinterin pinta-alalla.
Luminanssi	L	(cd/m ²)	Valonlähteen, valaisimen tai valaistun pinnan valovoima neliömetriä kohden.
Valovirta	Φ	lumen (lm)	Valonlähteen tuottama kokonaisvalomäärä.
Valaistushyötysuhde	η_A		Kertoo, kuinka suuri osa valaisimen lamppujen valovirrasta päätyy tilan työtasoille suoraan, tai heijastusten kautta määrätyissä olosuhteissa.
Väriämpötila	T_{cp}	kelvin (K)	Kuvaa valonlähteen värivaikutelmaa. lämmen < 3300 K neutraali 3300...5300 K kylmä > 5300 K
Värintoistoindeksi (CRI)	R_a		Ilmoittaa valonlähteen kyvyn toistaa tiettyjä testivärejä suhteessa annettuun vertailuvalonlähteeseen (≤ 100).
Valotehokkuus	η	(lm/W)	Valonlähteen säteilemän valovirran suhde valonlähteen kuluttamaan sähkötehoon.
Keskimääräinen elinikä		tunti (h)	Aika jolloin 50 % valonlähteistä on palanut loppuun. (Ei koske LEDejä)
Huoltoelinikä		tunti (h)	Aika, jolloin 80 % tilan valaistusvoimakkuudesta on jäljellä (alenemassa huomioidaan valonlähteiden loppuunpalaminen, valovirran alenema ja valaisimien likaantuminen).
Taloudellinen elinikä		tunti (h)	Aika, jolloin 70 % tilan valaistusvoimakkuudesta on jäljellä.

1 JOHDANTO

Valaistuksen ollessa suurimpia yksittäisiä sähköenergian kuluttajia, pyritään valaistusratkaisuja parantamalla luomaan entistä energiatehokkaampia valaistusratkaisuja. Nykyiset energiatehokkaat valaisimet ja liitäntälaitteet yhdistettynä tilan tarpeet huomioivaan valaistuksen ohjaukseen mahdollistavat energiansäästön lisäksi myös entistä miellyttävämmän sisäympäristön tiloissa oleskeluun.

Yli 60 % kaikista Euroopan valaistusjärjestelmistä on tehty käyttämällä vanhaa energiasyöppöä tekniikkaa. Toimistovalaistuksesta yli 75 % on toteutettu vanhentuneella tekniikalla ja uuden energiatehokkaamman tekniikan käytön uusiutumismuutos on vain noin 7 % vuodessa. Valaistukseen käytetyn sähköenergian säästöpotentiaali on Suomessa noin 30 %. Uuden tekniikan käytön lisäämiseksi on laadittu kasvava määrä lainsäädännöllisiä ja vapaaehtoisia menetelmiä, jotka rajoittavat energiatehottomien lamppujen ja kuristimien markkinoille tuomista ja kannustavat energiatehokkaampien valaistusjärjestelmien käyttöön. (SSTL, STUL, Suomen Valotekninen Seura & Teknologiateollisuus 2008, 5–6)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutustua valaistuksen energiatehokkuuteen ja määräystenmukaisen valaistuksen vaatimuksiin. Työn on tarkoitus luoda käsitys käytössä olevien valaistuksen ohjaustapojen ja -järjestelmien mahdollisuuksista erilaisten tilojen valaistuksessa ja antaa käsitys eri ohjaustapojen mahdollisuuksista säästää energiaa valaistuksen laadullisia ja määrällisiä tarpeita heikentämättä. Työssä on myös tarkoitus laskea erilaisten järjestelmien investointi- ja käyttökustannuksia. Laskelmissa vertaillaan perinteisiä energiasyöppöjä ratkaisuja uusiin järjestelmiin, joissa hyödynnetään päivänvalon käyttöä ja poissaolo-ohjausta. Laskelmien pohjalta tavoitteena on saada käsitys investointikustannuksiltaan kalliiden energiatehokkaampien järjestelmien takaisinmaksumahdollisuuksista.

2 VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Valaistuksen osuus rakennusten energiankulutuksesta

Suomessa kaikesta käytetystä sähköenergiasta noin 10 % kuluu valaistukseen. Valaistuksen osuus eri rakennusten energiankäytöstä riippuu paljolti rakennuksen käyttötarkoituksesta ja valaistuksen käyttöajoista. Esimerkiksi koulurakennuksissa valaisemiseen kuluu tyypillisesti noin viidesosa ja sairaaloissa sekä toimistorakennuksissa jopa kolmasosa sähköenergiasta. (Motiva 2010, valaistus)

Kotitalouksissa valaistuksen osuus sähköenergiankulutuksesta oli vuonna 2006 runsaat 20 %. Valaistuksen osuus on pysynyt vuoteen 1993 verrattuna hyvin samansuuruisena. (Motiva 2011, sähkönkulutus)

2.2 Rakennusten energiatehokkuutta säätelevät direktiivit ja määräykset

Suomessa otettiin käyttöön vuonna 2008 asetuksena uusi EU-direktiivi, 2002/91/EC, jonka mukaan rakennusten kokonaisenergiankäyttö on laskettava ja ilmoitettava ennakkoon. Direktiivin tarkoitus on edistää energiatehokkuutta ja siten vähentää kasvihuonekaasupäästöjä EU:n alueella. Direktiivi pantiin toimeen säätämällä lait 487/2007 rakennusten energiatodistuksesta ja 489/2007 rakennusten ilmastointijärjestelmän kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta. Suomessa energiaselvitysmääräykset astuivat voimaan 1.1.2009, joiden mukaan niiden piiriin kuuluvat rakennukset on luokiteltava ja kaikki niiden käyttämät energiamuodot on huomioitava. Direktiivin mukaan asennetun tehon käyttö on ilmoitettava yksiköllä kWh/m²/vuosi. Myös rakennusmääräyskoelman D3 sisältö muuttuu 1.7.2012, jolloin siirrytään kokonaisenergiankulutuksen laskentaan, eli E-lukuun, jonka maksimiarvot on määritelty talotyypeittäin. (Fagerhult 2011, 511; Vuorenmaa 2011, 20)

2.3 LENI-indeksi

Valaistus on tärkeä osa energiankäyttöä, joten sen laskennan yhtenäistämiseksi on kehitetty standardi SFS-EN 15193 ”Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus”, joka täyttää energiatehokkuutta koskevan direktiivin 2002/91/EC vaatimukset. Standardi määrittää laskentamenetelmän kiinteän valaistuksen energiankäytölle erilaisissa rakennuksissa, jota arvioidaan LENI-indeksillä (Lighting Energy Numeric Indicator). LENI-indeksi lasketaan koko rakennukselle ja sitä voidaan käyttää verrattaessa samaan käyttötarkoitukseen rakennuttujen, tai suunniteltujen kohteiden energiatehokkuutta. (SFS-EN 15193 2007, 8; Fagerhult 2011, 511)

LENI-indeksi lasketaan kaavalla 1:

$$LENI = W_{kok}/A \quad (1)$$

, jossa

<i>LENI</i>	on rakennuksen sisävalaistuksen kokonaisenergiankulutusta kuvaava indeksi (W/m ² /vuosi)
<i>W_{kok}</i>	on valaistuksen vuotuinen kokonaisenergiankulutus, johon huomioidaan valaistukseen käytetyn energian lisäksi valaistuksen ohjaus- ja liitäntälaitteiden lepokulutus, sekä turvavalaisuksen akkujen lataamiseen kuluva energia (W/vuosi)
<i>A</i>	on laskentaan huomioitujen valaistujen sisätilojen kokonaispinta-ala (m ²).

Rakennuksen valaistuksen LENI-indeksiä laskettaessa yleisesti esiintyvissä rakennustyypeissä voidaan laskenta tehdä pikalaskentamenetelmällä, jolla saadaan arvio rakennuksen vuosittaisesta energiankäytöstä. Pikalaskentamenetelmässä laskenta perustuu standardiin SFS-EN 15193 koottujen erityyppisten rakennusten taulukkotietojen käyttöön. (SFS-EN 15193 2007, 20; Fagerhult 2011, 512)

LENI-indeksi voidaan laskea myös tarkalla menetelmällä, jossa laskenta perustuu eri tilojen todellisiin arvoihin, jolloin LENI-indeksistä saadaan huomattavasti tarkempi kuin pikalaskentamenetelmällä. Laskennan perustuessa todellisiin arvoihin voidaan energiankulutuslaskenta tehdä käyttäen vuosi-, kuukausi- tai tuntiperustetta. (SFS-EN 15193 2007, 20; Fagerhult 2011, LENI-laskenta)

2.4 Energiatehokkuuden tekijät

Suomessa sisävalaistuksen suunnittelussa käytössä olevan, käytännössä velvoittavan standardin SFS-EN 12464-1 ”Sisätilojen työkohteiden valaistus” mukaan valaistus on suunniteltava vastaamaan valaistusvaatimuksia tilan käyttötavan mukaan energiatehokkaalla tavalla. (SFS-EN 12464-1 2011, 32)

Valaistuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa useilla tekijöillä. Energiatehokkaiden valonlähteiden ja valaisimien valinnan lisäksi valaistuksen ohjauksella, valaistushuoltoon liittyvillä tekijöillä sekä luonnonvalon hyödyntämisellä saavutetaan säästöjä valaistuksen energiankulutuksessa (kuvio 1). Päivänvalo voi tuottaa työtehtävän mukaisen valaistuksen kokonaan tai osittain, joten se tarjoaa huomattavan energiansäästömahdollisuuden. Lisäksi päivänvalon voimakkuuden, suunnan ja spektrisisällön vaihtelu tuottaa vaihtelevan muodonannon ja luminanssijakauman, joita pidetään ihmiselle edullisina sisätyöympäristön luojina. (SVS 2008, 24; SFS-EN 12464-1 2011, 34)



KUVIO 1. Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä (SVS 2008, 24, muokattu)

3 VALAISTUSSUUNNITTELU

Vaikka valaistuksessa ja sen ohjauksessa on suuria energiansäästömahdollisuuksia, ei energiansäästöissä tule tinkiä valaistuksen laadun kustannuksella. Energiatehokasta valaistusta suunnitellessa on otettava huomioon valaistuksen tarve, lamppujen energiatehokkuus, valaisimien hyötysuhde, liitäntälaitetekniikka, valaistuksen ohjaus sekä päivänvalon käyttö. Hyvä valaistus edellyttää, että vaaditun valaistusvoimakkuuden lisäksi myös laadulliset ja määrälliset tarpeet saadaan tyydytettyä. Seuraavissa alaluvuissa on esitetty valaistuksen määrällisiä ja laadullisia tarpeita. (SVS 2008, 4; SFS-EN 12464-1 2011, 14; Fagerhult 2011, 445)

3.1 Valaistuksen toimivuus

Valaistuksen toimivuuteen vaikuttavat tilan lukuisat ominaisuudet, osat ja järjestelmät, kuten tilan muoto ja mitat, pintamateriaalien heijastusominaisuudet sekä ikkunat ja niiden sijainti. Myös tilaan asennettu LVIS-tekniikka, sekä tilan kiinteä ja siirrettävä kalustus vaikuttavat valaistukseen. Toimivaa valaistusratkaisua suunniteltaessa on tiedettävä mikä on tilan käyttötarkoitus, kuka tilaa käyttää sekä millaisia tarpeita tilassa työskentely vaatii. Tämän jälkeen voidaan miettiä, millä tekniikalla valaistusvaatimukset saadaan toteutettua ja luotua tilaan miellyttävä työskentely- ja oleskeluympäristö, jossa näkötehtävien suorittaminen on turvallista ja vaivatonta. Valaistus on osa sisustusta, jolloin valaisimia ja valoa voidaan pitää yhtenä tärkeänä sisustusympäristön luojana. Valaisimien sisustuksellinen tehtävä riippuu tilan luonteesta ja valaistukselle asetetuista tavoitteista, kuten mitä valaistaan, mistä suunnasta valaistaan ja millä valonlähteillä valo tuotetaan. (ST 58.04 2003, 6)

3.2 Valaistuksen määrälliset ja laadulliset vaatimukset

Vaikka valaistussuunnittelijalla on runsaasti vapauksia valon arkkitehtonisessa hallinnassa, on valaistukselle asetettu minimivaatimuksia työturvallisuuslaissa (738/2002). Lain mukaan työpaikalla on oltava työn ja työntekijöiden edellytysten mukainen riittävän tehokas valaistus. Eri tiloissa suoritettavien työtehtävien edellyttämät valaistusvoimakkuuksien vähimmäisarvot, häikäisyindeksit ja värintoistovaatimukset on koottu koko Eurooppaa koskevaan sisätyöpaikkojen valaistusstandardiin SFS-EN 12464-1. (SVS 2008, 4; SFS-EN 12464-1, 2011; Fagerhult 2011, 434)

Standardi SFS-EN 12464-1 määrittää valaistusvaatimukset seuraavan kolmen perustarpeen täyttymisenä:

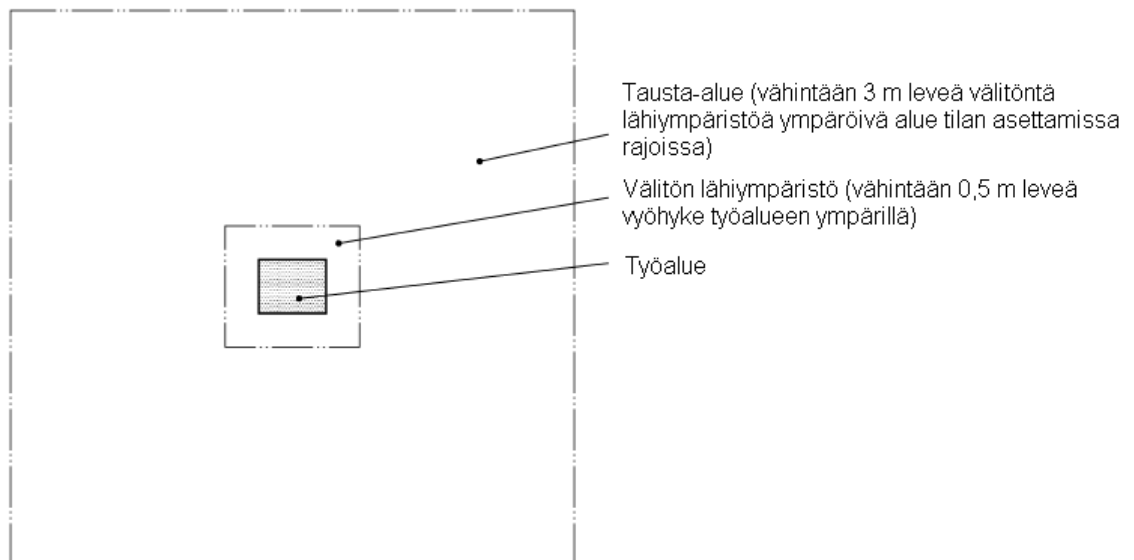
- näkömukavuus, jolloin työntekijä kokee valaistuksen vaikuttavan positiivisesti hyvinvointiinsa
- näkötehokkuus, jolloin työntekijät pystyvät suoriutumaan näkötehtävästään myös vaativissa olosuhteissa ja pidempien jaksojen aikana
- turvallisuus.

(SFS-EN 12464-1 2011, 14)

3.2.1 Valaistusvoimakkuus

Standardissa SFS-EN 12464-1 annetaan tilassa suoritettavien työtehtävien mukaan työalueelle valaistusvoimakkuuden suositusarvo E_m . Suositusarvo kuvaa valaistusvoimakkuuden huoltoarvoa, eli arvoa jonka alle valaistusvoimakkuus ei saa pudota valaisimen eliniän aikana. Valaistussuunnittelijan tulee osata suunnitteluvaiheessa arvioida, kuinka paljon valaistustaso laskee asennuksen vanhetessa. Valaistusvoimakkuus arvioidaan tilassa tehdyn työn tekemiseen arvioidulla työalueella, jonka koko on valaistussuunnittelijan määritettävissä. Valaistustason määrittäminen työalueelle on energiatehokasta. Tällöin valo voidaan keskittää työn tekemiselle suunniteltuun alueeseen ja voidaan valaista pienemmällä valon määrällä tilat, joissa ei vaadita yhtä tarkkaa näkemistä. Standardissa on määritelty valaistusvoimakkuuksien minimiarvot työalueen lisäksi työalueen välittömälle lähiympäristölle, jonka muodostaa puolen metrin vyöhyke työalueen ympärillä, sekä tausta-alueelle, joka on vähintään kolme metriä leveä lähiympäristöä

ympäröivä alue (kuvio 2). Myös seinien ja kattojen valaistusvoimakkuudet on määritelty standardissa. Oikeilla valaistusvoimakkuuksien suhteilla vältetään näköaistin sopeutumisvaikeuksilta, joita liian suuret valaistusvoimakkuuserot saattavat aiheuttaa. Taulukossa 1 on esitetty vaatimukset työalueen ja välittömän ympäristön valaistusvoimakkuuksien suhteille. (SVS 2008, 5; SFS-EN 12464-1 2011, 20)



KUVIO 2. Välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen minimimitat työalueeseen verrattuna (SFS-EN 12464-1, 20, muokattu)

TAULUKKO 1. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde (SFS-EN 12464-1 2011, 20, muokattu)

Työalueen valaistusvoimakkuus (lx)	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
≤ 150	Sama kuin työalueella

