



VALAISTUKSEN OHJAUS

Olli Juutila

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähköisentalotekniikan
suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähköisen talotekniikan suuntautumisvaihtoehto

JUUTILA, OLLI TAPIO: Valaistuksen ohjaus

Opinnäytetyö 43 s., liitteet 2 s.
Toukokuu 2011

Tämä opinnäytetyö tehtiin Insinööritoimisto Lausamo Oy:lle. Työn lähtökohta oli energiatehokkuus ja kuinka valaistuksen ohjausjärjestelmillä ja eri valaistuksen säätö mahdollisuuksilla voidaan vaikuttaa siihen.

Työn ensimmäisessä osassa avataan rakennusten energiatehokkuutta käsitteenä ja millä asioilla siihen voidaan vaikuttaa. Tiukentuvat säädökset ja rakennusstandardit luovat uusia vaatimuksia myös valaistukselle. Kiristymisen takia luodaan uusia menetelmiä, joilla voidaan laskea ja vertailla valaistuksen sähköenergiankulutusta.

Toisessa osassa käsitellään valaistuksen ohjaustapoja ja kuinka niillä voidaan tehokkaasti ohjata valaistusta laadusta tinkimättä. Valaistukselle asetetaan kolme tarvetta emotionaaliset, toiminnalliset ja energiataloudelliset. Tarpeet määräävät minkälainen ohjaus valaistukselle suunnitellaan. Ohjaustapoja on monenlaisia, mutta pääsääntöisesti nykyään lähdetään liikkeelle päivänvalon maksimaalisesta hyödyntämisestä.

Kolmannessa osassa käydään läpi ohjaus järjestelmät, joilla valaistuksen ohjaus pystytään toteuttamaan. Järjestelmät jakautuvat analogisiin ja digitaalisiin ohjauksiin.

Avainsanat: Energiatehokkuus, valaistuksen ohjaus, valaistus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme of Electrical Engineering
Building Services Engineering

JUUTILA, OLLI TAPIO: Lighting control

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 2 pages.
May 2011

This thesis was made for Lausamo Engineering Oy. The Basis of this thesis was energy efficient and how you can effect to it with different lighting control systems and lighting control options.

The first section is about opening up the concept of energy efficient and how you can affect to it. Regulations and building standards are getting tighter and therefore creating new demands on the lighting. Due to the tightening new methods for calculating and measuring energy efficiency are created.

Second section is about lighting control and how you can control lighting effectively with it without compromising on quality. There are three demand for lighting emotional, functional and energy efficient. Demands determine what kind of lighting control will be designed. There are many ways to control lighting but today you mostly begin with maximal utilizing of daylight.

Third section is about control systems with which you can carry out the control. Systems are divided in two analogic and digital controls.

Key words: energy efficiency, lighting control, lighting

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	5
2.1 Energiatehokkuusdirektiivit 2010/31/EU, 2002/91/EU ja 2005/32/EY	8
2.2 Energiatehokkuusvaatimukset	9
2.3 Rakennusten energiatodistus	9
3 VALAISTUKSEN ENERGIAHEHOKKUUS.....	11
3.1 Valaistus	12
3.2 Valaistuksen energian kulutus	13
3.2.1 RakMK D3 2010 ja RakMK D5	14
3.3 LENI- indeksi	16
4 VALAISTUS ENERGIANKULUTUSLASKELMA	18
5 VALAISTUKSEN OHJAUS	22
5.1 Valaistuksen ohjaustarpeet.....	24
5.1.1 Toiminnalliset tarpeet	25
5.1.2 Esteettiset tarpeet	26
5.1.3 Energiataloudelliset tarpeet	27
5.2 Valaistuksenohjaus mahdollisuudet.....	27
5.3 Valaistuksen ohjauksien energiatehokkuustutkimus.....	30
6 VALAISTUKSEN OHJAUSJÄRJESTELMÄT	33
6.1 Analogiset ohjaukset.....	33
6.1.1 1-10V ohjaus	34
6.2 Digitaaliset ohjaukset.....	34
6.2.1 DSI	34
6.2.2 DALI	35
7 YHTEENVETO.....	41
LÄHTEET	42
LIITTEET	44

1 JOHDANTO

Energiatehokkuus on noussut puheenaiheeksi viime vuosina ilmastonmuutoksen ja jatkuvan energianhinnan nousun takia. Kasvihuonepäästöt ovat suurin vaikuttaja ilmastonmuutoksessa. Uusia standardeja ja määräyksiä kehitetään päästöjen vähentämiseksi ja tavoite olisikin pienentää niitä vähintään 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä.

Suurimmista sähköenergian kuluttajista rakennuksissa on valaistus. Uusien valonlähteiden ja ohjausjärjestelmien avulla kulutusta voidaan laskea huomattavasti. Energiatehokkaat lamput ja valaisimet eivät välttämättä riitä laskemaan sähköenergiankulutusta ja valaistukselle on kehitettävä oikeanlainen ohjaus.

Tämän opinnäytetyön päällimmäinen ajatus oli lähteä pohtimaan valaistuksen ohjausta ja säätöä energiatehokkuuden näkökulmasta. Työssä käytettiin hyödyksi olemassa olevia valaistus tutkimuksia ja DIALux valaistuslaskenta työkalua. Työn tavoitteet oli oppia ymmärtämään paremmin energiatehokkuus käsitettä valaistuksessa ja sen myötä myös muussa rakentamisessa.