3.2.2 Sylinterivalaistusvoimakkuus

Visuaalisen viestinnän, kohteiden ja kasvojen tunnistamisen vuoksi tilat, joissa ihmiset työskentelevät tai liikkuvat, on valaistava sopivalla sylinterivalaistusvoimakkuudella. Sopivat sylinterivalaistusvoimakkuudet parantavat tilan yleisvaikutelmaa ja tuovat esille ihmisten ja tilan esineiden muotoa ja tekstuuria. Normaaleissa aktiivisessa käytössä olevilla tiloilla sylinterivalaistusvoimakkuuden keskiarvon tulee olla vähintään 50 lx valaistusvoimakkuuden tasaisuuden ollessa $\geq 0,1$. Tilat, joissa visuaalisella kommunikoinnista vaaditaan erityisen paljon, kuten esimerkiksi toimistot ja koulutilat, tulee keskimääräisen sylinterivalaistusvoimakkuuden olla 150 lx ja tasaisuuden $\geq 0,1$. Sylinterivalaistusvoimakkuus määritetään tiloissa vaakasuoralle tasolle suunnilleen kasvojen korkeudelle. (SFS-EN 12464-1 2011, 26; Fagerhult 2011, 441)

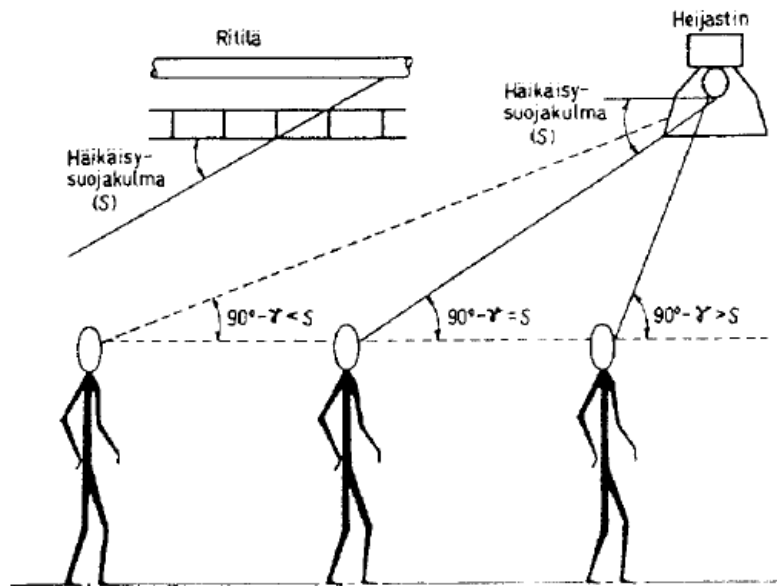
3.2.3 Häikäisy

Näköergonomisen valaistuksen edellytyksenä on, ettei näkökohteen sijainti ja muoto suhteessa valon tulo-suuntaan aiheuta kiusa- tai estohäikäisyä. Häikäisyä aiheuttavat valaisimet ja päivänvalo joko suoraan näkökentässä, tai heijastamalla näkökohteen tai sen lähiympäristön kautta. Valaistuksen häikäisyä voidaan pienentää esimerkiksi käyttämällä valaisimissa rakenteellisia häikäisysuojia, kuten ritilää, tai sijoittamalla valaisimia seinien läheisyyteen, lisäämällä ylävalon osuutta tai valitsemalla seinäpinnoille ja katolle vaaleaa värisävyä. (SFS-EN 12464-1 2011, 26; Fagerhult 2011, 466)

Häikäisyä arvioidaan UGR-häikäisyindeksin (Unfield Glare Rating) avulla. Häikäisyindeksin manuaalinen laskenta edellyttää valaisinvalmistajan laatiman valaisinkohtaisen taulukon, jonka avulla häikäisyindeksi voidaan määrittää. Nykyisin UGR-arvo määritetään kuitenkin manuaalisen laskennan sijaan lähes poikkeuksetta valaistuslaskentaohjelmilla, kuten esimerkiksi ilmaisella DIALux-valaistuslaskentaohjelmalla, joihin voidaan ladata valaisimien valaistustekniset tiedot suoraan valaisinvalmistajilta. Standardin EN-12464-1 valaistusvaatimustaulukoissa on määritelty tilakohtaisten UGR-häikäisyindeksien maksimiarvot. UGR-häikäisyindeksin vaatimusten ohella myös valaisimien tulee täyttää niille asetetut rakenteellisen häikäisysuojan vaatimukset (taulukko 2 ja kuvio 3). (SVS 2008, 6)

TAULUKKO 2. Valaisimien rakenteellisen häikäisysuojan vaatimukset standardissa SFS-EN 12464

Lampun luminanssi kcd/m ²	Häikäisysuojakulman minimiarvo
20 - 50	15°
50 - 500	20°
> 500	30°



KUVIO 3. Häikäisysuojakulman määrittely rajaavassa häikäisysuojauksessa (SVS 2008, 6)

3.2.4 Valon väriominaisuudet

Suosittelusten mukaan valon oikea värisävy riippuu psykologiasta, estetiikasta ja siitä, mikä koetaan luonnolliseksi erilaisissa tilanteissa. Standardi ei yleensä aseta vaatimuksia eri väriämpötilojen käyttöön. Standardi asettaa kuitenkin tiukkoja vaatimuksia valon värintoistoarvoille. Standardin mukaan lamppuja joiden värintoistoindeksi R_a on pienempi kuin 80, ei tule käyttää tiloissa, joissa työskennellään tai oleskellaan jatkuvasti. Suurimmat muutokset värintoistoarvon nykyinen minimivaatimus on aiheuttanut teollisuuden kohteisiin, joissa on perinteisesti käytetty suurpainenatriumlamppuja. Suurpainenatriumlamppujen huono värintoistoindeksi (R_a tyypillisesti n. 30) vaatii lamppujen vaihtamisen uusissa kohteissa esimerkiksi värikorjattuihin suurpainenatriumlamppuihin tai monimetallilamppuihin. (SVS 2008, 8)

3.3 Valonlähteet

Valonlähteillä voidaan vaikuttaa olennaisesti valaistuksen sähkönkulutukseen, sillä eri valonlähteiden valotehokkuuksissa on suuria eroja. Toisaalta suunnittelussa voidaan joutua tekemään kompromisseja eri valonlähteiden säätöominaisuuksien ja värintoistoindeksien perusteella. Taulukossa 3 on esitetty eri valonlähteiden ominaisuuksia.

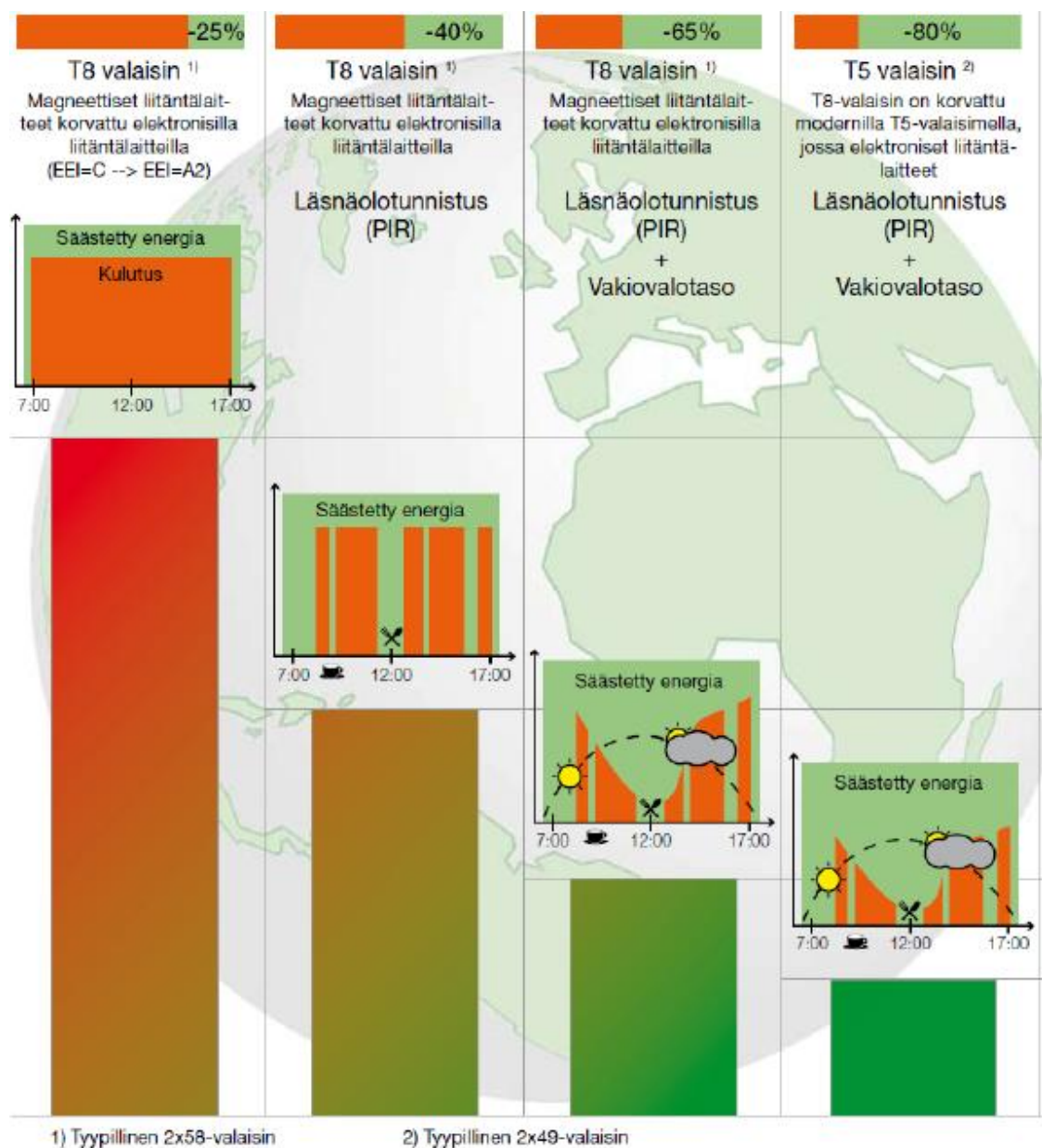
TAULUKKO 3. Valonlähteiden ominaisuuksia (ST 58.08 2009, 13, muokattu)

Lampputyyppi	Väriämpötila	Värintoistokyky	Valotehokkuus	Hyötypolttoikä	Valonsäätö
	K	R_a	lm/W	h	
Hehkulamppu	2 700	100	10	1 000	x
Halogeenilamppu, 230 V	3 000 - 4 000	100	15	2 000	x
Halogeenilamppu, 12 V	3 000 - 4 000	100	18	4 000	x
Yksikantaloistelamppu, kierrekanta (energiansäästölamppu)	2 700 - 6 500	85	60	6 000	vain tietyt liitäntälaitteet
Yksikantaloistelamppu + kuristin	2 700 - 6 500	85	60	5 000	
Yksikantaloistelamppu + elektroninen liitäntälaitte	2 700 - 6 500	85	65	7 000	x
T8 loistelamppu + kuristin	2 700 - 6 500	80 - 95	70	12 000	
T8 loistelamppu + elektroninen liitäntälaitte	2 700 - 6 500	80 - 95	90	17 000	x
T8 loistelamppu longlife	2 700 - 6 500	80 - 95	90	35 000	x
T5 loistelamppu	2 700 - 6 500	80 - 95	90	17 000	x
T5 loistelamppu longlife	2 700 - 6 500	80 - 95	90	48 000	x
Elohopeapurkauslamppu	3 000 - 4 000	50	40	16 000	
Suurpainenatriumlamppu	2 100 - 2 500	30 - 80	70 - 130	18 000	vain tietyt liitäntälaitteet
Pienpainenatriumlamppu	x	erittäin huono	120 - 180	10 000	
Monimetalli + kuristin	3 000 - 6 000	70 - 90	90	7 500	
Monimetalli + elektroninen liitäntälaitte	3 000 - 6 000	70 - 90	100	10 000	vain tietyt liitäntälaitteet
Monimetalli keraaminen + kuristin	3 000 - 6 000	90	90	9 000	
Monimetalli keraaminen + elektroninen liitäntälaitte	3 000 - 6 000	90	100	12 000	vain tietyt liitäntälaitteet
Induktiolamppu	3 000	80	80	60 000	
LED-valaisimet ja -lamput	2 700 - 6 000	80	60 - 100	50 000	vain tietyt liitäntälaitteet

Valonsäädössä on huomioitava liitäntälaitteen soveltuvuus himmennykseen, sekä varmistettava valonsäätimen ja liitäntälaitteen yhteensopivuus. Valonlähteiden valotehokkuuteen vaikuttaa olennaisesti valonlähteen värintoistokyky. Kun valonlähteen värintoistokykyä parannetaan, laskee yleensä valotehokkuus.

4 VALAISTUKSEN OHJAUS

Energiansäästö on jo pitkään ollut eräs valaistuksenohjausratkaisujen kehittämiseen vaikuttava tekijä. Viimeaikoina laajempi mielenkiinto valaistuksen ohjauksella saavutettaviin säästöihin on kuitenkin kasvanut. Osasyynä mielenkiinnon kasvuun on järjestelmien yleistymisen ja valaistusratkaisujen energiankäytön laskennan kehittyminen. Kuviossa 4 on esitetty, kuinka yksinkertaisillakin ratkaisuilla voidaan säästää valaistuksen sähköenergian käyttökustannuksissa. (Varsila 2008, 6)



KUVIO 4. Esimerkkejä valaistuksen energiansäästömahdollisuuksista (Helvar ja ympäristö, muokattu)

4.1 Ohjaustavat

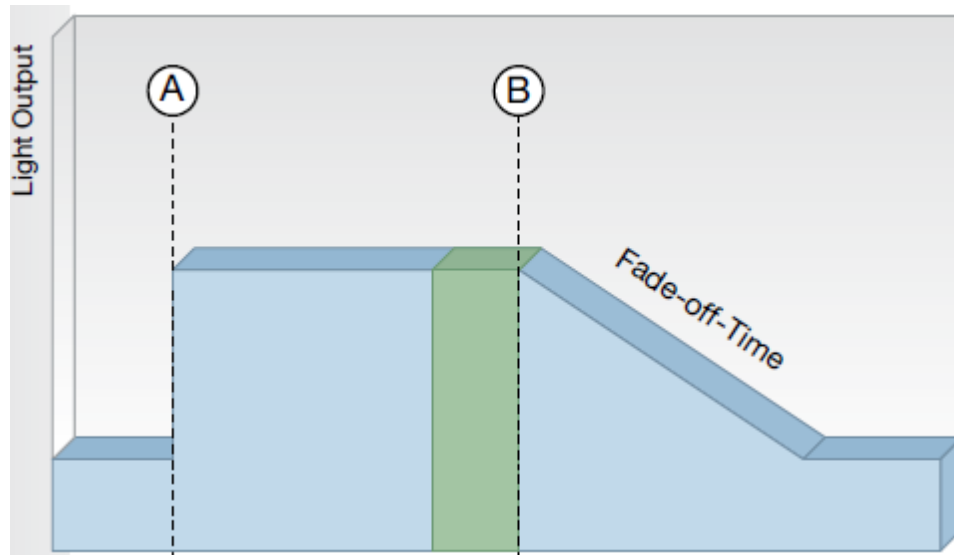
4.1.1 Läsnaolo- ja poissaolo-ohjaus

Läsnaolo-ohjauksessa haluttuun valaistusryhmään liitetään liiketunnistimia tai valaisimia, jotka on varustettu liiketunnistimella. Valaistusryhmä syttyy automaattisesti, kun liiketunnistin havaitsee tilassa liikettä ja sammuu halutulla viiveellä, kun tilasta poistutaan. Läsnaolotunnistus sopii parhaiten tiloihin, joiden käyttö on epäsäännöllistä, kuten wc-tilat, varastot ja porraskäytävät. Läsnaolo-ohjauksella saavutetaan tyypillisesti 15 – 30 % säästöt energiankulutuksessa tilan käytöstä riippuen. (Helvar valaistuksenohjaus 2011, 5)

Poissaolo-ohjaus on läsnaolo-ohjauksen sovellus, jossa valaistus sytytetään käsin ja sammutetaan automaattisesti halutulla viiveellä, kun tilasta poistutaan. Poissaolo-ohjaus sopii yleisesti samoihin käyttökohteisiin läsnaolo-ohjauksen kanssa. Automaattinen valaistuksen sytytys jakaa käyttäjien mielipiteitä, mutta yleensä kaikki hyväksyvät valaistuksen automaattisen sammutuksen. Tämä voidaan laskea poissaolo-ohjauksen eduksi läsnaolo-ohjaukseen verrattaessa. (Helvar valaistuksenohjaus 2011, 5)

Poissaolo-ohjauksesta on myös sovelluksia, joissa valotaso säädetään esimerkiksi 10 % tasolle, kun tilasta poistutaan. Tilan ollessa tyhjänä säästetään energiaa, mutta saadaan luotua tilaan turvallisuutta parantava perusvalotaso. Tätä sovellusta kutsutaan poissaolovalaistukseksi. Poissaolovalaistus sopii käytettäväksi pimeisiin tiloihin, joissa halutaan pitää yllä tietty perusvalaistus, vaikka tilasta poistutaan. (Varsila 2008, 8)

Kuviossa 5 on esitetty Tridonicin Corridor Function -poissaolovalaistuksen toiminta. Kun tilassa ei ole liikehavaintoja, on valaistus säätynyt 10 % perusvalotasolle. Kun liiketunnistin havaitsee liikettä (A), valaistus säätyy 100 % tasolle. Kun tilasta poistutaan, valaistus säätyy jälleen perusvalotasolle halutulla viiveellä (B).



KUVIO 5. Poissaolovalaistuksen valaistustasot (Tridonic 2008, 4, muokattu)

4.1.2 Vakiovalo-ohjaus

Vakiovalo-ohjaus soveltuu tiloihin, joissa on mahdollista hyödyntää päivänvaloa osittain tai kokonaan tilan valaistuksessa. Vakiovalo-ohjauksessa valaistusryhmä varustetaan yhdellä tai usealla valoisuusanturilla, jotka mittaavat halutun pinnan valaistusvoimakkuutta. Valoisuusanturit sijoitetaan yleensä kattoon työskentelypisteen yläpuolelle, mutta yksinkertaisimmillaan anturit voidaan sijoittaa myös suoraan valaisimeen. Ennen käyttöönottoa valaistustaso asetetaan valoisuusanturiin päivänvalolta pimennetyssä tilanteessa, jolloin käytön aikana valaisimien elektroniset liitäntälaitteet säätävät päivänvalon mukaan luoden vakaat valaistusolosuhteet tilaan. Vakiovalo-ohjauksella saavutetaan tyypillisesti 20 – 40 % energiasäästöt riippuen päivänvalon määrästä tilassa. Useat järjestelmiin liitettävissä olevat valoisuusanturit sisältävät myös läsnäoloanturin, jolloin järjestelmän energiasäästöt voivat olla jopa 80 %. (Helvar valaistuksenohjaus 2011, 6)

4.1.3 Tilanneohjaus

Tilanneohjaus on yksi nykyaikaisten valaistuksen ohjausjärjestelmien eduista. Tilanneohjauksessa kunkin valaisimen tai valaistusryhmän valonsäätötilanne tallennetaan ohjauksen tilannemuistiin. Haluttu valaistustilanne saadaan käyttöön yksinkertaisimmillaan painamalla yhtä painiketta, jolloin ohjausjärjestelmä säätää kunkin valaisinryhmän tai

valaisimen ennalta asetettuun valotasoon. Tilanneohjaus edellyttää ohjausjärjestelmältä mahdollisuuden tilanneohjaukseen (esim. DALI, DMX, DSI). Tilanneohjaus soveltuu erityisen hyvin tiloihin, joissa valaistusta halutaan säätää helposti tilanteen vaatimalle valaistustasolle. Esimerkkejä tällaisista tiloista ovat auditoriot, sekä neuvottelu- ja luokkatilat, joissa valaistus halutaan säätää esimerkiksi videoprojektorin käytön ajaksi eri valotasolle. Tilanneohjaus voidaan liittää myös osaksi muita ohjauksia, kuten vakiovalo-ohjausta. (Varsila 2008, 8)

4.1.4 Hämäräkytkin ja kellokytkin

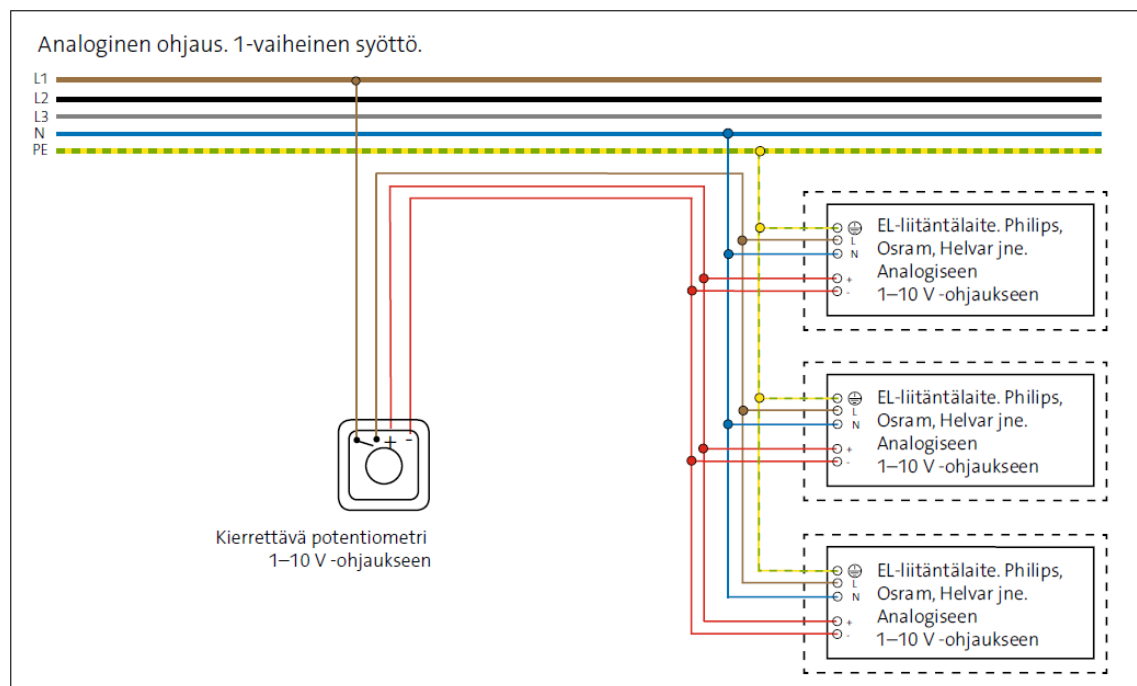
Hämärä- ja kellokytkimiä käytetään pääasiassa ulkovalaistuksen ja mainosvalojen ohjaamiseen, mutta kellokytkimellä voidaan toteuttaa myös esimerkiksi käytävien valaistus. Hämräkytkimellä toteutetussa valaistuksessa valaistus syttyy, kun päivänvalon määrä laskee hämräkytkimen asetusarvon alapuolelle ja sammuu, kun valaistusvoimakkuus ylittää asetusarvon. Energiansäästöä voidaan tehostaa käyttämällä kytkennässä hämräkytkimen lisäksi kellokytkintä, joka sammuttaa valaistuksen yöllä, kun valaistuksen tarve on vähäistä tai tarpeetonta. Kellokytkintä ohjelmoitaessa voidaan käyttää vuorokausi-, kuukausi- tai vuosiperustetta, jolloin valaistuksen päälläoloajat voidaan räätälöidä käyttökohteen valaistustarpeen mukaan.

4.2 Valaistuksenohjausjärjestelmät

4.2.1 1-10 V -ohjaus

1-10 V -ohjaus on standardin SFS-EN 60929 ”Vaihtovirtasyöttöiset elektroniset loistevalkujen virranrajoittimet. Toiminnalliset vaatimukset” mukainen analoginen ohjausjärjestelmä ja se on yleisimpiä loistevalkivalaisimien ohjaustapoja. 1-10 V -ohjaus edellyttää siihen soveltuvaa liitäntälaitetta, joka toimii samalla ohjauspiirin virtalähteenä. 1-10 V -järjestelmässä säätö voidaan toteuttaa yksinkertaisimmillaan potentiometrillä. (Fagerhult 2011, 512)

Kaapeloinnissa valaisimelle tuodaan vaihe-, nolla- ja suojamaajohtimen lisäksi kaksi ohjausjohtinta, jotka voivat olla saman putken tai kaapelivaipan sisällä kuin varsinaiset vahvavirtajohtimet, kunhan ne on eristetty verkkovirran kestoiksi (esim. MMJ 5x1,5S). Ohjausjännitteellä toteutetaan ainoastaan valaisimen säätö, joten valaisimen vaihejohtin on johdotettava säätimessä olevan kytkimen tai erillisen kytkimen kautta, jotta valaistus saadaan kokonaan sammutettua (kuvio 6).



KUVIO 6. 1-10 V –ohjausjärjestelmän johdotusesimerkki (Fagerhult 2011, 485)

Liitäntälaite mittaa ohjausvirtapiirin säätämää jännitettä sen navoista. Mitä pienempi ohjausjännite, sitä pienempi on valaisimen valotaso. Valovirran minimitaso vaihtelee loistelampuilla välillä 1-5 % ja pienoislampuilla 3-10 %. (Fagerhult 2011, 484)

1-10 V -ohjauksen ominaisuuksia:

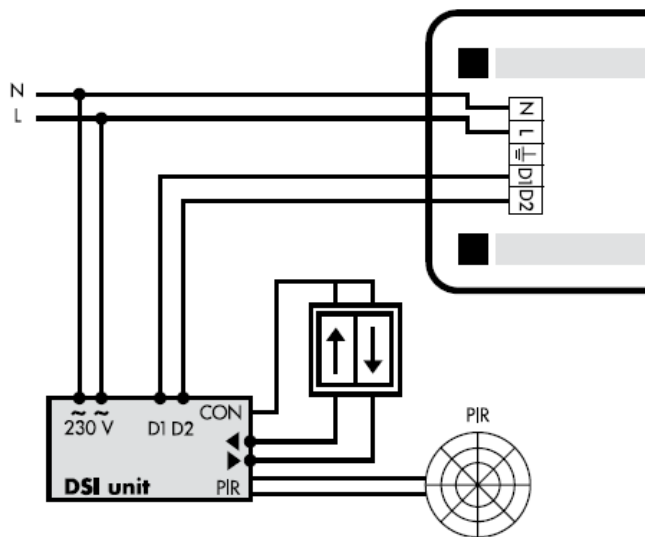
- ohjausjärjestelmää valittaessa on kiinnitettävä huomiota ohjausjärjestelmän ja valaisimien yhteensopivuuteen
- ohjauksen napaisuuden kanssa tulee olla tarkkana. Säättö ei toimi, mikäli yhdenkin valaistusryhmään kuuluvan valaisimen napaisuus on kytketty väärin päin
- ohjausvirtapiirin pituus (kaapelin resistanssi) vaikuttaa säätötulokseen. Mikäli eri valaisimien kaapeloinnissa on suuria pituuseroja, näkyy se eroina valaisimien kirkkaudessa
- ohjausvirtapiirin kytkennät tulee pitää erillään verkkojännitteisistä johdimmista kytkentäpisteissä
- säätimet pystyvät ohjaamaan yleensä 100 mA:n kuormaa (n. 50 liitäntälaitetta), mutta niiden virrankatkaisukyky vaihtelee. Säätimien virrankatkaisukyky on tarkistettava tavarantoimittajalta. Mikäli virrankatkaisukyky on liian pieni, voi katkaisun tehdä esimerkiksi kontaktorilla. (Fagerhult 2011, 512)

4.2.2 DSI (Digital Serial Interface)

DSI on digitaalinen Tridonicin lanseeraama ohjausjärjestelmä. DSI-järjestelmässä ohjaus on toteutettu osoitteettomalla digitaalisignaalin avulla, jolla välitetään valonsäätötiedot valaisimien elektronisille liitäntälaitteille. Digitaalisignaalin ansiosta järjestelmä ei ole riippuvainen ohjausjännitteestä, jolloin kaapeloinnin pituus ei vaikuta valaistuksen säätöön toisin kuin analogisessa 1-10 V -ohjauksessa. DSI mahdollistaa eri tehoisten lampujen säädön samassa ohjauspiirissä, sillä liitäntälaitteisiin on ohjelmoitu silmän herkkyyttä vastaava korjaus. DSI-ohjauksella valovirran minimitaso on lampputyypistä riippuen 1 %, 3 % tai 10 %. (Fagerhult 2011, 478)

DSI-järjestelmän kytkennässä valaisimeen tuodaan vaihe-, nolla- ja suojamaajohtimien lisäksi kaksi ohjausvirtapiirin johdinta, jotka välittävät noin 12 V ohjaussignaalin liitäntälaitteelle. Ohjaussignaalin avulla toteutetaan valaistuksen säätö, sytytys sekä sammutus, joten valaisimet ovat sammutettuinaakin jännitteiset. (Fagerhult 2011, 478)

DSI-järjestelmällä toteutetussa yhden kytkimen ohjauksessa lyhyt painallus vuoroin sytyttää tai sammuttaa valaisimet. Pitkä painallus säättää valotehoa vuorotellen ylös- tai alaspäin. Vaihtoehtoisesti kytkentä voidaan tehdä käyttäen verhokytkeä, jolloin toinen painike säättää valaistusta ylös- ja toinen alaspäin. Verhokytkimellä toteutetussa kytkennässä valaistus voidaan sytyttää ja sammuttaa kummasta painikkeesta hyvänsä lyhyellä painalluksella (kuvio 7). Joihinkin DSI-järjestelmän säätöyksiköihin on lisäksi mahdollista kytkeä erilaisia tunnistin- ja ohjainlaitteita, kuten vakiovalo-antureita tai läsnäolo-tunnistimia. (Fagerhult 2011, 478; Glamox DSI)



KUVIO 7. Verhokytkimellä toteutettu kytkentä, joka on varustettu läsnäoloanturilla (Glamox DSI)

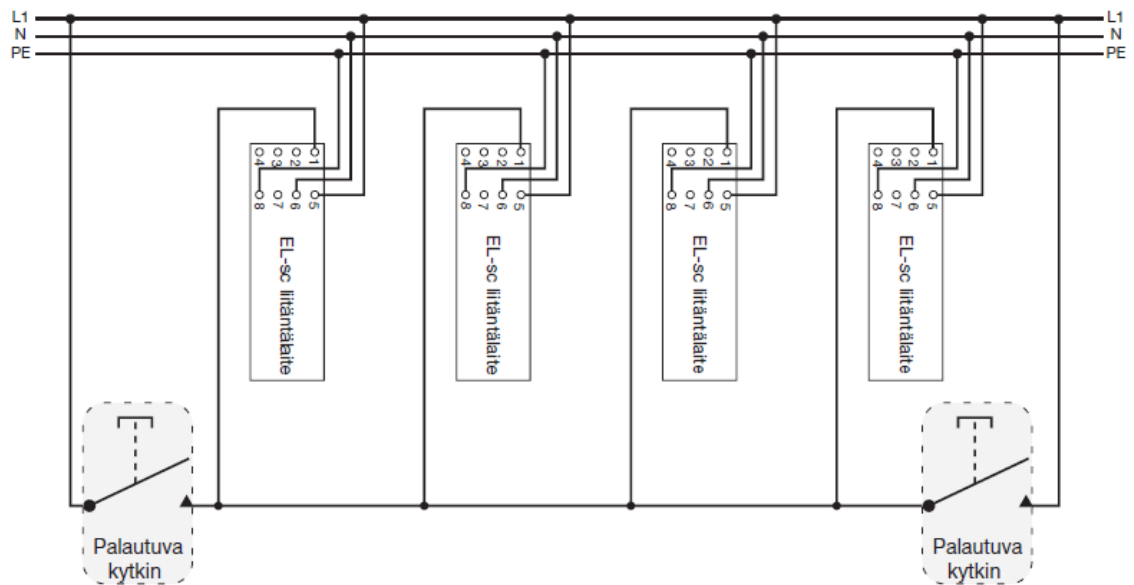
DSI-ohjauksen ominaisuuksia:

- ohjauskytkimiä voidaan asentaa rinnakkain
- ohjaus vaatii erillisen DSI-säätöyksikön
- järjestelmä ei edellytä ohjelmointia. Järjestelmä mahdollistaa kuitenkin tilanneohjauksen ja vakiovalosäädön, joissa tilanteet ja vakiovalotasot on tallennettava järjestelmän muistiin
- ohjausvirtapiirillä ei ole merkittävää napaisuutta, joka yksinkertaistaa asennusta ja pienentää väärinkytken mahdollisuutta
- valaisinryhmän kytkentä tehdään osoitteettomalla digitaalisignaalilla, jolloin jokaisessa valaisinryhmässä tulee olla oma ohjaussignaali
- valaisimissa voidaan käyttää suorana vaiheena eri vaihejohtinta kuin valaisimen ohjauksessa. (Fagerhult 2011, 478; Glamox DSI)

4.2.3 Suora painikeohjaus (SwitchDim, SwitchControl, TouchDim)

Suora painikeohjaus on edullinen valaistuksenohjausjärjestelmä, sillä se ei vaadi toimikseen erillistä säätöyksikköä toisin kuin DSI-ohjaus. Myöskään erillistä säädintä ei tarvita, sillä valonsäätö toteutetaan elektronisella liitäntälaitteella, jota ohjataan tavallisella jousipalautteisella painikkeella.

Suorassa painikeohjauksessa valaisimen elektroniselle liitäntälaitteelle tuodaan nolla- ja suojamaajohtimen lisäksi katkeamaton vaihe, sekä palautuvan painokytkimen kautta kulkeva verkkojännite. Painokytkintä painettaessa (lyhyt painallus) liitäntälaitte syyttää ja sammuttaa valaistuksen. Pitkällä painalluksella liitäntälaitte säätää valaistuksen voimakkuutta vuorotellen ylös- tai alaspäin. Suorassa painikeohjauksessa säätö voidaan toteuttaa useasta paikasta kytkemällä painokytkimiä rinnan (kuvio 8).



KUVIO 8. SwitchControl-ohjauksen esimerkkikytkentä (Helvar 2006, 2, muokattu)

Suoran painikeohjauksen ominaisuuksia:

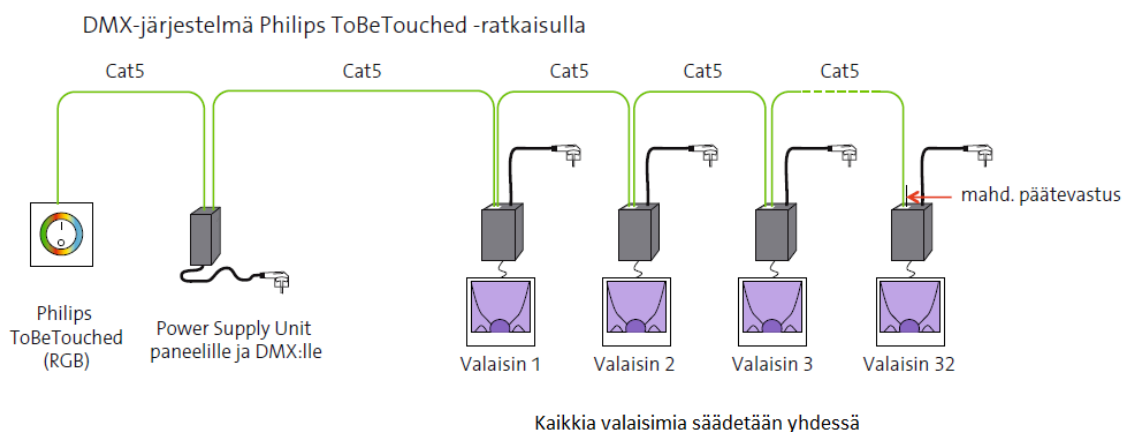
- järjestelmä on osoitteeton, sillä ohjaus tapahtuu verkkojännitteellä. Jokaisen valaistusryhmän kytkimet kaapeloidaan omana ohjauspiirinä
- järjestelmässä on käytettävä jousipalautteista kytkintä ilman merkkivaloa, sillä merkkivalon vuotovirta saattaa aiheuttaa virhetoimintoja ohjauksessa
- eri valmistajien liitäntälaitteiden käyttöä samassa valaistusryhmässä tulee välttää, sillä valaistuksen säätö voi joutua epätahtiin eri valmistajien liitäntälaitteiden säätöajoista johtuen
- ohjausjohtimien enimmäispituutta ei ole yleensä rajoitettu, sillä ohjaus toimii verkkojännitteellä
- järjestelmään voidaan kytkeä painokytkimien lisäksi läsnäolotunnistimia, liiketunnistimia ja vakiovaloantureita, mikäli liitäntälaitteet ovat yhteensopivia kyseisten laitteiden kanssa.