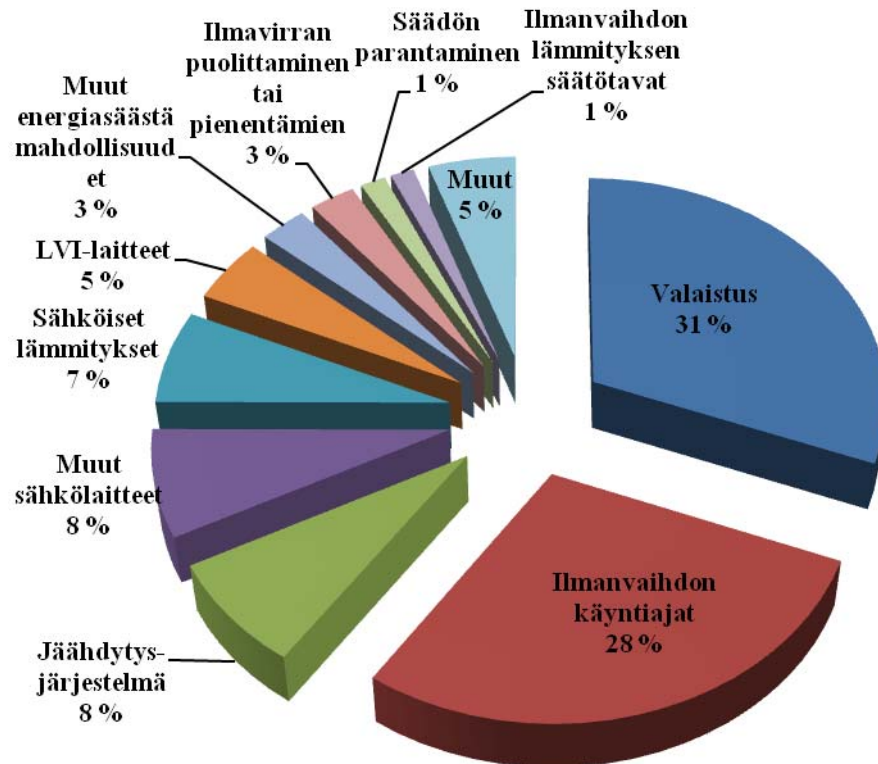
3.5.2011 Tampereen ammattikorkeakoulu

Olli Juutila

2 ENERGIATEHOKKUUS

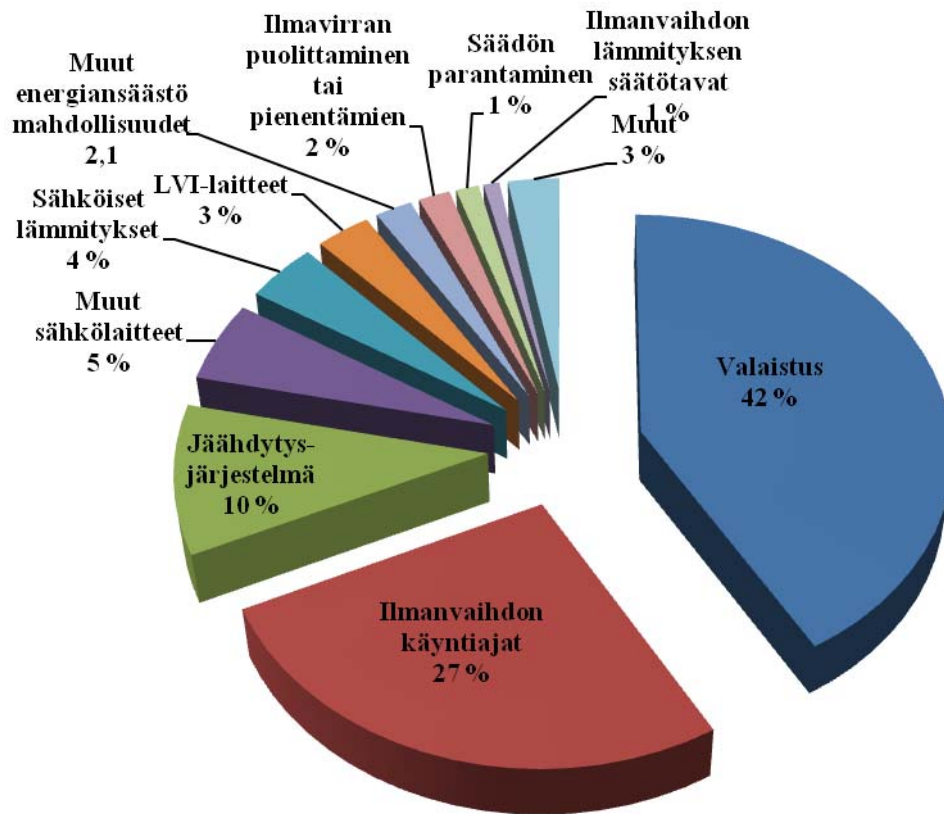
Julkisen- ja yksityisen sektorin rakennusten energiatehokkuus on noussut keskeiseksi puheenaiheeksi viime vuosina. Aiemmin oltiin tyytyväisiä, kun rakennuksiin saatiin valoa ja lämpöä, mutta kasvihuonekaasujen ja muiden ilmansaasteiden kasvu on pakottanut miettimään asioita uudestaan. Näiden takia onkin syntynyt uudenlainen tarve, energiatehokkuus. Sen tarkoituksena on maksimoida hyöty käytettävästä energiasta. Energiatehokkuutta ei voida kuitenkaan täysin erottaa energiansäästöstä, joka yleensä tarkoittaa energiankäytön absoluuttista pienentämistä. Energiatehokkuus sen sijaan voi kasvaa energiankäytön kanssa samanaikaisesti, mutta lähtökohtaisesti tämä ei ole energiatehokkuuden tavoite. Uusin direktiivi 2005/32/EY energiatehokkuutta koskien annettiin 6. heinäkuuta 2005 Euroopan parlamentin ja neuvoston toimesta. Samana vuonna laadittiin niin sanottu Kioton sopimus, jonka tarkoituksena on rajoittaa kasvihuonekaasujen päästöjä. (Fagerhult 2008)

Pelkällä energiatehokkuudella voidaan päästä jo pitkälle, mutta myös energiansäästöön tulisi kiinnittää huomiota. Toimistorakennusten säästöpotentiaali on suuri. Kuvioista 1 ja 2 selviää yksityisten ja julkisten toimistorakennusten energiansäästöpotentiaali. Valaistuksen säästöpotentiaali olisi noin 30- 40 %. (Suomen Valoteknillinen Seura, Valaistuksen energiatehokkuus)



KUVIO 1. Yksityisten toimistorakennusten energiasäästöpotentiaali. (Lehtonen, Heine, Kallonen, Lähdetie, Artturi, Tapper Vitie, Koski, Elväs, Rautiainen, Husu, Silvast, 2007)

Vuosilta 1992–2005 tehty energiakatselmus osoittaa yksityisen sektorin toimistorakennuksissa suurin säästöpotentiaali olevan valaistuksella. Kaiken kaikkiaan yksityisen palvelusektorin toimistorakennuksissa sähköenergian kulutus oli 727 GWh ja säästöpotentiaali 6,8 % eli noin 50 GWh. Julkisen sektorin toimistorakennuksissa kulutus oli 89 GWh ja säästöpotentiaali 7 GWh (Lehtonen, Heine, Kallonen, Lähdetie, Artturi, Tapper Vitie, Koski, Elväs, Rautiainen, Husu, Silvast, 2007)



KUVIO 2. Julkisten toimistorakennusten energiansäästöpotentiaali. (Lehtonen, Heine, Kallonen, Lähdetie, Artturi, Tapper Vitie, Koski, Elväs, Rautiainen, Husu, Silvast, 2007)

2.1 Energiatehokkuusdirektiivit 2010/31/EU, 2002/91/EU ja 2005/32/EY

Toukokuussa 2010 päivitettiin vanhaa 2002/91/EU direktiiviä ja samalla luotiin uusi 2010/31/EU direktiivi. Direktiivin tarkoitus on ohjata jo olemassa olevien rakennusten energian käyttöä ja luoda kehityskelpoinen pohja tulevaisuuden rakentamiselle. Rakennukset vaikuttavat pitkällä aikavälillä energiankulutukseen ja tällä hetkellä EU:n kokonaisenergian kulutuksesta 40 % aiheuttaa rakennukset. Laajamittaisten korjausten avulla jo olemassa oleviin rakennuksiin, mahdollistaa rakennusten energiatehokkuuden parantamisen. Nykyään uudisrakennusten suunnittelussa ja rakentamisessa tulisi ottaa huomioon se, että tarvitaan myös rakennuksia, jotka alittavat laaditut vähimmäisvaatimukset. Tällä saataisiin laskettua energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Laskettaessa energiankäyttöä näille rakennuksille tulee huomioida ilmasto-olosuhteet, paikalliset olosuhteet, sisäilmasto-olosuhteet ja kustannustehokkuus.

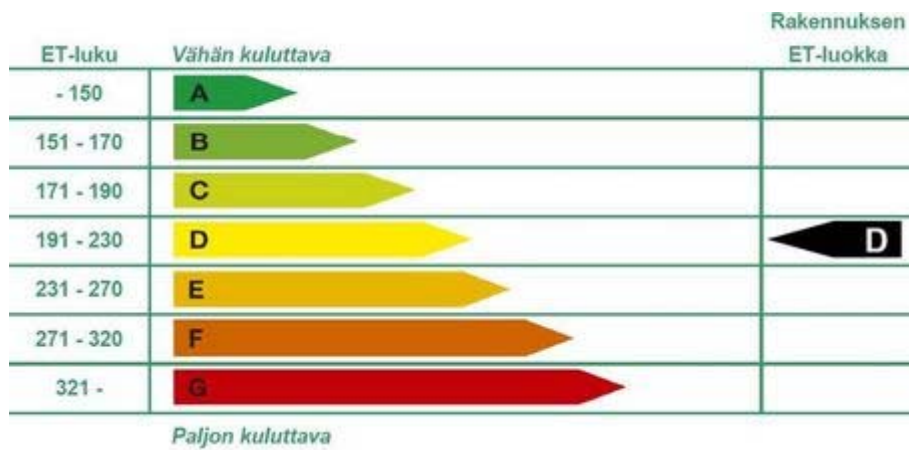
Suomessa direktiivi 2002/91/EU pantiin toimeen lakien 487/2007 rakennusten energiatodistuksesta ja 489/2007 rakennuksen ilmastointijärjestelmän kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta, avulla ja ne astuivat voimaan vuoden 2008 alussa. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/eu, 2010)

2.2 Energiatehokkuusvaatimukset

Rakennuksille on annettu tiettyjä energiatehokkuusvaatimuksia rakennusmääräyskokoelmassa D3, jota päivitettiin 30. päivä maaliskuussa 2011. Vaatimukset koskevat rakennusta ja sen eri järjestelmiä. Kokoelmassa määritetään laskentamalli rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle eli E-luvulle. Vaatimuksissa on määritelty kesäajan huonelämpötilan hallinta, rakennusvaipan ilmanpitävyys, rakennusosien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot, rakennuksen lämpöhäviöt ja lämmitysjärjestelmän tehot. Kokoelmassa on määritetty myös energialaskennan lähtötiedot ja laskentasäännöt, joiden avulla saadaan laskettua E-luku. Säännöissä määritetään, mitkä rakennusten ominaisuudet ja järjestelmät kuuluvat laskentaan. Lämmitysenergian nettotarve, rakennusvaipan lämpöhäviöt, lämmitysjärjestelmä, ilmanvaihtojärjestelmä, jäähdytysjärjestelmä ja valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö on määritelty laskettavaksi mukaan E-lukuun. Vaatimukset on täytettävä, jotta rakennukselle voidaan luovuttaa energiatodistus. (Ympäristöministeriö D3, 2011)

2.3 Rakennusten energiatodistus

Energiatodistus ilmoittaa rakennuksen vaatiman energian kulutuksen. Todistuksen avulla voidaan vertailla eri rakennusten energiatehokkuutta, jonka mukaan on määrätty energialuokat A-G (kuvio 3). A-luokka kuluttaa vähiten energiaa ja G-luokka eniten, mutta kuitenkin energialuokkaan ei vaikuta kiinteistön lämmitysmuoto. Energiatehokkuudesta yritetään tehdä yhtä suunnittelukriteeriä, energiatodistusten avulla. Todistus vaaditaan, kun rakennus tai sen tiloja vuokrataan ja myydään pois lukien ennen vuotta 2008 valmistuneet pienet rakennukset. (Motiva, 2011)



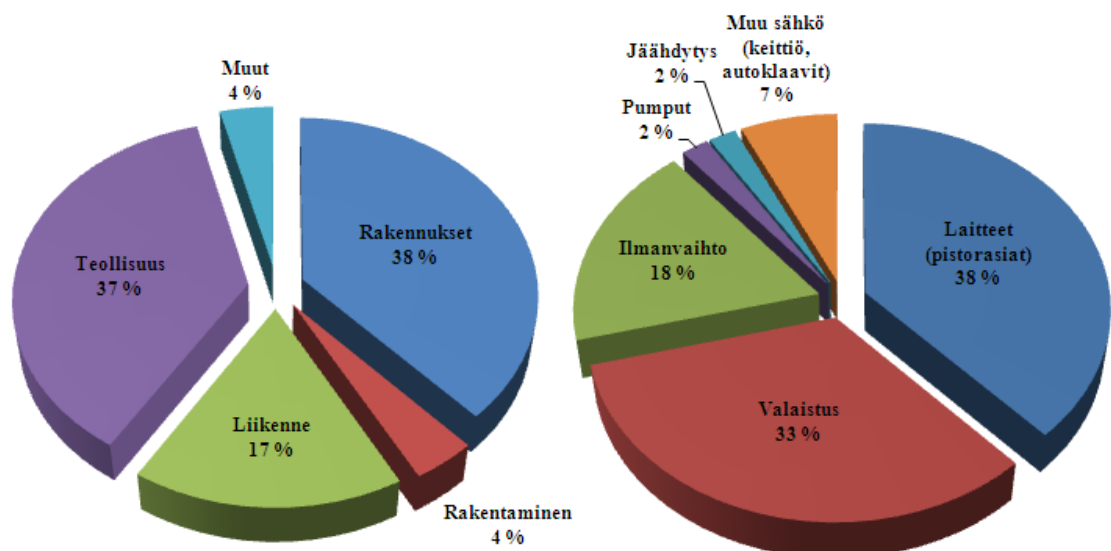
KUVIO 3. Rakennuksille annetut energiatehokkuus luokat ja luvut.(www.ncc.fi)

ET- luku lasketaan rakennusmääräskokoelman D5 avulla. Laskentaan sisältyy tilojen lämpöhäviöenergiat, lämmitysteho, käyttöveden lämmitystarve, lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat, laitesähkönkulutus ja lämpökuormat. Valaisuksen laskentamallia on käsitelty kappaleessa 3.1.1. Asuinrakennusten keskimääräinen energialuokka on E. (NCC)

3 VALAISTUKSEN ENERGIA TEHOKKUUS

Valaistus on yksi suurimmista sähköenergian kuluttajista rakennuksissa ja vie noin 30- 40 % rakennuksien sähkön kulutuksesta (Kal-lasjoki, 2009). Tällä hetkellä suurin valaistukseen kuluva sähköenergian kulutus on toimistorakennuksilla. Niiden kulutus on tällä hetkellä 40 - 50 % kaikkien rakennusten valaistukseen kuluva sähköenergiasta. (Lehtonen, Heine, Kal-lonen, Lähde-tie, Artturi, Tapper Vitie, Koski, Elväs, Rautiainen, Husu, Silvast, 2007)

Valaistuksen ohjaukseen on ollut jo 1980-luvulta asti markkinoilla vakiovalon ohjausjärjestelmä. Tällä olisi päästy huomattaviin säästöihin ja jopa puolittamaan valaistuksen kuluttama sähköenergia. Kuitenkin vasta viimeisen 10 vuoden aikana on kiinnostuttu valaistuksen ohjauksesta energiaa säättävänä järjestelmänä kasvavien saasteiden ja tiukentuvien standardien ja määräysten vuoksi. Valaistuksen energiatehokkuudella voidaan vaikuttaa myös muiden rakennuksen järjestelmien tehokkuuteen. Valaistuksesta aiheutuva lämpökuormaenergia pitää huomioida, kun mitoitetaan ja säädetään esimerkiksi ilmastointijärjestelmiä. Näin ollen valaistuksen energian kulutuksen puoliintumisella on suora vaikutus muihin rakennuksen järjestelmiin. (Varsila, 2008)

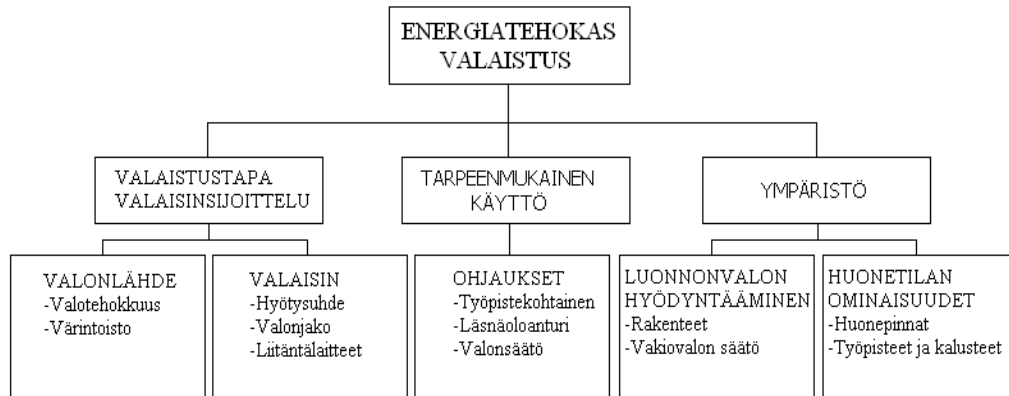


KUVIO 4. Energian loppukäyttö 2007 (Sitran 2010). Energiankäytön jakautuminen toimistorakennuksissa (Sormunen).

3.1 Valaistus

Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttaa kolme tekijää (kuvio 5). Valaistustavalla ja valaisimen valinnalla ja sijoittelulla voidaan vaikuttaa tilan valon määrään. Valaisinta ja valonlähdettä valittaessa tulee ottaa huomioon tilan tarve eli mitä tilassa tullaan tekemään. Tarvitaanko tilaan valaistus näkemistä vai työnte-koä varten. Valonlähde määrittää valovirran eli kuinka paljon valoa tilaan saadaan tietyssä kulmassa ja valaisimella saadaan suunnattua valo oikeaan paikkaan. Valonlähde vaihtoehtoja on monia ja uusia vaihtoehtoja on tulossa kovaa vauhtia. Suosituin ja energiatehokkain lamppu on T5-loisteputkilamppu. Uudet ohjausjärjestelmät ovat kehitetty loisteputkivalaisimia varten, mutta toki ohjausjärjestelmiä on myös muille lampputyypeille. Myös valaisimien liitäntälaitteiden valintaan täytyy kiinnittää huomiota. Liitäntälaitteet ovat luokiteltu myös energiatehokkuusluokkien mukaan ja näin ollen vaikuttaa myös valaistuksen energiatehokkuuteen. Energiatehokkuuteen vaikuttaa myös se, miten valaistusta ohjataan. Ohjausjärjestelmiä ja tapoja on monia esimerkiksi läsnäolo-ohjaus ja poissaolo-ohjaus, joista tarkemmin luvussa 4.4. Ohjauksilla pyritään säätämään valaistusta tarpeen mukaan (Kallasjoki, 2009). Suunniteltaessa energiatehokasta valaistusta ja sen ohjausta tulee sen kuitenkin täyttää standardin SFS-EN 12464-1 minimivaatimukset.