(Fagerhult 2011, 480)

4.2.4 DMX (Digital Multiplex)

DMX-ohjaus kehitettiin alun perin teatterivalaistuksen ohjaamiseen. Nykyään järjestelmää käytetään teatterivalaistuksen lisäksi muissa kohteissa yleensä valon värin tai värilämpötilan ohjaukseen. Yksi suurimmista DMX-ohjauksen käyttökohteista on RGB-LEDien ohjaus. Vaikka ohjaus kehitettiin alun perin valaistuksen ohjaukseen, on sillä nykyään useita muitakin käyttökohteita, kuten esimerkiksi liikkuvien valonheittimien ja savukoneiden ohjaus.

DMX-ohjauksessa verkkojännite asennetaan yleensä jokaiseen virtalähteeseen, valonlähteeseen ja ohjausyksikköön. Ohjauskaapelointi voidaan kiinteissä asennuksissa tehdä tietoverkkokaapelilla tai vastaavalla ohjauspaneelin ja valonlähteiden säätöyksiköiden välille (kuvio 9). (Fagerhult 2011, 503)



KUVIO 9. DMX-järjestelmä RGB-valaisimilla ja Philips ToBeTouched-säätimellä toteutettuna (Fagerhult 2011, 503, muokattu)

DMX-ohjauksen ominaisuuksia:

- Ohjaukkaapeleiden tulee olla järjestelmän suuren siirtonopeuden vuoksi luokitukseltaan vähintään Cat5-tietoverkkokaapeleita
- haaroitusliitännät tai suljettuja silmukoita ei voida tehdä. Ohjaukkaapeli tulee kytkeä aina yksiköstä toiseen.

(Fagerhult 2011, 502)

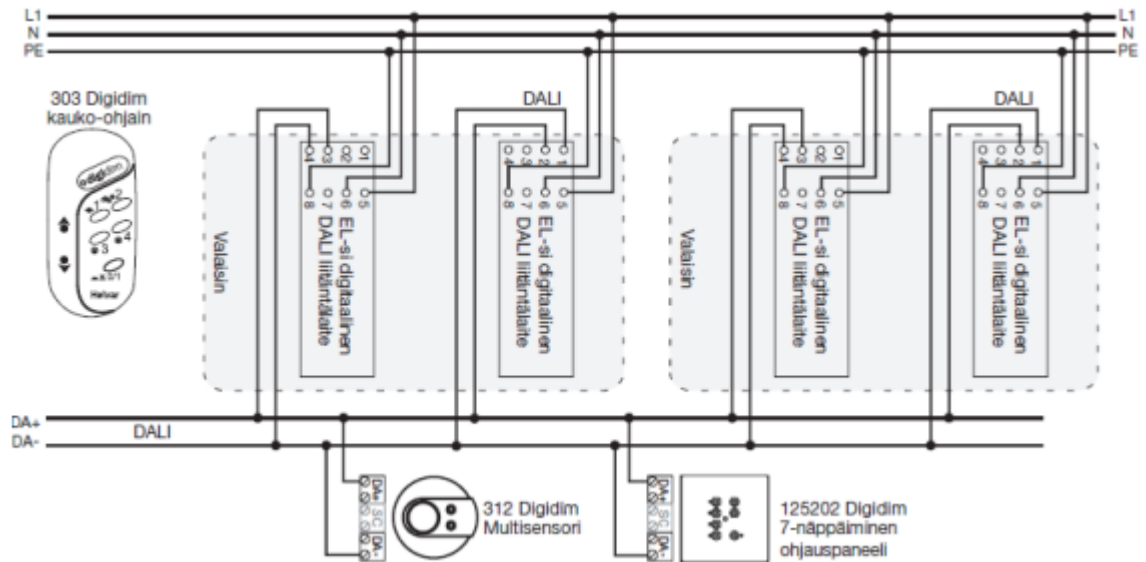
4.2.5 DALI (Digital Addressable Lighting Interface)

DALI on standardoitu digitaalinen osoitteellinen ohjausjärjestelmä elektronisille liitäntälaitteille, jonka taustalla ovat Euroopan johtavat elektronisten liitäntälaitteiden valmistajat. DALI suunniteltiin syrjäyttämään analoginen 1-10 V -järjestelmä sen yksinkertaisella asennuksella ja muunneltavuudellaan. DALIn etuja ovat sen yksinkertainen kaapelointi, helppo muunneltavuus ja ohjelmointi. Järjestelmän yksilöllisellä ohjelmoinnilla voidaan saada aikaan energiaa säästäviä valaistusratkaisuja. DALI-järjestelmät voivat olla pieniä ja kevyitä, esimerkiksi pientaloihin suunniteltuja järjestelmiä, tai massiivisia muihin järjestelmiin yhdistettyjä koko kiinteistön kattavia järjestelmiä esimerkiksi liikekiinteistöissä. (DALI AG 2001, 11; Fagerhult 2011, 474)

DALI-väylässä valaistuksen säätötiedot välitetään valaisimien liitännälaitteille osoitteellista kaksisuuntaista digitaalisignaalia käyttäen, jolloin valaistus säätyy yhdenmukaisesti kaapelointietäisyyksistä riippumatta (kuvio 10). Kaksisuuntaisen tiedonsiirron ansiosta voidaan seurata myös järjestelmän laitteiden vika- ja energiankulutustietoja. (Fagerhult 2011, 474)

Väylän kaapelointi tehdään käyttämällä verkkovirran kestäviä johtimia, jotka voivat olla saman putken tai kaapelivaipan sisällä verkkojännitteisten johtimien kanssa (esim. ML tai MMJ). Ohjausväylä on polariteettivapaa, jolloin vältetään väylään kytkettävien laitteiden virhekytkennöiltä. (DALI AG 2001, 19; Fagerhult 2011, 474)

DALI-järjestelmä koostuu yksinkertaisimmillaan valaisimen elektronisesta liitännälaitteesta, ohjaimesta ja ohjauspiirin tehonsyöttöyksiköstä. Suurimmissa mahdollisissa DALI-aliverkoissa voi osoitteellisuuden vuoksi olla maksimissaan 64 laitetta, mutta reitittimien avulla voidaan DALI-aliverkkoja yhdistää tuhansien laitteiden kokonaisuudeksi. (DALI AG 2001, 22)



KUVIO 10. DALI-järjestelmän esimerkkikytkentä Helvarin DigiDim-järjestelmällä (Helvar toimistovalaistus, 2, muokattu)

Huomioitavaa DALI-järjestelmässä:

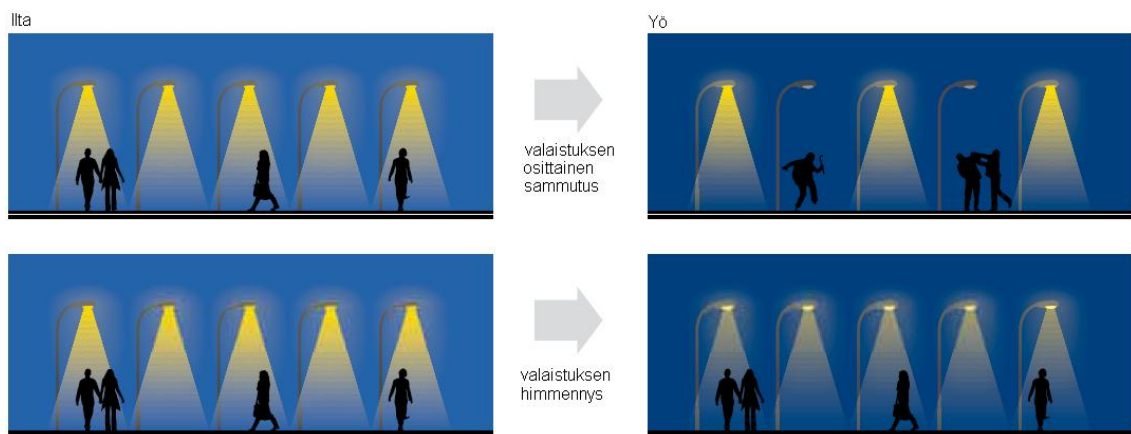
- osoitteellinen tiedonsiirto mahdollistaa eri valaisimien liitälaitteiden ohjauksen samassa ohjausväylässä
- saman ohjaimen painonapit voivat ohjata eri ryhmiä tai eri ryhmien tilanteita
- alijärjestelmään voidaan luoda 16 ryhmää, joihin voidaan kuhunkin ohjelmoida 16 valaistustilannetta
- sama kuormalaite voi kuulua useaan ryhmään
- ohjaussignaali välittyy kaikille laitteille samanlaisena ohjauspiirin pituudesta riippumatta. Ohjauspiirin maksimipituus 1,5 mm²:n ohjausjohtimilla on noin 300 m
- ohjauspiirin kaapeloinnin tulee olla verkkojännitteen kestävä
- digitaalinen ohjaus on helposti integroitavissa vanhoihin ohjausjärjestelmiin
- asennuksen jälkeen järjestelmä on ohjelmoitava ennen käyttöönottoa
- samassa järjestelmässä voidaan käyttää vain yhden valmistajan ohjaimia, sillä ainoastaan liitälaitteiden ja ohjaimien rajapinta on standardoitu.

4.3 Tie- ja aluevalaistuksen ohjausjärjestelmät

Tie- ja katuvalaistus on Suomessa muutoksen alla, sillä EuP-direktiivin myötä elohopeahöyrylamput poistuvat markkinoilta vuonna 2015. Markkinoilta poistuvat elohopeahöyrylamput tullaan pääosin korvaamaan valotehokkuudeltaan jopa 44 % tehokkaammilla suurpainenatrium- ja monimetallilampuilla. (Pulliainen 2010, 8)

Katuvalaistuksessa voidaan säästää sähköenergiaa monilla tavoilla. Oikein ajoitetut valaistuksen päälläoloajat ja valaistusvoimakkuuden alentaminen hiljaisen liikenteen aikaan tarjoavat energiansäästöjen lisäksi myös lampunvaihtovälien pidentymistä, jolloin myös huoltokulut alenevat.

Järjestelmät, joissa energiansäästöön pyritään valaistusvoimakkuutta alentamalla, on yleensä toteutettu joko sammuttamalla osa valaisimista, tai himmentämällä koko valaistusryhmää hiljaisen liikenteen aikana (kuvio 11). Yksittäisten valaisimien sammuttaminen on helpoimpia tapoja pienentää sähköenergiankulutusta. Lopputulos ei kuitenkaan ole optimaalinen, sillä valaistujen alueiden väliin saattaa jäädä pimeitä alueita, jotka lisäävät onnettomuuksien mahdollisuutta ja alentavat turvallisuudentunnetta. (Tridonic 2010, 11)

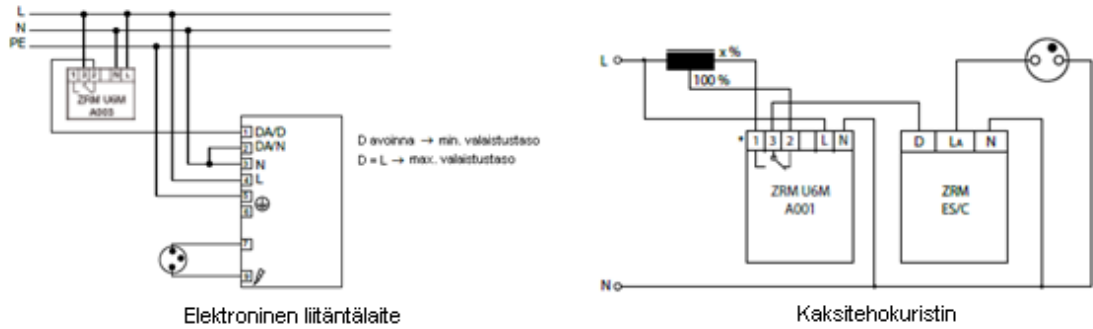


KUVIO 11. Energiansäästö katuvalaistuksessa (Tridonic 2010, 10, muokattu)

4.3.1 Tehonalennusreleet (StepDim)

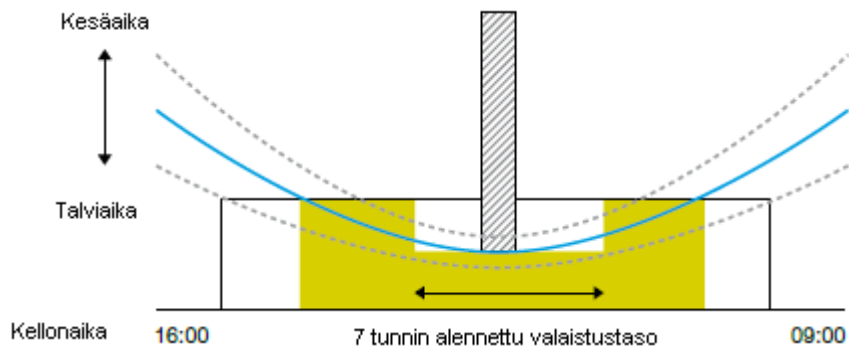
Tehonalennusreleet ovat lähinnä tie- ja katuvalaistuksessa käytettyjä valaisimien liitäntälaitteiden ohjaimia, joiden käyttö perustuu yleensä valaistuksen himmennykseen ajankohtina, jolloin valaistuksen ei ole tarpeellista olla päällä täydellä valaistustasolla. Tässä osiossa on koottu yleisimpien tehonalennusreleiden toimintoja ja ominaisuuksia.

Tridonic ZRM U6M on tehonalennusrele, jolla säädetään valaistus pienemmälle valaistustasolle hiljaisen liikenteen aikaan ohjaamalla valaisimen elektronista liitäntälaitetta tai kaksitehokuristinta (kuvio 12). Valaistusryhmän sytytys ja sammutus toteutetaan käyttämällä kello- tai hämäräkytkintä. (Tridonic 2010, 25)



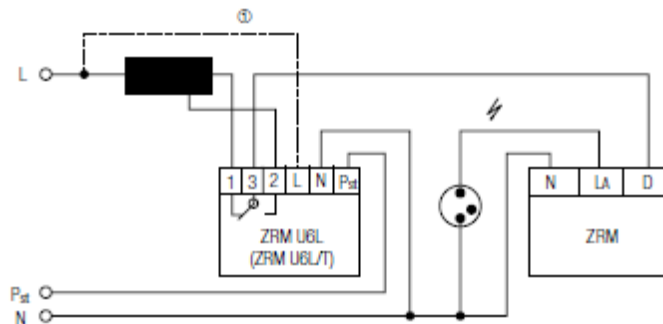
KUVIO 12. ZRM U6M -tehonalennusreleellä toteutettu ohjaus ilman erillistä ohjauskaapelointia (Tridonic 2010, 21, muokattu)

ZRM U6M -relettä käytettäessä tehonalennus toteutetaan ilman erillistä ohjauskaapelointia, sillä tehonalennusrele kytkee valaisimen pienemmän valaistustason asetetun polttoajan keskipisteen mukaan ja himmentää valaistuksen oikea-aikaisesti vuodenajasta riippumatta (kuvio 13). Tehdasasetuksena rele on ohjelmoitu kytkemään alempi valaistustaso 2,5 tuntia ennen polttoajan keskipistettä ja täysi valaistustaso 4,5 tuntia polttoajan keskipisteen jälkeen. Valaistustasojen kytkentäajat voidaan kuitenkin ohjelmoida releeseen myös manuaalisesti. Tehonalennusrelettä käytettäessä on valaisimen liitäntälaitteen tai kuristimen oltava tehonalennuksen mahdollistava. (Tridonic 2010, 25)



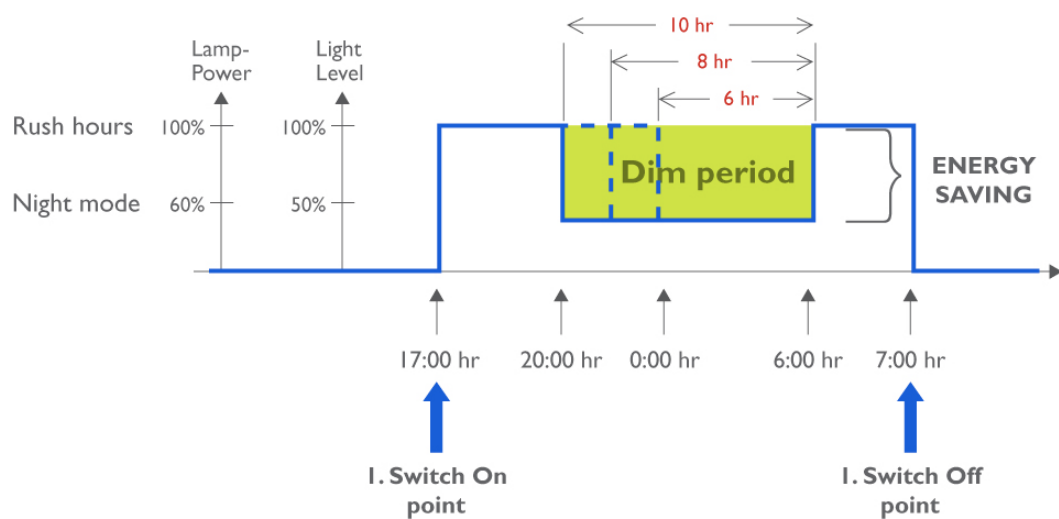
KUVIO 13. Tehonalennus polttoajan keskipisteen mukaan (Tridonic 2010, 25, muokattu)

Tridonic ZRM U6L -tehonalennusrelettä käyttäessä releen toiminta on vastaavanlainen kuin ZRM U6M -tehonalennusreleessä, mutta rele tarvitsee erillisen ohjausjohtimen, jolla tehonalennustieto annetaan (kuvio 14). (Tridonic 2010, 27)



KUVIO 14. Tridonicin ZRM U6L -tehonalennusreleen kytkentä (Tridonic 2010, 27)

Philips Xtreme LumiStep -tehonalennusrele on toiminnaltaan vastaavanlainen Tridonicin ZRM U6M -tehonalennusreleen kanssa. Xtreme LumiStep -releeseen on esiohjelmoitu 6, 8 ja 10 tunnin tehonalennusajat (kuvio 15).

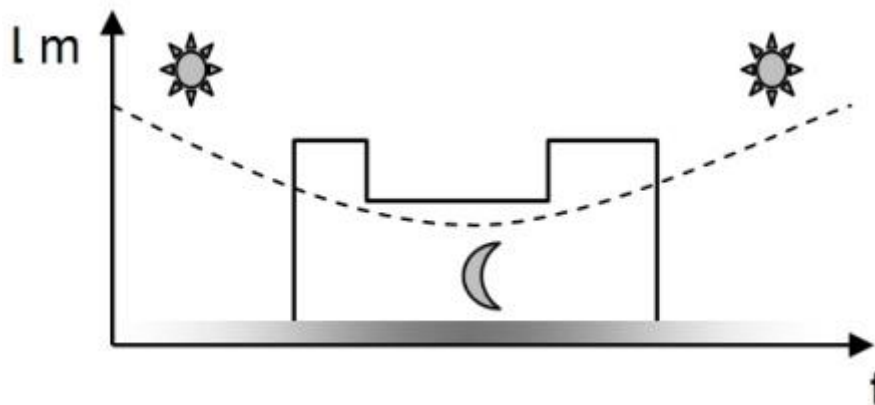


KUVIO 15. Esimerkki Lumistep-tehonalennusreleen säätöajoista (Philips 2008, 2)

Osram StepDIM -tehonalennusrele on vastaavanlainen Tridonicin ZRM U6L -tehonalennusreleen kanssa. Tehonalennusrelettä ohjataan erillisellä ohjausjohtimella (kuvio 16 ja 17).



KUVIO 16. Osram StepDIM -kytkentä (Osram 3DIM 2012)

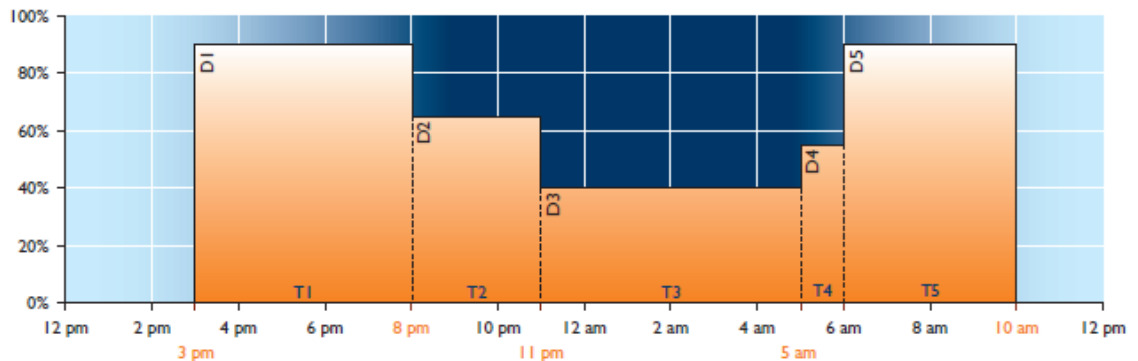


KUVIO 17. Osram StepDIM -tehonlennuksen toiminta (Osram 3DIM 2012)

4.3.2 Itsenäiset valonsäätöjärjestelmät

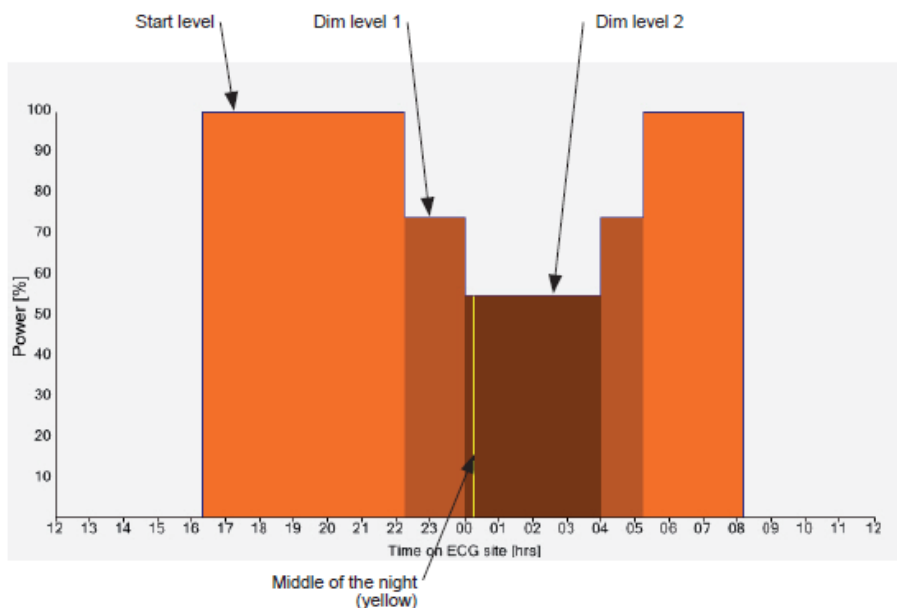
Kuten tehonalennusreleet, myös itsenäiset valonsäätimet ovat valaisimien liitännälaitteiden ohjaimia, joiden käyttö perustuu yleensä valaistuksen himmennykseen ajankohtina, jolloin valaistuksen ei ole tarpeellista olla päällä täydellä valaistustasolla. Tässä osiossa on koottu yleisimpien itsenäisten valonsäätimien toimintoja ja ominaisuuksia.

Philips Dynadimmer on valaisinkohtainen itsenäinen ohjain 1-10 V -standardin mukaisille elektronisille liitäntälaitteille. Järjestelmä säätää valaisimen valaistustasoa viisiporaisesti ohjaimen tallennetun aikaohjelman mukaisesti (kuvio 18). Ohjaimen voidaan luoda itse valaistustasot viidelle vuorokauden eri ajanjaksolle PC-ohjelmalla. Dynadimmer ei sisällä sisäistä kelloa, vaan se määrittää kellonajan päällekytkentäaika-kojen mukaan. (Philips Dynadimmer)



KUVIO 18. Esimerkki dynadimmerin valaistustasoista ja säätöajoista (Philips Dynadimmer)

Osram AstroDIM on itsenäinen ulkovalaistuksen ohjain, jolla valaistusta voidaan himmentää kaksiporaisesti ilman erillistä ohjausjohdinta. Säätimeen asetetaan asennuspaikan koordinaatit ja halutut valaistustasot eri ajanjaksolle PC-ohjelmalla (kuvio 19).

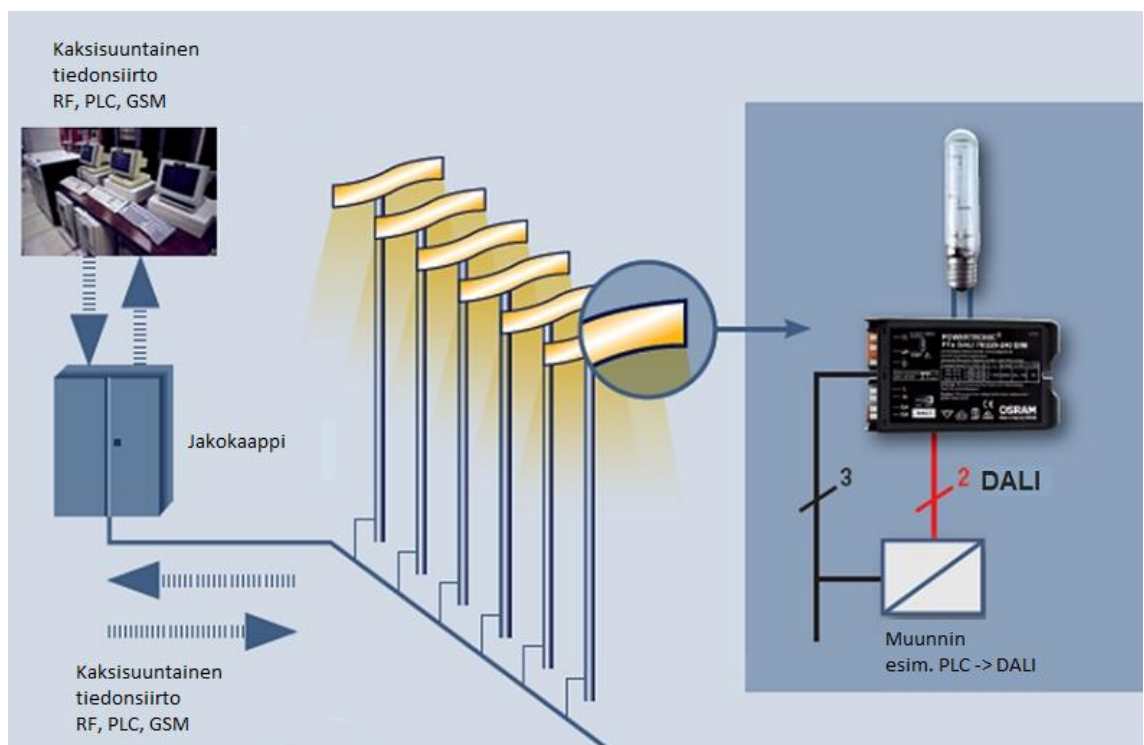


KUVIO 19. AstroDIMin valaistustasojen ohjelmointityökalu (Osram 3DIM)

4.3.3 Älykkäät tie- ja aluevalaistusjärjestelmät

Uudet nykyaikaiset älykkäät tie- ja aluevalaistuksen ohjausjärjestelmät ovat erilaisiin tilanteisiin ja tarpeisiin sopivia muokattavia ohjausjärjestelmiä, joilla voidaan säätää valaistusta portaattomasti valaistustarpeen mukaan. Valaistuksen joustava käyttö olosuhteiden mukaisesti tarjoaa suuren energiasäästöpotentiaalin, joka osasyynä onkin kiihdyttänyt järjestelmien kehitystä. Älykkäät ohjausjärjestelmät tarjoavat sähköenergian säästön lisäksi myös muita etuja, sillä monissa järjestelmissä voidaan kaksisuuntaisen tiedonsiirron ansiosta monitoroida mm. järjestelmän käyttöaikoja. Kun tiedetään järjestelmän tarkat käyttötunnit, voidaan esimerkiksi lamppujen vaihto ajoittaa valmistajan ilmoittaman eliniän perusteella. (Pulliainen 2010, 14)

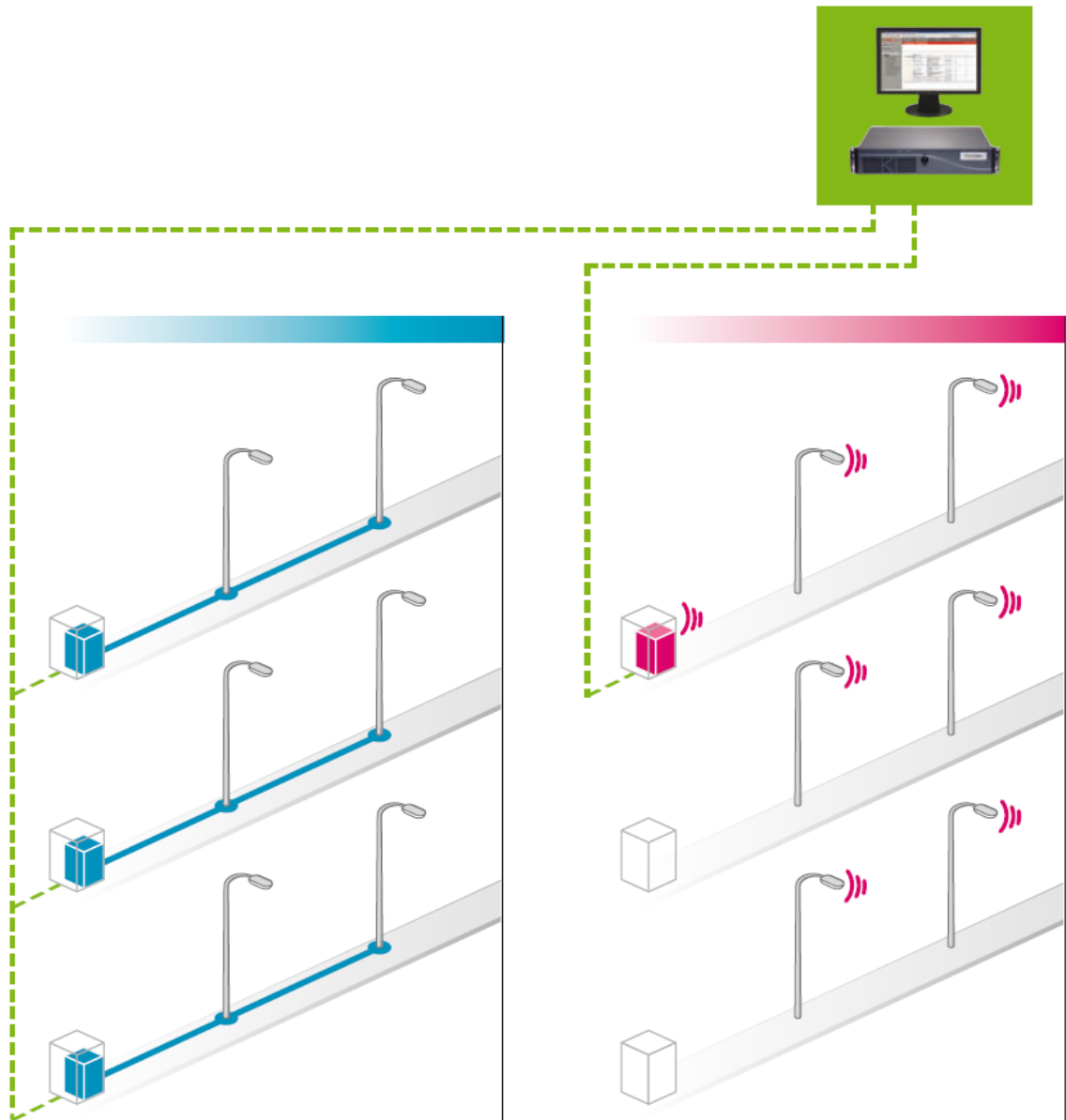
Yhtenäistä älykkäille valaistuksenohjausjärjestelmille kaksisuuntaisen tiedonsiirron lisäksi on, että ne yleensä koostuvat valaisinkohtaisesta ohjaimesta, jakokaapissa sijaitsevasta tiedonsiirtoyksiköstä sekä järjestelmäserveristä (kuvio 20). Tiedonsiirto valaisimien ja jakokaappien välillä on yleensä toteutettu sähköverkkoa pitkin (PLC) tai radioaalloilla (RF). Jakokaappien ja järjestelmäserverin välinen tiedonsiirto voidaan toteuttaa mm. GSM-yhteydellä. (Pulliainen 2010, 14)



KUVIO 20. Älykäs ohjausjärjestelmä (Osram 3DIM, muokattu)

Älykkäille valaistusjärjestelmille ominaista on, että niitä voidaan ohjata järjestelmäserverin kautta etävalvomosovellusten avulla, jolloin valaistusjärjestelmän käyttäjät voivat hallita järjestelmää periaatteessa mistä päin maailmaa tahansa. Älykkäissä järjestelmissä valaistuksen säätö voidaan toteuttaa yksityiskohtaisesti eri valaistusryhmien osalta. Säätöperusteena voidaan käyttää esimerkiksi aikaohjelmaa sekä reaaliaikaisia valoisuusantureiden mittaustietoja, jolloin voidaan luoda valaistusalueelle tarpeenmukainen valaistustaso vuorokauden eri ajanjaksoina. (Pulliainen 2010, 15)

Esimerkkinä älykkäästä valaistuksenohjausjärjestelmästä käsitellään Thornin Teleajärjestelmää. Telea on osoitteellinen ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmä, joka mahdollistaa ulkovalaistuksen säädön ja ohjauksen esimerkiksi katu- tai puistovalaistuksessa. Järjestelmä koostuu järjestelmäserveristä, jokaiseen jakokaappiin sijoitettavasta Combox-tiedonsiirtokomponentista sekä jokaiseen valaisimeen sijoitetusta ohjaimesta (kuvio 21). (Thorn 2009, 7)



KUVIO 21. Telea järjestelmän esimerkkikytkentä (Thorn 2009, 8, muokattu)

Järjestelmäserverin ja Combox-tiedonsiirtokomponenttien välinen tiedonsiirto toteutetaan tyypillisesti käyttämällä GSM-verkkoa. Valaisimien ja keskusten välinen tiedonsiirto tapahtuu radiosignaalilla tai sähköverkon kautta kulkevalla kaksisuuntaisella signaalilla. Kaksisuuntaisen tiedonsiirron ansiosta yksittäisistä valaisimista ja antureista voidaan kerätä esimerkiksi vikatietoja ja käyttöaikoja. (Thorn 2009, 11)

Telea-järjestelmän ominaisuuksia:

- serverin avulla voidaan monitoroida koko järjestelmän toimintaa, kuten esimerkiksi valaistustasoja, vikatietoja sekä valoisuusantureiden arvoja
- erillisten ohjausalueiden määrittely on mahdollista verkkorakenteesta riippumatta
- valaistustilanteita voidaan tallentaa järjestelmän muistiin
- serverin kautta voidaan ohjata valaistusjärjestelmän osa-alueita tai yksittäisiä valaisimia.