Ympäristön käyttö on myös tehokas tapa edesauttaa energiatehokasta valaistusta. Uudet rakenteet ja rakennustekniikka mahdollistavat päivänvalon käytön keinovalon rinnalla yhä useammassa kohteissa. Erilaisia valokuiluja, kattoikkunoita ja lasiseiniä rakennetaan, jotta luonnonvalo rakennuksissa saataisiin maksimoitua. Vakiovalo-ohjauksella luonnonvalo ja keinovalo saadaan kompensoimaan toisiaan, lisää luvussa 4.4. Valaistuksen tehokkuuteen vaikuttavat myös tilan pintamateriaalit ja värit. Mitä vaaleammat ja tasaisemmat pinnat ovat sitä paremmin ne heijastavat valoa. (Kallasjoki, 2009)



KUVIO 5. Energiatehokkaaseen valaistukseen vaikuttavat tekijät. (Kallasjoki, 2009)

3.2 Valaistuksen energian kulutus

Rakennusten energiankulutusta on laskettu ja arvioitu rakennusmääräyskokoelma D5 (RakMK D5) mukaan. Sovellettaessa kokoelman laskentamallia uusiin standardeihin ja määräyksiin se ei ole tarpeeksi tarkka, jotta niiden avulla voitaisiin suorittaa vertailuja rakennusten kesken. Suuremmissa asuinrakennuksissa mallissa otetaan huomioon vain yhteiset tilat, kuten rappukäytävät ja oleskelutilat. Tämä kokoelma sisältää myös toisen menetelmän, joka perustuu hyötysuhdelaskentaan. Menetelmä on kuitenkin suurpiirteinen, koska se perustuu keskimääräiselle valaistusvoimakkuudelle ja taulukoituihin lähtötietoihin. Siinä ei myöskään oteta huomioon yksityiskohtaisia ominaisuuksia, kuten päivänvalon vaikutusta tai valaistuksen valmiustilan lepokuormia (Varsila 2008). RakMK D5 rinnalle on kehitetty laskentamalli, jonka avulla voidaan vertailla rakennusten valaistuksen energiatehokkuutta eri rakennusten kesken. Laskentamenetelmä perustuu tilakohtaiseen valaistustarpeeseen ja valaistusratkaisuun.. Menetelmä on määritelty standardissa EN 15193-1:” Energy performance of Buildings – Energy requirements for lighting ”. (www.fagerhult.fi) Aikaisemmin on huomiota kiinnitetty vain valaistuksen asennettuun tehoon per neliömetri, mutta uuden laskentamallin myötä huomio kiinnittyy tehon käyttöön ajan kuluessa eli energiaan. (Fagerhult 2008)

Energia, joka kulutetaan valaistukseen, voidaan laskea käyttöteho kertomalla sen käyttöajalla. Valaistuksen energian kulutusta on tarkasteltu aikaisemmin asennetun tehon avulla ja valaistuksen käyttöajan on arvioitu olevan vakio. Standardin EN15193 avulla saadaan tarkka laskelma siitä, kuinka paljon kiinteän valaistuksen energiakulutus on. Ero RakMK D5 laskentamalliin on se, että valaistuksen ohjauksella saavutettava säästö ja valaistuksenohjausjärjestelmien lepokulutus on otettu myös huomioon. Standardista löytyvät valaistustarpeisiin, tiloille, leveysasteille, käyttötarkoituksiin ja ohjausjärjestelmille kertoimet, joiden avulla ohjauksen energiasäästöä voidaan arvioida. (www.fagerhult.fi)

3.2.1 RakMK D3 2010 ja RakMK D5

Rakennusmääräyskokoelman osassa D3 todetaan, että järjestelmät tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että tarpeen mukainen valaistus ylläpidetään energiatehokkaasti. Sääöksessä painotetaan myös päivänvalon käyttöä. Myös valaistuksen aiheuttamista lämpökuormista on mainittu. Niistä johtuvaa huonelämpötilan kohoamista ja jäähdytyksen tarvetta tulisi välttää. (Ympäristöministeriö D3)

RakMK D5:ssä valaistuksen energiankulutus on laskettu mukaan laitesähkönkulutukseen ilmanvaihdon ja muiden laitteiden kanssa.

$$W_{\text{laitesähkö}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + W_{\text{muutlaitteet}} \quad (1)$$

Kaavassa (1) $W_{\text{valaistus}}$ saa arvon taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Rakennusten laitteiden ominaissähköenergiankulutusarvoja rakennustyypeittäin.

Rakennustyyppi	Laitteiden sähkönkulutus yhteensä	Valaistus- järjestelmä	Ilmanvaihto- järjestelmä	Muut laitteet
	W_{laitteet}	$W_{\text{valaistus}}$	$W_{\text{ilmanvaihto}}$	$W_{\text{muut laitteet}}$
	kWh/brm ² /vuosi	kWh/brm ² /vuosi	kWh/brm ² /vuosi	kWh/brm ² /vuosi
Asuin kerrostalo	50	7	10	33
Rivitalo	50	7	7	36
Pientalo	50	7	7	36
Toimistorakenmus	70	30	12	28
Opetusrakenmus	60	23	12	25
Liikerakenmus	80	48	17	15
Hotelli	110	60	17	33
Ravintola	110	42	36	32
Liikuntarakennus	180	60	41	79
Sairaala	100	60	28	12
Muut rakennukset	100	30	11	59

Kun valaistusjärjestelmä tunnetaan tarkemmin on sähkönkulutus laskettavissa tilakohtaisen valaistustarpeen ja valaisinratkaisun perusteella(kaava1).

$$W_{\text{valaistus}} = \sum P_{\text{valaistus}} A_{\text{huone}} \Delta t f / 1000 \quad (2)$$

$W_{\text{valaistus}}$ valaistuksen sähkönkulutus, kWh

$P_{\text{valaistus}}$ valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum² Kokonaissähkötehona käytetään arvoa 15 W/hum²

A_{huone} valaistavan tilan huonepintaala, hum²

Δt valaistuksen käyttöaika (taulukosta 2), h

f valaistuksen ohjaustavasta riippuvia ohjauskertoimia:

- läsnäolotunnistin ja päivänvalosäädin 0,70
- päivänvalosäädin 0,80
- läsnäolotunnistin 0,75
- huonekohtainen kytkin 0,90
- huonekohtainen kytkin, erillinen ikkunaseinälle 0,90
- keskitetty päälle / pois 1,00.

TAULUKKO 2. Rakennuksen tyypillisiä käyttöaikoja rakennustyypeittäin.

Rakennustyyppi	Tuntia vuodessa
Asuinkerrostalo	550
Rivitalo	550
Pientalo	550
Toimistorakennus	2 500
Opetusrakennus	1 900
Liikerakennus	4 000
Hotelli	5 000
Ravintola	3 500
Liikuntarakennus	5 000
Sairaala	5 000
Muut rakennukset	2 500

3.3 LENI- indeksi

Standardissa EN 15193 valaistuksen energian kulutus ilmaistaan LENI- indeksillä (Lighting Energy Numeric Indicator) ja yksiköksi saadaan kWh/m²/vuosi. Indeksi lasketaan koko rakennukselle ja sen kiinteälle valaistukselle. Laskettaessa tulee ottaa huomioon rakennuksen kaikkien valaisimien energiankulutus (lamput ja liitäntälaitteet), myös eri ohjausjärjestelmien valmiustilan kulutus ja turvavalaisimien akkujen lataamiseen kuluva teho tulee ottaa huomioon. Näistä saatu sähköenergiankulutus jaetaan valaistujen tilojen pinta-alalla. LENI- lukua voidaan käyttää vertailulukuna valaistuksessa käytetylle energialle, joten käyttö-tarkoitukseltaan samanlaisien rakennusten energiankulutuksen vertailu helpotuu. LENI- indeksi voidaan laskea kahdella eri tavalla, pikalaskentamenetelmällä tai tarkalla laskentamenetelmällä. (Fagerhult 2008, Varsila 2008, www.fagerhult.fi)

Pikalaskentamallia käytetään silloin, kun halutaan saada vuosittainen arvio koko rakennuksen valaistuksen energiankäytöstä. Laskentamallia voidaan soveltaa vain tietyille rakennustyypeille ja standardissa onkin näille tyypeille määritetty taulukot vuosikohtaisista perustiedoista. Rakennustyypejä ovat toimistorakennukset, oppilaitokset, sairaalat, hotellit, ravintolat, urheilutilat, liiketilat sekä tuotantotilat. Pikalaskentamenetelmässä oletetaan lepokulutukselle vakioarvo 6 kWh/m² vuodessa. Tästä 1 kWh/m² vuodessa on tarkoitettu turvavalaisuudelle

ja 5 kWh/m² vuodessa ohjattavien liitäntälaitteiden stand by- tilaan kuluvalle energialle. (Fagerhult 2008, Varsila 2008, www.fagerhult.fi)

$$\text{LENI}=(W_{\text{valaistus}}/A) + 6 \text{ kWh/m}^2, \text{ vuosi} \quad (3)$$

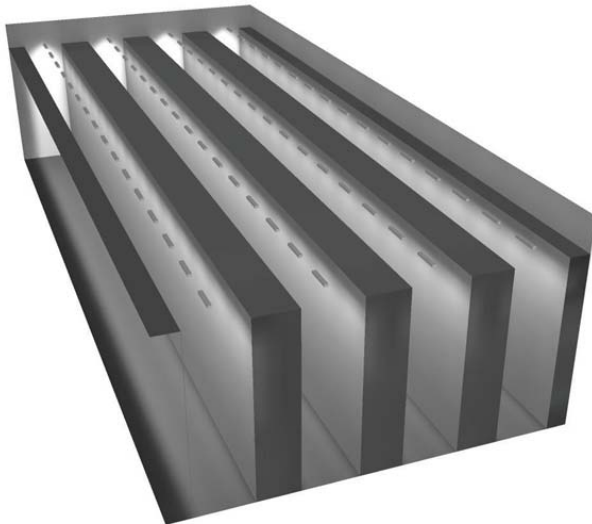
Tarkalla laskentamenetelmällä laskeminen perustuu todellisiin arvoihin ja tämän takia sillä saadaan pienempi luku kuin pikalaskentamenetelmällä. Tätä menetelmää voidaan soveltaa kaiken tyyppisiin rakennuksiin sijainnista riippumatta. Energiankäyttö voidaan laskea myös halutulle aikajaksolle, jos käyttöön saadaan tarvittavat tiedot läsnäoloista ja tilojen päivänvalon saannista. (Fagerhult 2008, Varsila 2008, www.fagerhult.fi)

$$\text{LENI}=(W_{\text{valaistus}} + W_{\text{lepokulutus}})/A \text{ kWh/m}^2, \text{ aika}^* \quad (4)$$

* Tarkassa laskentamenetelmässä voidaan käyttää vuosi-, kuukausi- tai tuntiperustetta.

4 VALAISTUS ENERGIANKULUTUSLASKELMA

Lähdettiin selvittämään erään varastorakennuksen valaistuksen sähköenergiankulutusta, johon haluttiin hieman korkeampi valaistusvoimakkuus 300 lx, kuin standardin SFS-EN 12464-1 minimi vaatimus 100lx. Tilaajalla oli myös vaatimus, että varasto täyttäisi energialuokan A kriteerit. Energiatehokkuusluokan laskeminen vaati kuitenkin sellaisia lähtötietoja mihin ei päästy käsiksi. Valaistuksen vaatimaa tehoa lähdettiin määrittämään DIALux valaistuslaskentaohjelman ja rakennusmääräyskokoelma D5:n avulla. Laskennassa haluttiin ottaa huomioon myös varaston hyllyt, jotka kuviossa 6 näkyy. Tilaan valittiin Alppiluxin Monix perheeseen kuuluva 2x80 W valaisin, joka soveltuu korkeisiin varastotiloihin (Liite 1). Ohjaus tapahtuu liiketunnistuksen avulla. Varaston valaisimia ohjataan alueittain (85 aluetta) liiketunnistimilla. Alueella, jossa ei liikettä tapahdu valaisimet ovat päällä 10- 20 % teholla. Liike havainnosta valaisimet nostavat alueen valaistustehon 100 prosenttiin, jos alueella ei tapahdu liikettä kahden tuntiin sammuvat alueen valaisimet kokonaan.



KUVIO 6. DIALux malli varasto rakennus 1126 m².

Vakioarvot	Yeismaailmallinen	CAD-ikkuna	Tulos	Tekijä	Energia-arvio	Ikkuna	Ylävalot
Laadi energia-arvio käyttäen normia:					EN 15193		
Käyttöprofiili (tärkeä standardin DIN 18599 kannalta)							
Käyttötunnit päivällä:	2543	h	Käyttötunnit yöllä:	207	h		
Valaistusvoimakkuuden huoltoarvo:	300	lx	Käyttötason korkeus:	0.80	m		
Alenemakerroin (näkötehtävän alue):	1.00		Poissaolokerroin:	0.98			
Rakennuksen valaistuksen käyttöajan osa-aikaiskerroin:	1.00		Tilaindeksi:	1.50			
Tyypillisiä käyttöprofileja:					Käyttäjän määrittelemä		
Päivänvaloa saavien alueiden automaattinen mukauttaminen							
<input checked="" type="checkbox"/> Kasvata ikkunan päivänvaloaluetta alaa, jos mahdollista. (Vain, jos alueen todellinen syvyys ei ylitä 1, 25-kertaista laskettua syvyyttä. Vrt. esim. DIN 18599-4, 5.2.2)							
<input checked="" type="checkbox"/> Koko tilan oletetaan olevan valaistu päivänvalolla, jos se saa pinta-alaansa nähden annettua prosenttimäärää enemmän päivänvaloa samantyyppisten ylävalojen kautta.							
Raja-arvo:				80	%		

KUVIO 7. DIALux laskennan lähtötiedot.

4.2 Laskennan tulokset

Kuvion 7 ja valaisimen tietojen avulla laskettiin DIALux ohjelmalla kokonaisenergian kulutus valaistukselle, joka oli 23040.00 kWh/a ja tästä saatiin määritettyä LENI- indeksi 20.45 kWh/m²/vuosi. Kuvion 8 mukaan vaatimukset 300 lx rajasta täyttyi.

Tilan korkeus: 12.000 m, Asennuskorkeus: 10.500 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:667

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	311	174	363	0.558
Lattia	20	163	12	325	0.073
Katto	70	33	23	41	0.691
Seinät (4)	50	33	1.71	780	/

Käyttötaso:

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

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	64	1 Alppilux, AM280AV (1.000)	12300	160.0
			Yhteensä: 787200	10240.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $9.09 \text{ W/m}^2 = 2.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1126.77 m^2)**KUVIO 8. DIALuxin laskentatulokset.****Energia-arvio / Yhteenveto**

Energia-arvio seuraavan normin mukaisesti: EN 15193
 Paikka: Helsinki, Pituusaste: 25.00° , Leveysaste: 60.20°

Tulokset

Kokonaisenergia Valaisu: 23040.00 kWh/a
 LENI: 20.45 kWh/(a · m²)

Kokonaisenergia Työalue: 23040.00 kWh/a
 Kokonaisenergia Loisiimiö (Kokonainen): 0.00 kWh/a
 Kokonaisenergia Loisiimiö (Valmiustila): 0.00 kWh/a
 Kokonaisenergia Loisiimiö (Hätävalaistuksen lataaminen): 0.00 kWh/a
 Kokonaispinta-ala: 1126.77 m^2

Kuukausitulokset

Kuukausi	Valaisu			Työalue			Loisiimiö		
	[kWh]	[kWh/m ²]		[kWh]	[kWh/m ²]		[kWh]	[kWh/m ²]	
Tammik.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Helmik.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Maalisk.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Huhtik.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Toukok.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Kesäk.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Heinäk.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Elok.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Syysk.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Lokak.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Marrask.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00
Jouluk.	1920.00	1.70	1.70	1920.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00

KUVIO 9. DIALuxin energia-arvio.

Vertailuksi laskettiin kulutusta myös rakennusmääräyskokoelman D5 taulukko arvojen mukaan kaavalla (2) taulukko. Kokonaisenergiankulutukseksi tuli 25576 kWh/a ja pikalaskenta menetelmällä (kaava 3) laskettiin LENI- indeksi 23,53 kWh/m²/vuosi.

TAULUKKO 3. RakMK D5 mukainen laskenta

P_{valaistus}	A_{huone}	Δt	f	W_{valaistus}
<i>W</i>	<i>m²</i>	<i>h/vuosi</i>		<i>kWh</i>
9,08	1126,7	2500	1	25576

Lopputuloksia arvioitaessa tulee ottaa huomioon, että D5:n taulukko arvot ovat noin arviota. DIALuxin ja rakennusmääräyskokoelman tulokset ovat lähellä toisiaan, koska laskuissa laskettiin vain valaisimien ottamaa tehoa eikä laskuissa ei mukaan mahdollista liiketunnistusohjausta. D5:n liiketunnistus kerroin $f=0,75$ toisin vaikutti paljon tulokseen, koska sen avulla kokonaisenergiankulutukseksi saatiin 19208 kWh/a.

Varastoon tulevalle ohjaukselle laskettiin myös kustannusarvio (Liite 2). Nykyisillä energiahinnoilla investoinnin takaisinmaksu aika on 4-8 vuotta. Aikaan vaikuttaa olennaisesti valaisimien päivittäinen käyttö-aika. Päivittäisen käyttöajan ollessa noin 12 tuntia on takaisinmaksu aika noin 5-6 vuotta. Lisäkustannus varaston liiketunnistinohjauksesta on arviolta 85 000 euroa.