(Thorn 2009, 11)

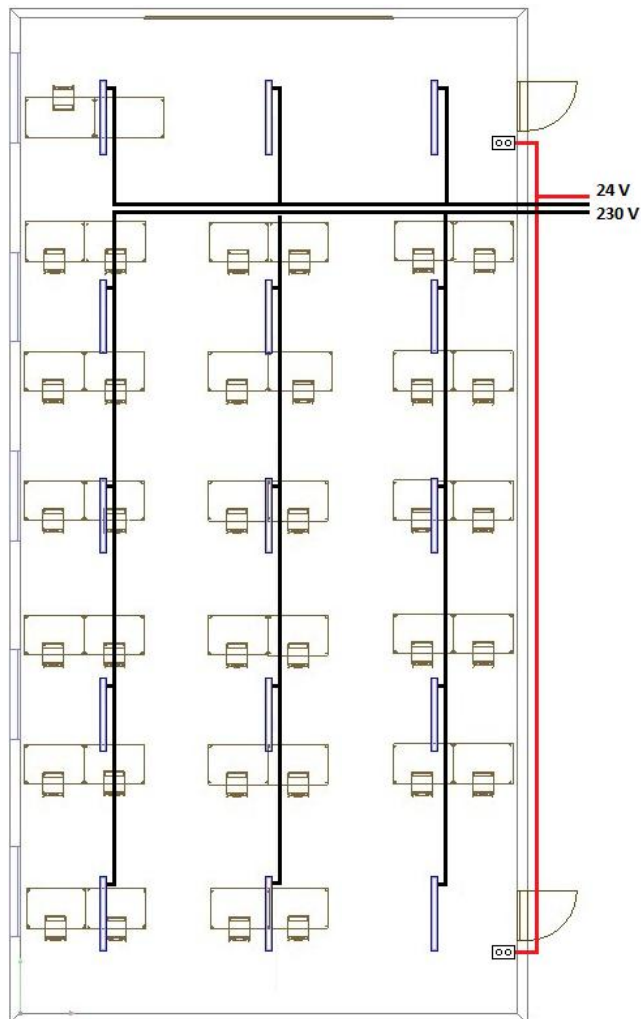
5 SISÄVALAISTUKSEN OHJAUSRATKAISUJEN ELINKAARIKUSTAN- NUSVERTAILU

Tässä luvussa vertaillaan yleisellä tasolla eri ohjausjärjestelmillä toteutettuja ratkaisuja luokkahuoneen valaistukseen. Luvussa käydään ensin läpi erilaiset valaistusratkaisut, joiden pohjalta on koottu luvun loppuun yhteenveto ja vertailu elinkaarikustannuksista. Elinkaarikustannusvertailussa käytetään vertailukohtena perinteistä vanhalla tekniikalla toteutettua järjestelmää, jossa on käytetty magneettisilla liitäntälaitteilla varustettuja T8-loisteputkivalaisimia.

Elinkaarikustannuslaskelmista on jätetty huomioimatta työn hinnoittelu, eli hinnat perustuvat vain valaisimien, ohjausjärjestelmien laitteiden ja järjestelmien kaapeleiden suositushintoihin sekä energian käyttökustannuksiin.

5.1 Perinteinen painonapeilla toteutettu järjestelmä

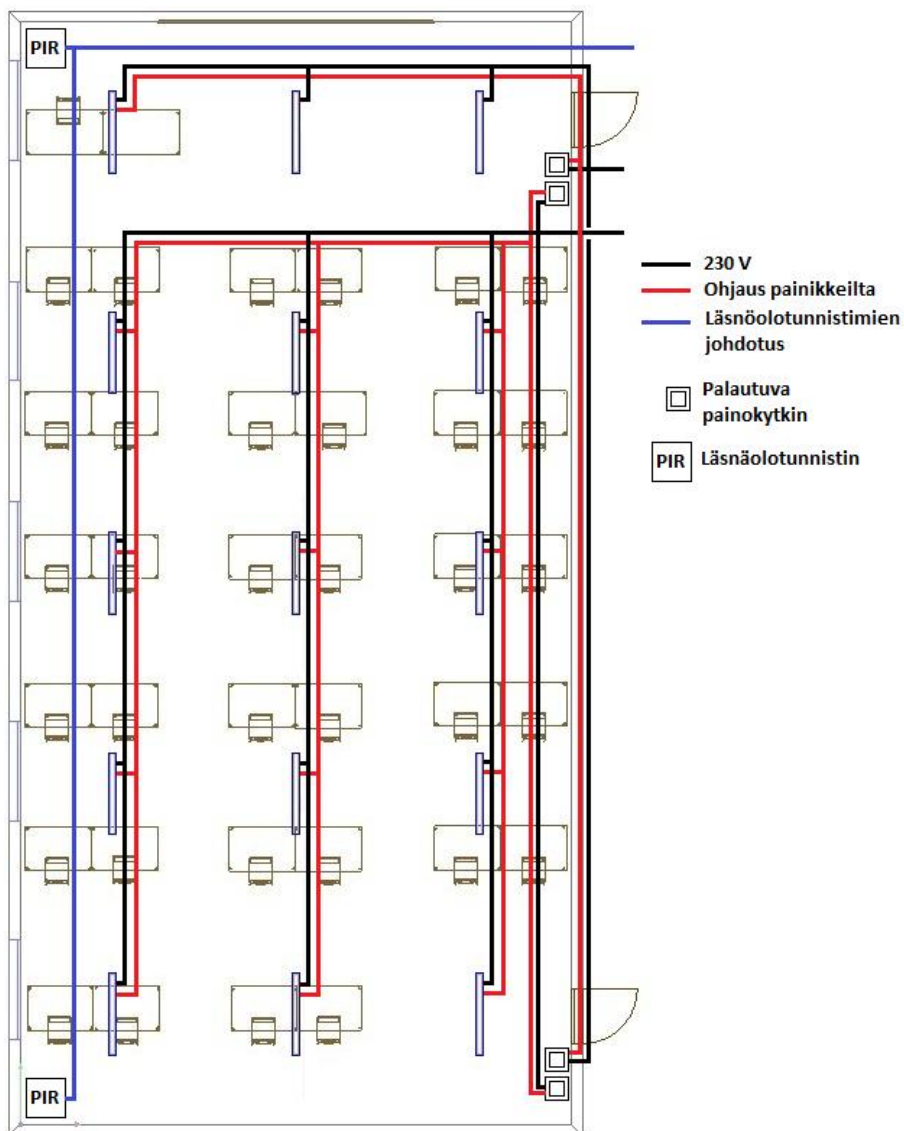
Järjestelmä on toteutettu magneettisilla kuristimilla varustetuilla T8-loisteputkivalaisimilla. Valaistusryhmät on jaettu kahteen valaistusryhmään, jotka voidaan kytkeä päälle ja pois molempien ovien vieressä olevilla pienoisjännitteellä toimivilla painonapeilla (kuvio 22).



KUVIO 22. Painonapeilla toteutettu järjestelmä

5.2 Suoralla painikeohjauksella toteutettu järjestelmä

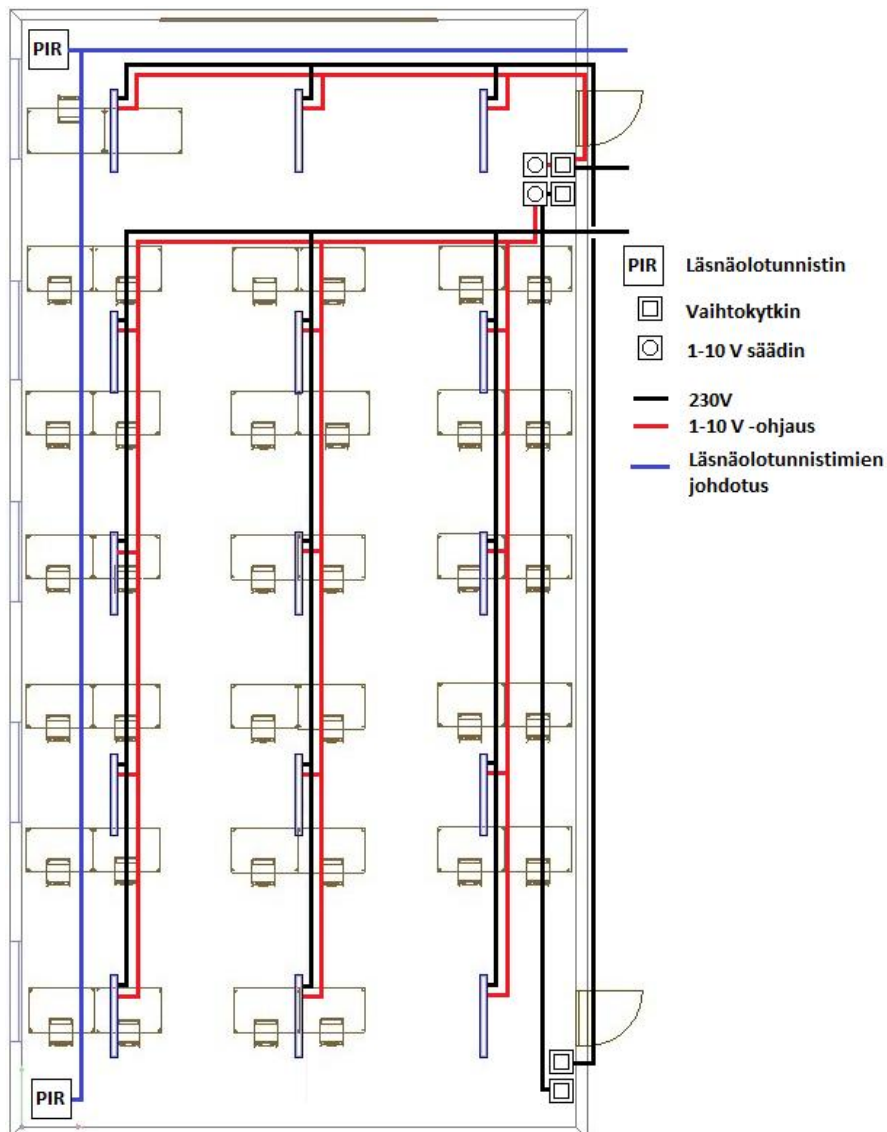
Järjestelmä on toteutettu elektronisilla liitäntälaitteilla varustetuilla T5-loisteputkivalaisimilla. Valaisimet on jaettu kahteen valaistusryhmään, jotka voidaan säätää halutuille valaistustasolle molempien ovien vieressä olevilla palautuvilla painokytkimillä (kuvio 23). Valaistusryhmien sytytys tehdään manuaalisesti kytkimillä. Huoneessa olevat läsnäolotunnistimet sammuttavat valaistuksen 15 minuutin kuluttua viimeisestä läsnäolohavainnosta.



KUVIO 23. Suoralla painikeohjauksella ja läsnäolotunnistuksella toteutettu järjestelmä

5.3 Analoginen 1-10 V -järjestelmä

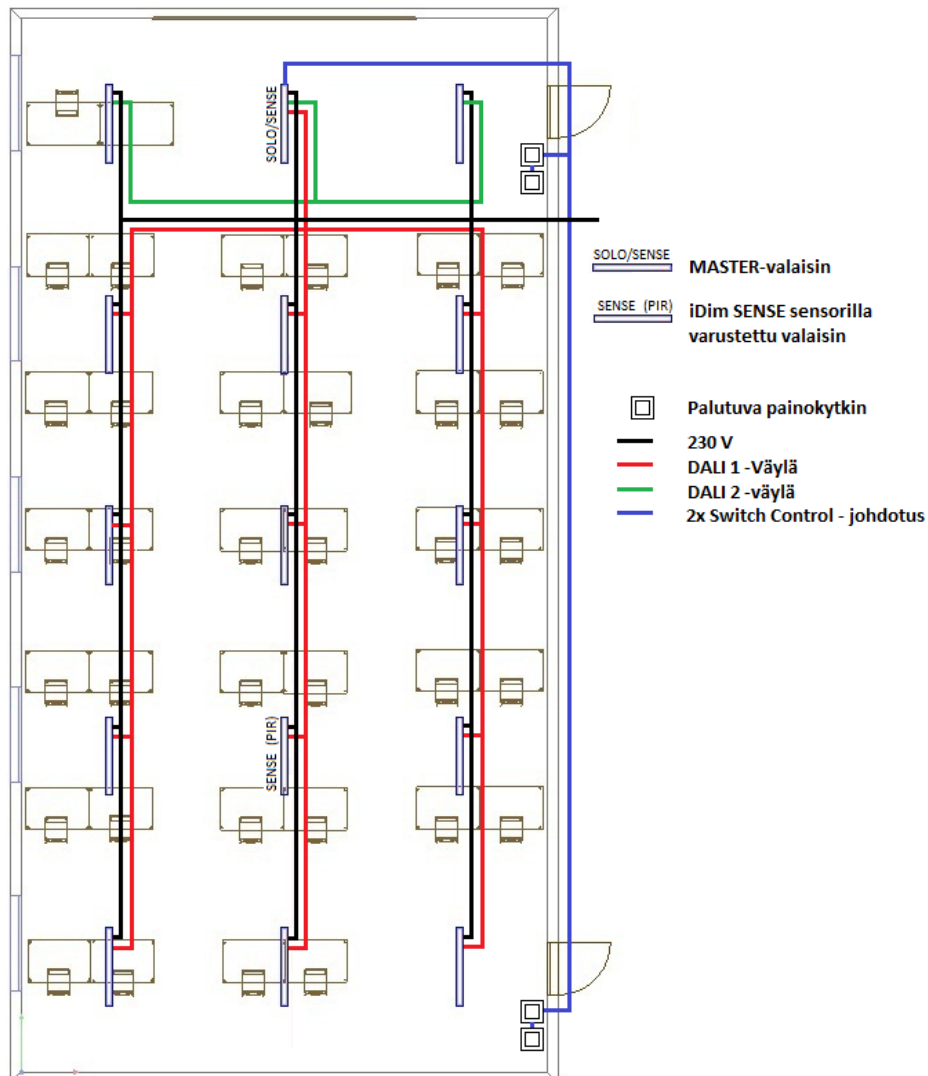
Järjestelmä on toteutettu elektronisilla liitäntälaitteilla varustetuilla T5-loisteputkivalaisimilla. Valaisimet on jaettu kahteen valaistusryhmään, jotka voidaan kytkeä päälle ja pois molempien ovien vieressä olevilla vaihtokytkimillä. Valaistusryhmien säätö voidaan toteuttaa vain luokan etuosasta oven vieressä olevilla 1-10 V -säätimillä (kuvio 24). Valaistusryhmien sytytys tehdään manuaalisesti kytkimillä, jolloin valaistusryhmät säätävät säätimen asennon mukaiseen valaistustasoon. Huoneessa olevat liiketunnistimet sammuttavat valaistuksen 15 minuutin kuluttua viimeisestä läsnäolohavainnosta.



KUVIO 24. 1-10 V -ohjauksella ja läsnäolotunnistuksella toteutettu järjestelmä

5.4 Helvar iDim-järjestelmä

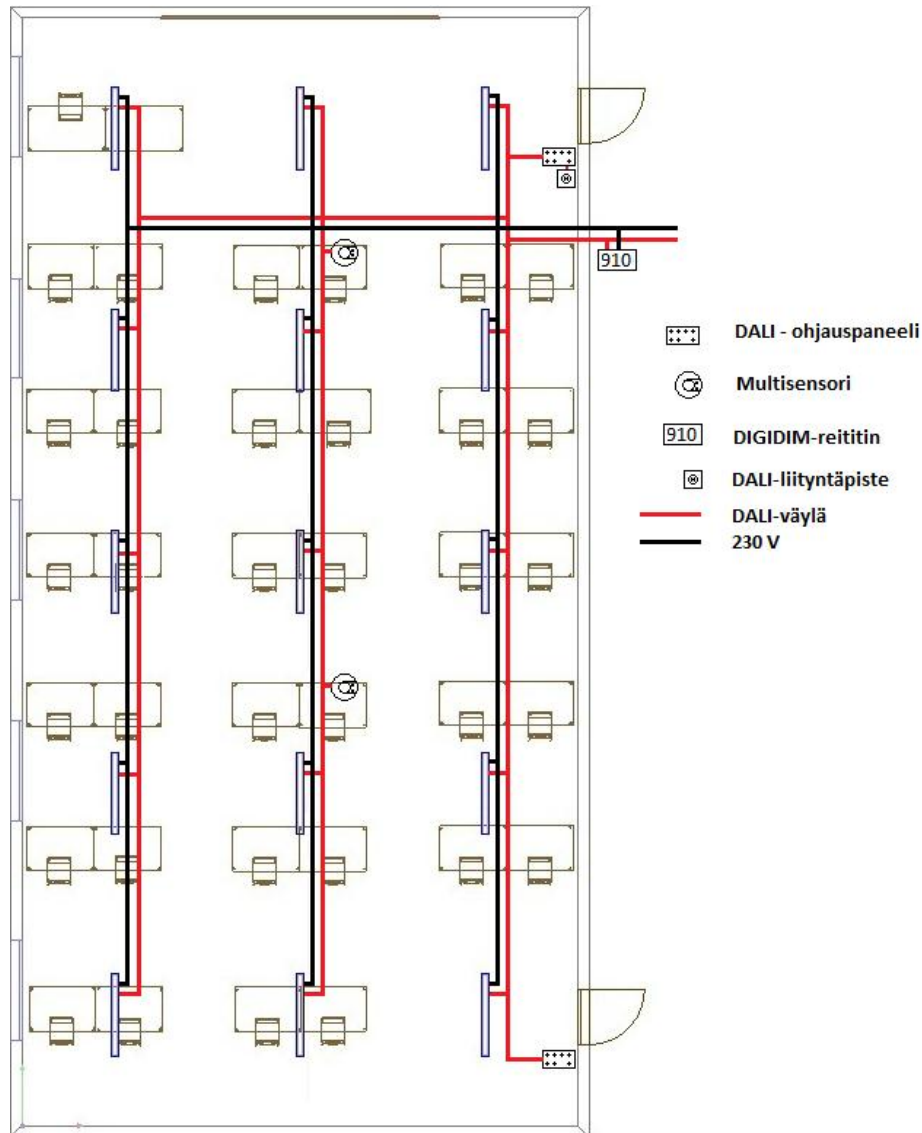
Järjestelmä on varustettu elektronisilla DALI-liitäntälaitteilla varustetuilla T5-loisteputkivalaisimilla. Yksi valaisimista on master-valaisin, joka on varustettu iDim Solo -liitäntämodulilla ja iDim Sense -DALI-sensorilla. Master-valaisimen sensori toimii liiketunnistimena ja vakiovaloanturina. Järjestelmään kytketty toinen iDim Sense -sensorilla varustettu valaisin toimii ainoastaan liiketunnistimena. Valaistus on jaettu kahteen valaistusryhmään, jotka voidaan säätää haluttuun valaistustasoon molempien ovien luona olevien palautuvien painokytkimien avulla, kuten suorassa painikeohjauksessa (kuvio 25). Valaistuksen sytytys tehdään manuaalisesti kytkimistä, jolloin valaistustaso säätyy automaattisesti valoisuusanturin mittaustiedon mukaan. Kun tilasta poistutaan, säätyy valaistus 15 minuutin kuluttua 20 % valaistustasolle ja minuutin kuluttua tästä pois päältä. Järjestelmä ei tarvitse toimiakseen erillistä tietokoneohjelmointia.