5 VALAISTUKSEN OHJAUS

Ennen sähkövalaistuksen aikaa valoa pyrittiin ohjaamaan samalla tavalla kuin nykyään. Kynttilävalaistukselle oli omia himmentimiä ja suuret kaasuventtiilivivistöt, joita käytettiin kaasuvalaistuksen ohjaamiseen, kehitettiin 1800-luvulla ennen sähkövalaistuksen keksimistä. Sähkön käyttöönotto 1880-luvulla toi kaivatun helpotuksen valaistuksen ohjaamiseen. Sähkövalaistus alkoi yleistyä 1900-luvun alkupuolella ja tässä vaiheessa valon määrä ja sen käytettävyys olivat ensisijaisia. Myös valaisinmuotoilu, varjostimet ja heijastimet kiinnittävät huomion vielä tässä vaiheessa. Sähkövalaistus toi kaivatun helpotuksen myös teatterivalaistukseen, jonka tarpeista erilaiset valaistuksen ohjaustarpeet ovat lähteneet liikkeelle. (Simpson 2003)

Valaistus on tänä päivänä paljon monimutkaisempi käsite kuin ennen ja pelkkä valaiseminen ei enää välttämättä riitä. Oikein ohjatulla valaistuksella voidaan säästää energiakustannuksissa ja vaikuttaa ihmisten vireystilaan. Yksi vaativimmista käyttöympäristöistä valaistuksen ohjauksen kannalta on toimistot. Toimistotiloissa valaistukselta vaaditaan paljon, koska niissä on projekti- ja ryhmätyöpohjaisia sekä yksilökeskeiseen työskentelyyn tarkoitettuja tiloja. Samoissa tiloissa voidaan tehdä myös monia erilaisia töitä, joten valaistuksen tarve vaihtelee laidasta laitaan. Kuitenkin valaistus halutaan säätää ihanteelliseksi eri puolilla tilaa. Nykyään myös työajat saattavat olla erilaiset ja työpistekin jaettu. Kuvassa 1 ohjaus on toteutettu erilaisilla valaisimilla. Ripustetut valaisimet ovat tarkoitettu pelkästään työpisteille tuottamaan tarpeen mukaista valoa ja huoneen etu- ja takaosassa olevat kohdevalaisimet ovat valaisemassa yleistä tilaa, jossa valon tarve on pienempi. (Varsila)

Valaistusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon valaistusvoimakkuus, joka antaa suunnittelulle lähtökohdan. Standardissa SFS-EN 12464-1 on määritetty minimi valaistusvoimakkuus vaatimus tietyille tiloille esimerkiksi varastotiloille 100 lx, toimistoille 500 lx, pesutiloille 200 lx ja sairaaloiden leikkaushuoneille 5000 lx. (SFS-EN 12464-1)

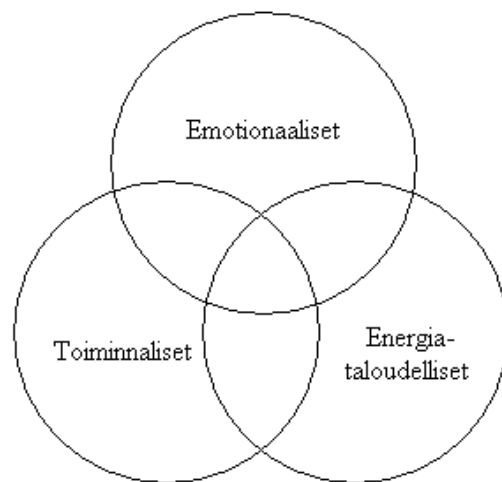


KUVA 1. Avotoimiston valaistus. (www.monstercommercial.com)

Valon värien on todettu vaikuttavan myös ihmisiin erilaisina valon ja hyvinvoinnin vuorovaikutuksesta. Erivärisillä aallonpituuksilla voidaan vaikuttaa ihmisen kortisolihormonin ja melatoniinin määrään veressä. Sinistä aallonpituutta sisältävä valo nostaa kortisolihormonia ja laskee melatoniinin määrää ja tämä vaikuttaa positiivisesti vireystilaamme. Dynaaminen valaistuksen ohjaus soveltuu tähän tarkoitukseen, joko vuorokausirytmiiä jäljitellen tai niin, että viileällä valolla lisätään vireystilaa aamulla ja ruokatunnin jälkeen ja lämpimällä valolla ohjataan elimistöä rauhoittumaan ennen ruokatuntia ja työpäivän päätteeksi. (Simpson 2003)

5.1 Valaistuksen ohjaustarpeet

Valaistuksen ohjaus antaa käyttäjälle monia erilaisia vaihtoehtoja ja mahdollisuuksia, mutta ohjaustarpeet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: toiminnallisiin, esteettisiin ja varsinkin nykypäivänä energiataloudellisiin tarpeisiin (kuvio 10). Rakentamisessa ja valaistuksessa nämä menevät osittain päällekkäin. Hallitseva tarve määrittää sopivimman ohjaustavan valaistukselle, mutta vielä tänäkin päivänä kustannustehokkuus menee energiatehokkuuden edelle ja tiloihin valitaan vääränlainen valaistus. (Varsila, Valaistuksen ohjaus)



KUVIO 10. Valaistus ohjaustarpeiden kolme pääryhmää. (Varsila, Valaistuksen ohjaus)

Hallitseva valaistus tarve esimerkiksi elokuvateatterissa voisi olla toiminnallinen, koska valoa tarvitaan ennen esityksen alkua kulkureittien ja turvallisuuden varmistamiseen ja itse esityksen aikana salin on oltava pimeä, jotta kuva valkokankaalla näkyisi mahdollisimman hyvin. Vaikka salin himmentämistä voidaan pitää esteettisenä tekijänä, on se kuitenkin toiminnallinen, sillä jos elokuvasali pimennetään nopeasti niin se voi aiheuttaa vaaratilanteen. (Varsila, Valaistuksen ohjaus)

5.1.1 Toiminnalliset tarpeet

Monista valaistustutkimuksista on tullut vuosien mittaan ilmi, että yksilöllinen valon tarve ja usein ikä ovat vaikuttavimpia tekijöitä tutkimuksissa. Toimistotyössä työskentelevälle 300 lx valaistusvoimakkuus on ollut omasta mielestään riittävä, mutta standardien mukaan toimistotilojen työpisteelle pitäisi tulla 500 lx. Tässä tapauksessa 500 lx:n valaistus tarkoittaa melkein 40 % energiahukkaa ja epäsopivaa työympäristöä (Varsila, Valaistuksen ohjaus). Toinen ääripää on, kun ihmiset ovat saaneet säätää itse valaistuksen. Tulokset ovat olleet valaistusvoimakkuudeltaan noin 2000 lx luokkaa.

Valaistuksen ohjauksella voidaan parantaa tilan käytännöllisyyttä, laatua ja mukavuutta. Videoneuvottelutilaa voidaan miettiä käytännöllisyyttä silmällä pitäen. Ohjaus suunnitellaan tilalle annettujen tietojen ja tarpeen mukaan. Valaistustilanteen tulisi olla sopiva kameran toiminnan kannalta ja kuitenkin työskentelyyn riittävä (Varsila, Valaistuksen ohjaus). Valaistuksen ohjauksella pyritään myös helpottamaan jokapäiväistä elämää. Muun muassa läsnäolo-ohjauksilla, vakiovalo-ohjauksilla yritetään poistaa valaistuksen manuaalisen säädön tarve kokonaan

Toiminnallisena tarpeena voidaan pitää myös turvallisuutta. Poissaolovalaisuksella voidaan turvata liikkuminen muun muassa sairaalan huoltokäytävillä ja rapuissa, joissa ei voi olla täysin pimeää. Ohjaus ei sammuta valaistusta kokonaan vaikka tilassa ei olisi ketään vaan valaistustaso ohjataan muutama prosenttiin. Kaikkea ohjaavaa valaistusta voidaan pitää toiminnallisena, koska se määrittää reitin, jota seurataan tai kuljetaan. Turvavalistus on myös näin ollen merkittävä osa toiminnallisia tarpeita. Rakennuksiin on suunniteltu poistumisreitit hätätilanteita varten turvavalaisuksella, jos verkkojännite katkeaa, niin turvavalistus kytkeytyy päälle ja reittiä pitkin osataan ulos rakennuksesta. (Varsila, Valaistuksen ohjaus)

5.1.2 Esteettiset tarpeet

Alun perin valaistuksen ohjaus lähti liikkeelle teatterin tarpeesta säätää valaistusta ja luoda erilaisia visuaalisia elämyksiä ja tänä päivänä teattereiden valaistuksen ohjausjärjestelmät ovatkin alan huippua. Ohjausjärjestelmät ovat lisääntyneet huomattavasti ja myös niiden käyttökohteet sen myötä. Valolla pyritään synnyttämään elämyksiä muiden aistiärsykkeiden kanssa esimerkiksi museoissa ja konserteissa. Valaistus on otettu nykyään myös huomioon arkkitehtuurissa, missä se saattaa olla iso tekijä muun muassa rakennuksien ulko-muotoa ja pintamateriaaleja suunniteltaessa. Valaistuksen avulla rakennus voidaan tuoda esiin myös pimeän aikaan. Arkkitehtuurisen valaistuksen edistys-askelena voidaan pitää uusien valaisintyyppien ja led- valolähteiden nopeaa lisääntymistä. Ledit mahdollistavat erilaiset värityilanteiden säätämiset, joita voidaan käyttää myös hyödyksi toiminnallisia tarpeita huomioon otettaessa. Valon estetiikka tulee esiin varsinkin myymälävalaistuksessa, jossa pyritään vaikuttamaan ihmisiin kiinnittämällä heidän huomio ja ohjaamalla heidän liikkumistaan. Värien korostamisella voidaan helposti kiinnittää asiakkaan huomio, kuten kuvassa 2. Ohjaus voidaan toteuttaa dynaamisesti, jolloin värejä ja tilanteita voidaan ohjata tilanteiden mukaan. (Varsila, Valaistuksen ohjaus)



KUVA 2. Myymälän valaistus urheiluvaateliikkeestä. (www.fagerhult.fi)

5.1.3 Energiataloudelliset tarpeet

Erilaisiin tiloihin valaistuksen ohjausta valittaessa kaikkia yhdistävä tarve on energiataloudellisuus. Se vaikuttaa energialuokkaan, joka rakennukselle annetaan sen vuotuisen energiakulutuksen mukaan. Taloudellisuuteen vaikuttaa ohjaus, valaisimen ja valonlähteen valinta ja se millaiseen tilaan ne tulevat. Esimerkkinä normaali toimistohuone, jossa voidaan vakiovalo-ohjauksella avulla saada 50 % ja läsnäolo-ohjauksella jopa 40 % energiasäästö. Muun muassa korkeisiin tiloihin valittaessa valaisimia tulee ottaa huomioon valaisimen huoltoväli ja valonlähteen elinikä. Ympäristö on otettu myös huomioon uusien ohjaustapojen ja laitteiden kehityksessä. Esimerkkinä mainittakoon ultraäänianturi, joka ohjaa valaistusta äänen avulla. (Varsila, Valaistuksen ohjaus)

Energiataloudellisia tarpeita voidaan tarkastella myös ympäristön näkökulmasta. Noin 90 % valaistusjärjestelmän ympäristövaikutuksista syntyy käytön aikana. Erilaisilla ohjauksilla voidaan pidentää lamppujen elinikää. Loistelamppujen käyttöikä voidaan pidentää himmentämällä niitä. Esimerkiksi uusien T5-loistelamppujen polttoikä on pidempi, joten niitä vaihdetaan harvemmin. Lisäksi T5-loistelamppujen sisältämä elohopeamäärä on pienempi kuin vanhoilla loistelampputyypeillä. Energiatehokkaiden valaisinratkaisujen kehittämisen lisäksi yritys pyrkii pienentämään energian kulutusta myös tuotannossa. Tämän päivän järkevä energiankäyttö ja energiätehokkuuden maksimointi on työtä tulevaisuuden ympäristön hyväksi. (Fagerhult 2008, Fagerhult valaisinluettelo)

5.2 Valaistuksenohjaus mahdollisuudet

Rakennuksiin on kehitetty uusia kiinteistön ohjausjärjestelmiä, joilla voidaan ohjata esimerkiksi ilmanvaihtoa ja valaistukselle on myös omansa. Uudet järjestelmät antavat laajuutta valaistuksen säädölle perinteisen päälle/pois kytkemisen sijaan. Kehittyvien järjestelmien vuoksi myös uudet valaistuksen ohjaustavat ovat tulleet mahdollisiksi. Niitä on monia ja järjestelmäkään eivät ole enää kalliita toteuttaa verrattuna vanhempiin järjestelmä vaihtoehtoihin. Kuitenkin näihin ohjausjärjestelmiin sisältyy myös omat heikkoutensa. Suurimmat vaikeudet kohdistuvat tällä hetkellä käyttäjäongelmiin ja käyttöliittymiin. Suunnittelijoiden ja käyttäjien välinen kuilu on liian iso, mitä tulee uusien järjestelmien käyt-

töön. Perinteisten manuaalisten päälle/pois kytkimien ja himmentimien rinnalle on tullut lukuisia vaihtoehtoja. (Varsila, Valaistuksen ohjaus)

Hämäräkytkin on kytkin, joka sytyttää tai sammuttaa valot päivänvalon mukaan, kun päivä alkaa hämärtyä sytyttää kytkin valot ja kun aamu sarastaa kytkin sammuttaa valot. Tällainen ohjaus sopii hyvin ulkotiloihin.

Läsnäolo-ohjaus sytyttää valot automaattisesti tilassa, jossa on joku paikalla. Sammuttaminen tapahtuu automaattisesti säädettävän viiveen jälkeen, kun henkilö on poistunut tilasta. Läsnäolotunnistus tapahtuu lämpösäteilyn, äänen, ultraäänisignaalin tai mikroaaltojen avulla. Sisävalaistusta asettaa vielä omat haasteet ilmaisimelle, koska sen tulee rekisteröidä pienimmätkin liikkeet. Kun samaan laitteeseen yhdistetään vielä vakiovalonsäätö ja kauko-ohjaus mahdollisuus niin siitä tulee multisensori. Läsnäolo-ohjauksella voidaan nykyään ohjata valaistusta hyvin yksityiskohtaisesti. Kuvassa 3 valaistuksen ohjaus on toteutettu läsnäolo-ohjauksella, kun käytävällä ei ole liikettä niin ohjaus laskee valaistuksen tasoa käytävällä ja huoneen puolella liikkeen tunnistuksen avulla ohjaus nostaa valaistustason maksimiin.



KUVA 3. Läsnäolo-ohjauksella toteutettu toimisto valaistus. (Licht.de)

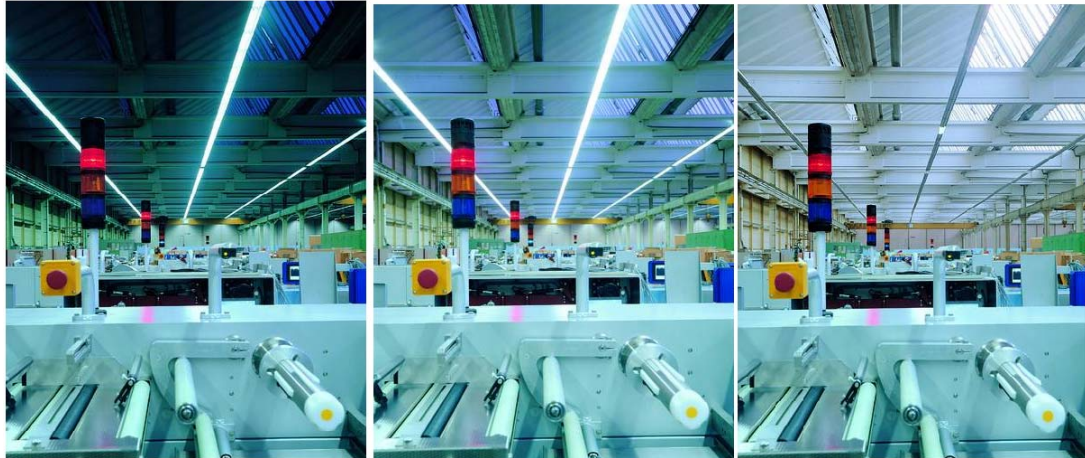
Poissaolo-ohjaus toimii läsnäolo-ohjauksen tavoin, mutta valojen sytyttämiseen tarvitaan manuaalinen kytkin ja valot sammuvat viimeisen läsnäolohavainnon jälkeen automaattisesti. Tällä ohjauksella voidaan saada vielä hieman suurempi säästö kuin läsnäolo-ohjauksella.