KUVIO 25. iDim-järjestelmä

5.5 Helvar DIGIDIM-järjestelmä (DALI)

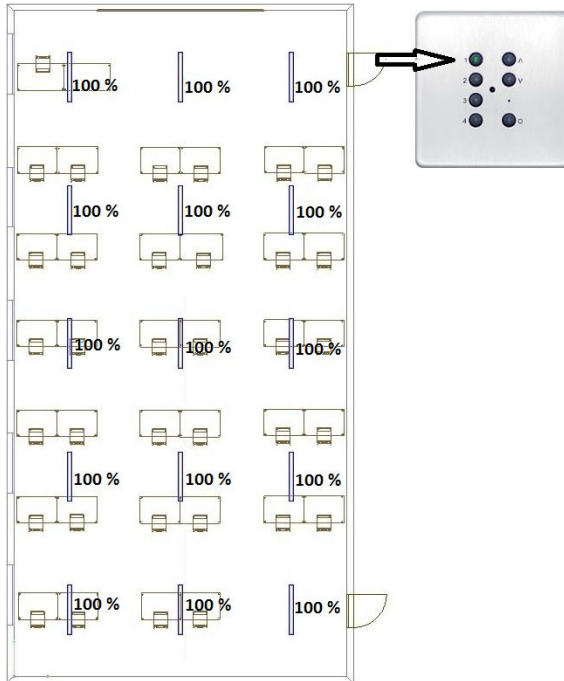
Järjestelmä on varustettu elektronisilla DALI-liitäntälaitteilla varustetuilla T5-loisteputkivalaisimilla sekä kahdella multisensorilla, jotka toimivat tilan liiketunnistimina ja vakiovaloantureina. Valaistusta ohjataan ovien vieressä olevilla ohjauspaneelilla (kuvio 26). Valaistuksen sytytys tehdään manuaalisesti ohjauspaneeleista. Kun tilasta poistutaan, valaistus säätyy 10 minuutin kuluttua 20 % valaistustasolle ja viiden minuutin kuluttua tästä pois päältä. Järjestelmä vaatii erillisen tietokoneohjelmoinnin, jolla halutut ohjauskomennot tallennetaan järjestelmän muistiin.



KUVIO 26. DIGIDIM-järjestelmä

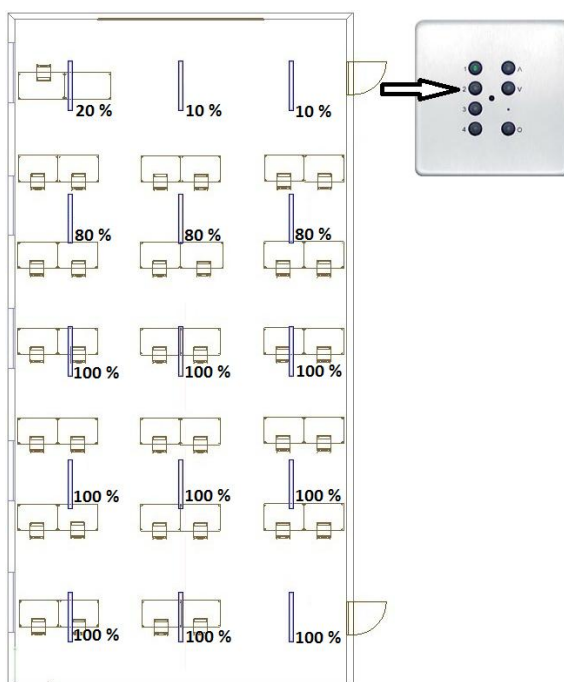
Ohjauspaneelien painikkeiden toiminnot voidaan ohjelmoida ohjauspaneeliin esimerkiksi seuraavasti:

- ohjaimen 1-painikkeella kaikki valaisimet syttyvät 100 % valaistustasolle (kuvio 27)



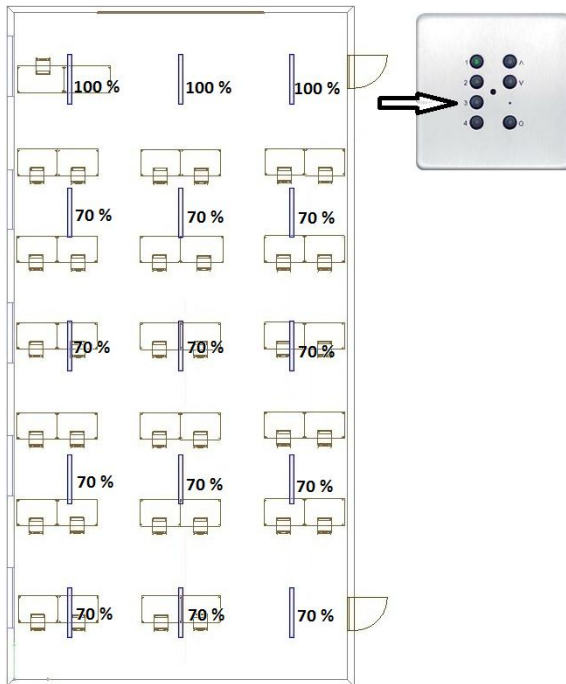
KUVIO 27. Valaistustasot painettaessa ohjaimen 1 painiketta

- ohjaimen 2-painikkeella valaistus säätö projektoritilanteeseen (kuvio 28)



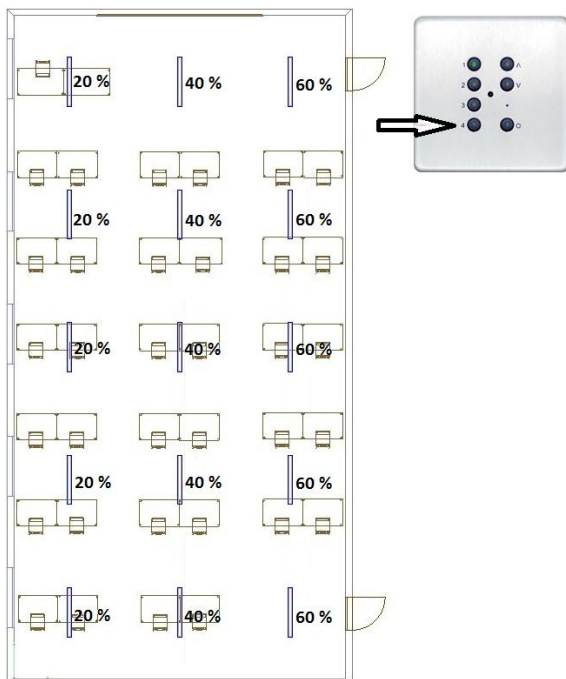
KUVIO 28. Projektoritilanteen valaistustasot

- ohjaimen 3-painikkeella valaistus säätyy valaistus luentotilaan (kuvio 29)



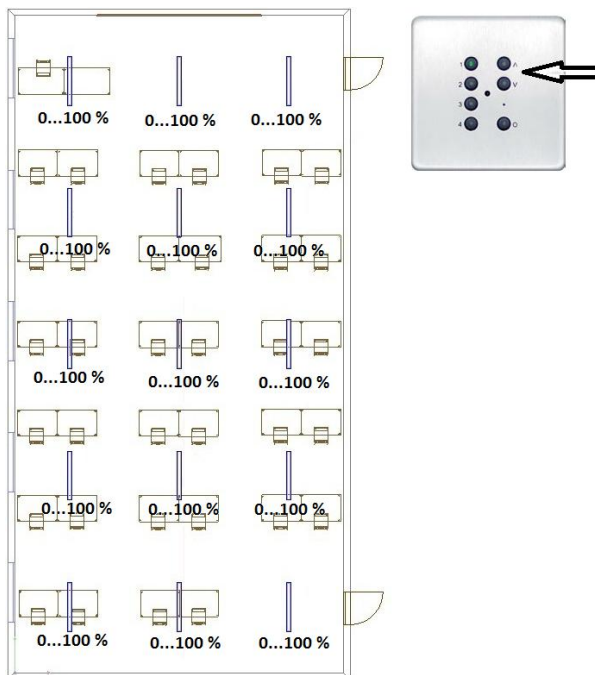
KUVIO 29. Luentotilan valaistustasot

- painettaessa ohjaimen 4-painiketta valaistus säätyy normaalitilanteelle, jossa valaistus säätyy valoisuusantureiden mittausarvojen mukaisesti (kuvio 30)



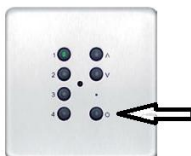
KUVIO 30. Esimerkki normaalitilanteen valaistustasoista

- valaistus voidaan säätää halutulle valaistustasolle painettaessa ohjaimen nuoli-painikkeita (kuvio 31)



KUVIO 31. Valaistuksen säätö

- koko luokan valaistus sammutetaan painamalla ohjaimen 0-painiketta (kuvio 32).



Kuvio 32. Valaistuksen sammutus tapahtuu painamalla 0-painiketta

5.6 Ohjaustapojen elinkaarikustannusten vertailu

Vertailussa luokkahuoneen valaistuksen on oletettu olevan käytössä 250 päivää vuodessa ja 10 tuntia päivässä. Valaistuksen käyttötunnit on arvioitu ammattikorkeakoulun yleisimmin käytössä oleviin luokkahuoneisiin, jotka ovat päivisin nuorisosaalien ja iltapäivisin aikuisopiskelijoiden käytössä. Laskennat on tehty Suomen Valoteknillisen Seuran energiansäästö-laskentaohjelmalla. Laskennassa on käytetty vuotuisena todellisena korkona 4 %, joka on laskentaohjelman suositusarvo kuntien korkotasolle ja energian hinnan nousun laskenta-arvona 3 %. Laskennan tarkastelujaksona on käytetty 20 vuotta, jota voidaan pitää tyypillisenä valaistusjärjestelmän elinikänä. Laskennassa on käytetty sähköenergian kokonaishintana 9 snt/kWh. Sähköenergian kokonaishinta, sekä sähköenergian hinnan nousun laskenta-arvo on saatu Energiamarkkinaviraston hinnankelitystaulukoiden perusteella. Laskennassa käytetyt kustannukset ja tulokset on koottu taulukoihin 3 ja 4, sekä tarkemmin liitteisiin 1 ja 2.

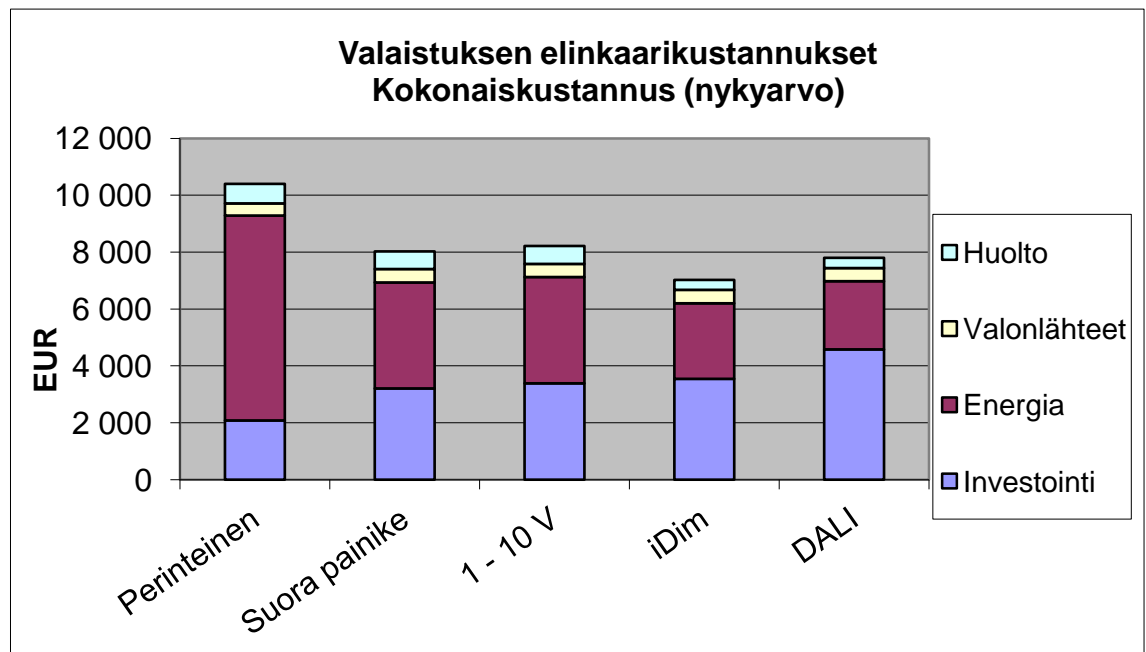
TAULUKKO 3. Järjestelmien investointikustannukset

	Perinteinen	Suora painike-ohjaus	1 - 10 V	iDim	DALI
Valaisimet	1200 €	1950 €	1950 €	2820 €	2595 €
Lamppukustannukset	180 €	240 €	240 €	240 €	240 €
Ohjaus-/ tarvike-kustannukset	701 €	1 012 €	1 197 €	480 €	1 739 €
Investointikustannukset YHT.	2 081 €	3 202 €	3 387 €	3 540 €	4 574 €

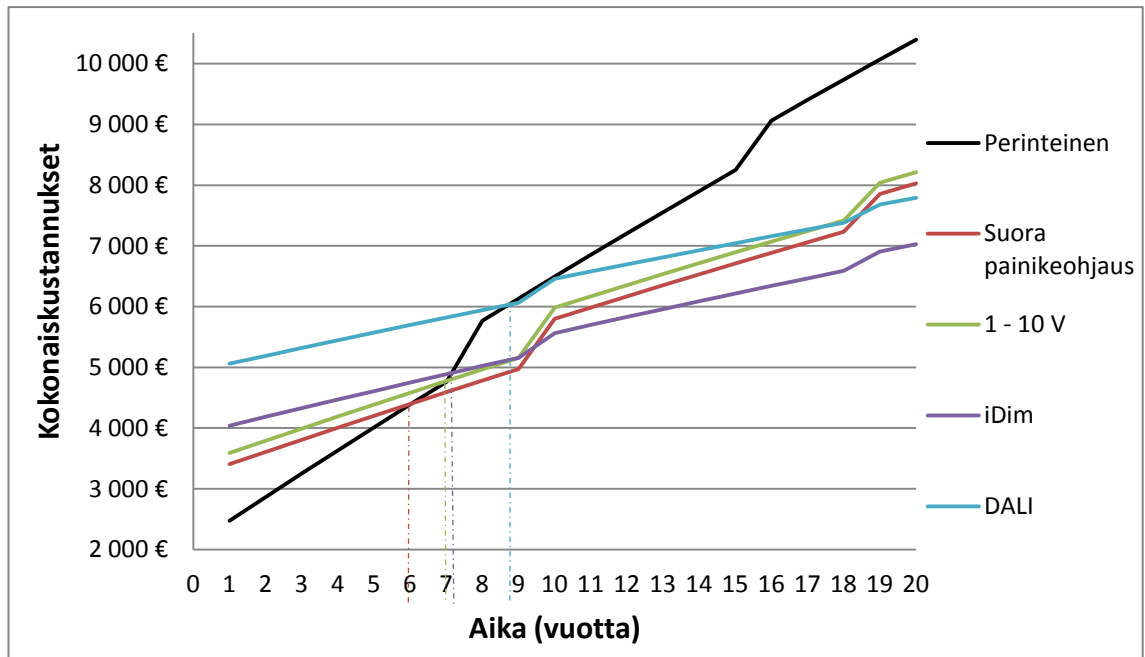
TAULUKKO 4. Järjestelmien käyttökustannukset

	Perinteinen	Suora painike- ohjaus	1 - 10 V	iDim	DALI
Sähköenergian käyttö vuodessa (kWh)	4 380	2 270	2 270	1 620	1 460
Energian käyttökustannukset vuodessa	394 €	204 €	204 €	146 €	131 €
Energian kokonais- kustannukset laskentajaksolle	7 204 €	3 730 €	3 730 €	2 664 €	2 398 €
Valonlähdekustannukset laskentajaksolle	429 €	467 €	467 €	467 €	467 €
Huoltokustannukset laskentajaksolle	683 €	628 €	628 €	355 €	355 €
Käyttökustannukset yhteensä	8 397 €	4 825 €	4 825 €	3 486 €	3 219 €

Järjestelmien kokonaiskustannukset 20 vuoden tarkastelujaksolle on koottu kuvioon 33. Vuotuisten kokonaiskustannusten pohjalta saadaan eri järjestelmille luotua kokonaiskustannusten kuvaajat (kuvio 34). Järjestelmiä verrattaessa perinteiseen ratkaisuun saadaan kuvaajien risteyskohdista määritettyä takaisinmaksuajat eri järjestelmille.



KUVIO 33. Järjestelmien käyttökustannukset 20 vuoden ajanjaksolla



KUVIO 34. Järjestelmien kokonaiskustannukset ja takaisinmaksuajat

Järjestelmän kokonaiskustannuksista voidaan todeta, että tarkastelujakson aikana investointikustannuksiltaan kalliimpien järjestelmien käytönaikaiset kustannukset ovat hyvin paljon pienemmät perinteiseen ratkaisuun verrattuna. Alhaisempien käyttökustannuksen vuoksi järjestelmien kokonaiskustannukset tarkastelujaksolle osoittautuvat huomattavasti alhaisemmiksi.

6 POHDINTA

Oikein suunnitellulla valaistuksenohjauksella voidaan saada merkittäviä energiasäästöjä käyttömukavuuden lisääntyessä. Nykyaikaisten väyläpohjaisten järjestelmien käyttö tulee varmasti lisääntymään sisävalaistuksessa jo pelkästään sähköenergian säästön takia. Lisäksi väyläpohjaisten järjestelmien muunneltavuus tarjoaa suuria etuja verrattuna vanhoihin järjestelmiin, joissa valaistuksen muunneltavuus perustuu valaistusryhmien kaapeloinnin uusimiseen. Vaikka esimerkiksi DALI-järjestelmällä toteutetuissa ratkaisuissa investointikustannukset ovat vielä melko korkeat, maksaa järjestelmä alhaisten käytönaikaisten kustannusten ansiosta itsensä takaisin. Lisäksi mahdollisuus integroida valaistus osaksi muuta kiinteistöautomaatiojärjestelmää tarjoaa lisäsyyn valita valaistusratkaisuksi väyläpohjainen järjestelmä. ”Älyä” sisältävien järjestelmien mahdollisuus monitoroida yksityiskohtaisesti sähköenergian kulutustietoja luo myös pohjaa nykyisille laskennallisille energiansäästömahdollisuuksille.

Työn elinkaarikustannusvertailuista voidaan todeta, että vakiovalo- ja poissaolo-ohjaus ja niiden yhdistelmät ovat avain energiatehokkaisiin valaistuksenohjausratkaisuihin. Laskennan hintojen perustuessa SLO:n ja Alppiluxin suositushintoihin, saattavat investointikulut olla huomattavasti alhaisemmat asennusten tilaajalle. Alhaisempien investointikustannusten vuoksi myös järjestelmien takaisinmaksuajat lyhenevät perinteiseen järjestelmään verrattuna.

Opinnäytetyön tekeminen opetti paljon erilaisten valaistuksenohjaustapojen mahdollisuuksista osana tilojen valaistusratkaisuja. Lisäksi eri valaistuksenohjausjärjestelmillä toteutettujen ratkaisujen elinkaarikustannuslaskelmat osoittivat, miten eri järjestelmien elinkaarikustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat perinteisiin valaistusratkaisuihin verrattuna. Opinnäytetyössä esitetyt tulokset loivat käsityksen, miten melko yksinkertaisillakin ohjausratkaisuilla voidaan saada aikaan merkittäviä säästöjä käytönaikaisissa kustannuksissa.

LÄHTEET

- DALI AG. 2001. DALI manual. Luettu 18.1.2012.
http://www.dali-ag.org/c/manual_gb.pdf
- Fagerhult Oy. 2011. Indoor Lighting Solutions –Luettelo 2012 – 2013.
- Fagerhult Oy. 2011. LENI-laskenta. Luettu 19.12.2011.
<http://fagerhult.fi/indoor/planering/energidirektivet/berakna-lenitalet.asp>
- Glamox Luxo Lighting Oy. DSI – Digitaalinen ohjaus. Luettu 17.1.2012.
<http://www.glamox.fi/glx/ArticleAdmin/ShowImage.aspx?tblType=Article&Type=Images&ImageId=141827>
- Helvar Oy. Energiatehokas toimistovalistus. Luettu 17.1.2012.
<http://www.helvar.com/download.asp?id=energiatehokas%5Ftoimistovalistus%2Epdf;2768;{B8AA64A5-C24B-4ED6-BF4C-C58DB3ADB178}>
- Helvar Oy. Helvar ja ympäristö. Luettu 13.1.2011.
<http://www.helvar.com/download.asp?id=energy%5FFI%5Flowres;4530;{29F12042-A42A-4FC7-BF35-F8DEAFF5FF1}>
- Helvar Oy. 2006. Kustannustehokas neuvotteluhuone. Luettu 13.12.2011.
<http://www.helvar.com/download.asp?id=kustannustehokas%5Fneukkari%2Epdf;2771;{904A1158-ABED-477C-AF35-166348619772}>
- Helvar Oy. 2011. Valaistuksenohjaus energiansäästöissä. Luentomateriaali. Luettu 21.11.2011.
[http://www.tamk.fi/cms/hakumm.nsf/lupGraphics/Helvar.pdf/\\$file/Helvar.pdf](http://www.tamk.fi/cms/hakumm.nsf/lupGraphics/Helvar.pdf/$file/Helvar.pdf)
- Motiva Oy. 2010. Valaistus. Luettu 10.12.2011.
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/valaistus
- Motiva Oy. 2011. Sähkönkulutus. Luettu 10.12.2011.
http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/sahkonkulutus
- Osram Oy. 2012. 3DIM. Luettu 20.2.2012.
http://www.osram.com/osram_com/Professionals/ECG/Consultation/3DIM/index.html
- Philips Oy. 2008. Lumistep Ballast. Luettu 25.1.2012.
www.sitelighting.com/Literature/ge_LumiStep_cut.pdf
- Philips Oy. Dynadimmer. Luettu 17.1.2012.
http://www.lighting.philips.co.uk/pwc_li/gb_en/subsites/oem/download/xtreme_drivers/manual_dynavision_xt_programmer.pdf
- Pulliainen, A. 2010. Älyohjauksella toimivat valaisinkohtaiset ohjausmenetelmät taajamavalaisuksessa. Automaation koulutusohjelma. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

- SFS-EN 15193. 2007. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus.
- SFS-EN 12464-1. 2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus.
- SSTL, STUL, Suomen Valotekninen Seura & Teknologiateollisuus. 2008. Energiatarkas valaistus. Luettu 15.2.2011.
http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatarkas_valaistus.pdf
- ST 58.04. 2003. Valaistus. Yleisohjeet. Espoo: Sähköinfo Oy.
- ST 58.08 2009. Valonlähteiden ominaisuudet. Espoo: Sähköinfo Oy.
- SVS ry. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Taustaraportti. Versio 4.0.
- Thorn Lighting Ltd. 2009. Telea. Outdoor lighting controls.
- Tridonic GmbH & Co KG. 2008. Taking presence-controlled lighting to new levels. Luettu 7.2.2012.
http://www.corridorfunction.com/corridorFUNCTION/Data/Brochure_corridorFUNCTION_en.pdf
- Tridonic GmbH & Co KG. 2010. Efficient light for streets, bridges and public spaces. Luettu 25.1.2012.
http://www.tridonic.com/com/en/download/Energy_savings_street_lighting_EN.pdf
- Varsila, M. 2008. Valaistuksen ohjaus. Luettu 10.2.2012.
<http://www.ktinterior.fi/luettelot/ValaistuksenOhjaus>
- Vuorenmaa, S. 2011. Rakentamisen uudet määräykset tuovat myös lisää työtä. Sähköala 8/2011, 20–21.

LIITTEET

Liite 1. Ohjausjärjestelmien investointikustannukset

1 (2)

VANHA JÄRJESTELMÄ				YHT.	
Valaisin	lkm/m	sh (alv 0%)	sh (alv 23 %)	alv (0 %)	alv (23 %)
Alpo T8 58 W	15	79,63 €	97,94 €	1 194,45 €	1 469,17 €
Ripustusvaijeripari	15	15,08 €	18,55 €	226,20 €	278,23 €
Loisteputkilamppu 58 W	30	6,20 €	7,63 €	186,00 €	228,78 €
Valaisinkustannukset				1 606,65 €	1 976,18 €
Ohjaus					
Pienjännitepainike	2	59,00 €	72,57 €	118,00 €	145,14 €
Kontaktori	2	28,00 €	34,44 €	56,00 €	68,88 €
sysäysrele	2	66,50 €	81,80 €	133,00 €	163,59 €
muuntaja 230V/24V	1	74,00 €	91,02 €	74,00 €	91,02 €
Johdonsuojakatkaisija 10 A	3	7,65 €	9,41 €	22,95 €	28,23 €
Ohjauskustannukset				403,95 €	496,86 €
Kaapelit					
MHS 5x2x0,5	10	1,02 €	1,25 €	10,20 €	12,55 €
MMJ 3x1,5	40	1,55 €	1,91 €	62,00 €	76,26 €
INVESTOINTI YHT.				2 082,80 €	2 561,84 €
Switch Control					
<hr/>					
Valaisin					
Alpo T5	15	130,30 €	160,27 €	1 954,50 €	2 404,04 €
Ripustusvaijeripari	15	15,08 €	18,55 €	226,20 €	278,23 €
Loisteputkilamppu 49 W	30	8,45 €	10,39 €	229,50 €	311,81 €
Valaisinkustannukset				2 410,20 €	2 994,07 €
ohjaus					
Palautuva kytkin	4	18,20 €	22,39 €	72,80 €	89,54 €
Liiketunnistin	2	220,00 €	270,60 €	440,00 €	541,20 €
Kontaktori	2	28,00 €	34,44 €	56,00 €	68,88 €
Johdonsuojakatkaisija 16 A	2	7,65 €	9,41 €	15,30 €	18,82 €
Ohjauskustannukset				584,10 €	718,44 €
kaapelit					
MMJ 5x2,5	40	3,80 €	4,67 €	152,00 €	186,96 €
MMJ 3x2,5	20	2,49 €	3,06 €	49,80 €	61,25 €
INVESTOINTI YHT.				3 196,10 €	3 960,72 €

(jatkuu)

2 (2)

Analoginen 1-10 V					
Valaisin					
Alpo T5	15	130,30 €	160,27 €	1 954,50 €	2 404,04 €
Ripustusvaijeripari	15	15,08 €	18,55 €	226,20 €	278,23 €
Loisteputkilamppu 49 W	30	8,45 €	10,39 €	229,50 €	311,81 €
			Valaisinkustannukset	2 410,20 €	2 994,07 €
Ohjaus					
Vaihtokytkin	4	9,70 €	11,93 €	38,80 €	47,72 €
1-10 V -säädin	2	97,00 €	119,31 €	194,00 €	238,62 €
Liiketunnistin	2	220,00 €	270,60 €	440,00 €	541,20 €
Kontaktori	2	28,00 €	34,44 €	56,00 €	68,88 €
Johdonsuojakatkaisija 16 A	2	7,65 €	9,41 €	15,30 €	18,82 €
			Ohjaukustannukset	744,10 €	915,24 €
Kaapelit					
MMJ 5x2,5	40	3,80 €	4,67 €	152,00 €	186,96 €
MMJ 3x2,5	30	2,49 €	3,06 €	74,70 €	91,88 €
			INVESTOINTI YHT.	3 381,00 €	4 188,15 €
iDim					
Valaisin					
Alpo T5 SENSOLO	1	312,22 €	384,03 €	312,22 €	384,03 €
Alpo T5 SENSE	1	256,66 €	315,69 €	256,66 €	315,69 €
Alpo T5 DALI	13	173,33 €	213,20 €	2 253,29 €	2 771,55 €
Ripustusvaijeripari	15	15,08 €	18,55 €	226,20 €	278,23 €
Loisteputkilamppu 49 W	30	8,45 €	10,39 €	253,50 €	311,81 €
			Valaisinkustannukset	3 301,87 €	4 061,30 €
Ohjaus					
Palautuva kytkin	4	18,20 €	22,39 €	72,80 €	89,54 €
Johdonsuojakatkaisija 10 A	3	7,65 €	9,41 €	22,95 €	28,23 €
			Ohjaukustannukset	95,75 €	117,77 €
Kaapelit					
MMJ 5x1,5	50	2,54 €	3,12 €	127,00 €	156,21 €
MMJ 3x1,5	20	1,55 €	1,91 €	31,00 €	38,13 €
			INVESTOINTI YHT.	3 555,62 €	4 373,41 €
DIGIDIM					
Valaisin					
Alpo T5 DALI	15	173,33 €	213,20 €	2 599,95 €	3 197,94 €
Loisteputkilamppu 49 W	30	8,45 €	10,39 €	253,50 €	311,81 €
Ripustusvaijeripari	15	15,08 €	18,55 €	226,20 €	278,23 €
			Valaisinkustannukset	3 079,65 €	3 787,97 €
Ohjaus					
DIGIDIM-reititin	1	477,00 €	586,71 €	477,00 €	586,71 €
multisensori	2	181,00 €	222,63 €	362,00 €	445,26 €
7 painike Helvar	2	267,00 €	328,41 €	534,00 €	656,82 €
Johdonsuojakatkaisija 10 A	3	7,65 €	9,41 €	22,95 €	28,23 €
			Ohjaukustannukset	1 395,95 €	1 717,02 €
Kaapelit					
MMJ 5x1,5	40	2,54 €	3,12 €	101,60 €	124,97 €
MMJ 3x1,5	10	1,55 €	1,91 €	15,50 €	19,07 €
			INVESTOINTI YHT.	4 592,70 €	5 649,02 €

Liite 2. Järjestelmien kustannusvertailu

VALAISTUSKUSTANNUSTEN VERTAILULASKELMA

(Perustuu Ruotsin energiaviranomaisten laskentamalliin)

PROJEKTI:	Luokkahuone
PÄIVÄMÄÄRÄ/LAATIJA:	8.3.2012 KB
PROJEKTIN NUMERO:	1

Edellytykset	
Laskenta-aika	vuotta 20
Vuotuinen todellinen korko (sadasosia)	0,04
Vuotuinen energian hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)	0,03
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)	0,00
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu inflaation lisäksi (%)	0,00

INVESTOINTIKUSTANNUKSET						
Valaisimet						
Valaisintyyppi		Perinteinen	Suora painike	1 - 10 V	iDim	DALI
Valmistaja						
Tarkempi määrittely (esim. lamputyyppi, teho, ...)		T8/2x58	T5/2x49	T5/2x49	T5/2x49	T5/2x49
Lukumäärä	kpl	15	15	15	15	15
Yksikköhinta	eur/kpl	80	130	130	188	173
Valaisinkustannus	eur	1 200	1 950	1 950	2 820	2 595
Lamput						
Teho/lamppu mukaan lukien liitäntälaitteen häviöt	W	73	54	54	54	54
Lukumäärä/valaisin	kpl	2	2	2	2	2
Yksikköhinta	eur/kpl	6	8	8	8	8
Lamppukustannus	eur	180	240	240	240	240
Asennus						
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	eur	5	13	15	11	8
Valaistuksen ohjaus	eur	403	584	744	96	1396
Muut kustannukset	eur	226	226	226	226	226
Asennuskustannukset	eur	701	1 012	1 197	480	1 739

INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ	eur	2 081	3 202	3 387	3 540	4 574
---	-----	-------	-------	-------	-------	-------

KÄYTTÖKUSTANNUKSET						
		Perinteinen	Suora painike	1 - 10 V	iDim	DALI
Energiakustannukset						
Asennettu teho mukaan lukien liitäntälaittehäviöt	W	2 190	1 620	1 620	1 620	1 620
Käyttöaika	h/y	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Käyttökerroin		1,0	0,7	0,7	0,5	0,5
Energiankulutus / vuosi	MWh/år	4,38	2,27	2,27	1,62	1,46
Sähköenergian hinta	eur/kWh	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Energiakustannus / vuosi	eur/y	394	204	204	146	131
Laskentakerroin 1		18,27	18,27	18,27	18,27	18,27
Energiakustannusten nykyarvo	eur	7 204	3 730	3 730	2 664	2 398
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto						
Valonlähteen elinikä	h	15 000	18 000	18 000	18 000	18 000
Vaihtoväli	vuosia	8	9	9	9	9
Vaihtokustannus / kpl	eur	5	5	5	5	5
Laskentakerroin 2		1,30	1,20	1,20	1,20	1,20
Valonlähdekustannusten nykyarvo	eur	429	467	467	467	467
Huoltokustannukset						
Huoltokustannus valaisinta kohden	eur/kpl	35	35	35	35	35
Käyttöaika ennen huoltoa	h	15 000	18 000	18 000	18 000	18 000
Huoltoväli	vuosia	8	9	9	9	9
Laskentakerroin 3		1,30	1,20	1,20	0,68	0,68
Huoltokustannusten nykyarvo	eur	683	628	628	355	355
KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ		8 316	4 825	4 825	3 486	3 219

KOKONAISKUSTANNUS (NYKYARVO)	eur	10 397	8 027	8 212	7 026	7 793
-------------------------------------	-----	--------	-------	-------	-------	-------