Poissaolovalaistus säättää valaistusta halutulla välillä eikä valoja sammuteta missään vaiheessa. Valaistus säätyy 10 %:iin, kun tilasta ei saada liikehavaintoja ja näin sähköenergiaa ei kulu turhaan. Kun tilasta saadaan liikehavainto, valaistus säätyy takaisin 100 %:iin. Tällä tavoin voidaan esimerkiksi täyttää tilan toiminnalliset tarpeet, jolloin tilassa on valmiiksi tietty valaistuksen perustaso. Poissaolovalaistus sopii hyvin tiloihin, joissa on paljon liikettä, koska loistelampun säätäminen ei lyhennä sen elinikää.

Monikanavainen ohjaus mahdollistaa useampien valaisinryhmien säätämisen yhdestä tai useammasta pisteestä ja ohjauskanavia voi olla yhdestä moneen kymmeneen. Järjestelmä on kehittyneempi versio perinteisestä valonsäätimestä.

Tilanneohjaus on yksi valaistuksenohjausjärjestelmien tärkeimmistä eduista, koska se mahdollistaa erilaisten valaistustilanteiden tallentamisen järjestelmän muistiin ja tilanteita voidaan käyttää painamalla yhtä näppäintä tai kykintä ja tämän jälkeen ohjausjärjestelmä säättää automaattisesti valaistuksen haluttuun valaistustasoon, joka on ohjelmoitu valmiiksi.

Vakiovalo-ohjaus ohjaa valaistusta sisään tulevan päivänvalon mukaan valoanturin avulla ja pitää tilan valaistustason vakiona. Ohjauksella saadaan noin 10- 15 % säästöt, koska se kompensoi alenemakertoimesta johtuvan ylikuormituksen. Kuten kuvasta 4 näkyy ohjaus pitää valaistustason vakion päivä- ja yöaikaan.



KUVA 4. Teollisuus hallin valaistus toteutettuna vakiovalo-ohjauksella.
(Licht.de)

Kello-ohjaus voidaan ohjelmoida sytyttämään ja sammuttamaan valot haluttuun kellon aikaan. Kellokytkimeen voidaan ohjelmoida useita ohjelmia, päivä tai viikkokohtaisesti. Kytkimellä ohjataan tavallisesti ulkovalaistusta, jonka ei tarvitse olla päällä yö aikaan.

Porrasvaloautomaatti ohjaus perustuu rele ja kello-ohjauksen yhdistelmälle. Painiketta painaessa valot syttyvät ja sammuvat automaattisesti tietyn ajan kulluttua. Aika voidaan ohjelmoida ja yleensä on noin minuutin luokkaa, mutta on olemassa automaatteja, joilla pystytään tunnin poiskytkentä aikaan. (Varsila, Valaistuksen ohjaus)

5.3 Valaistuksen ohjauksien energiatehokkuustutkimus

Vuonna 2006 Teknillisessä korkeakoulussa suoritettiin tutkimus, jossa vertailtiin eri valaistuksen ohjausten energiankulutusta. Tutkimus otettiin tukemaan teoriaa siitä, kuinka paljon oikeanlaisella valaistuksella ja sen ohjauksella pystytään säästämään energiankulutuksen kustannuksissa. (Bhusal 2009)

Kuviossa 11 nähdään virran kulutus ajan jaksena ja kuinka paljon ohjauksella voidaan säästää. Huoneessa G435 valaistus on päällä kokopäivän ja on ohjattavissa vain manuaalisella päälle/pois kytkimellä. Huoneessa G437 huoneeseen asennettu valaistuksen ohjausjärjestelmä säättää valaistusta vakiovalon ja

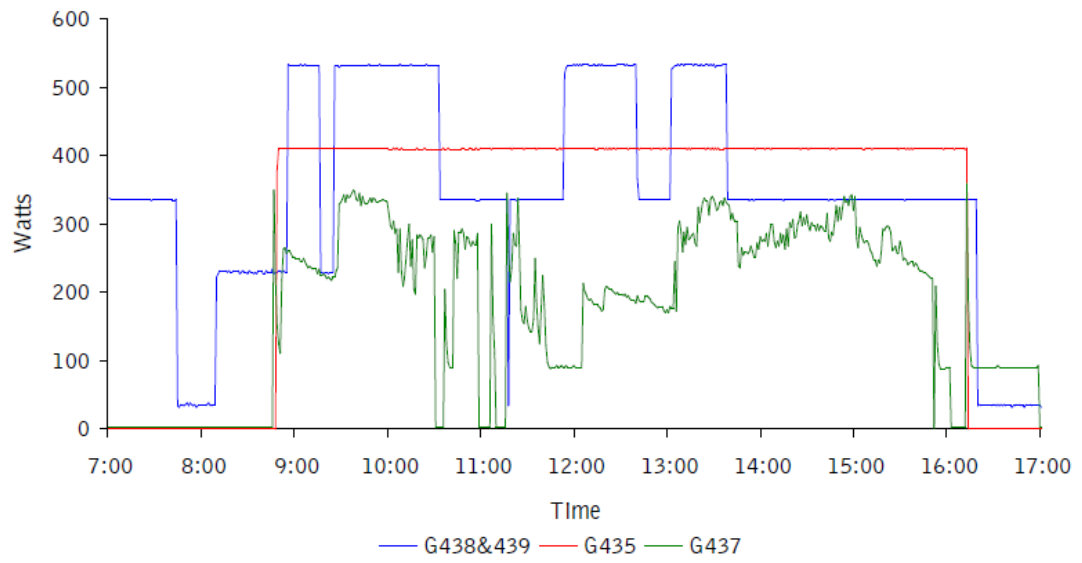
läsnäolon mukaan. Käyttäjällä on myös mahdollisuus ohjata valaistusta manuaalisella himmentimellä ja kytkimellä. Mitatut tulokset osoittavat, että huoneen G437 energiankulutus on yli kolmanneksen pienempi, kuin huoneen G435. Keskimääräinen energiansäästö huoneessa, jossa oli läsnäolo- ja päivänvalo-ohjaus G437 oli noin 40 % ja huoneessa jossa oli läsnäolo-ohjaus ja manuaalinen kytkin ja himmennys säästö oli noin 20 %. (Bhusal 2009)

TAULUKKO 4. Valaistusjärjestelmä kuvaukset tutkittavasta toimistorakennuksesta. (Bhusal 2009)

Huone	Pinta-ala m ²	Valaisimet	Ohjaus mentelmä	Ikkunan suunta ja koko	Varjostin
G435	26,3	4 valaisinta, kolmella T5 28W lampulla	Manuaalinen päälle/pois kytkin	Länteen 5.76 m ²	Sälekaihtimet
G473	22,4	4 valaisinta, kolmella T5 28W lampulla	Läsnäolo- ja vakiovalo-ohjaus, manuaalinen himmennys ja päälle/pois kytkin	Etelään 7.63 m ²	Laser leikattu varjostin ikkunan ylösosassa ja liukuverho alaosassa
G438	22,9	4 valaisinta, kolmella T5 28W lampulla	Läsnäolo-ohjaus ja manuaalinen himmennys ja päälle/pois kytkin	Etelään 7,7 m ² ja Itään 1,88 m ²	Laser leikattu varjostin ja liukuverho
G439	14,3	2 valaisinta, kolmella T5 35W lampulla	Läsnäolo-ohjaus ja manuaalinen himmennys ja päälle/pois kytkin	Itä 3,73 m ²	Sälekaihtimet

TAULUKKO 5. Valaistuksen, häikäisyn, valoteho ja valaistuksen energiaindexeitin mitatut arvot. (Bhusal 2009)

Huone	Keskimääräinen valaistus (lx)		UGR	Valoteho W/m ²	Energiatehokkuus kWh/m ²
	Työtaso	Lattia			
G435	575	380	11	14,1	33
G437	665	390	16,4	16,9	20
G438, G439	704	501	11,5	16,3	24



KUVIO 11. Virran kulutuksen käyrät huoneille G435, G437 ja G438. (Bhusal 2009)

6 VALAISTUKSEN OHJAUSJÄRJESTELMÄT

Viimeisen 20 vuoden aikana valaistustekniikka on mennyt eteenpäin suurin harppauksin. Elektroniikan tulo mukaan ohjauksiin mullisti järjestelmät täysin. Sen mahdollisuudet vahvistaa signaalia ja yksinkertainen tapa eristää sähköä mahdollistivat sen, että ohjauslaitteet olivat pieniä. Ensimmäiset elektroniset ohjaukset toteutettiin kuitenkin yksinkertaisilla sähköverkoilla, yksi johto per ohjaus-kanava. Mikroelektroniikan ja mikroprosessorien tulo oli seuraava suuri askel valaistuksen ohjausjärjestelmien maailmassa. Ne mahdollistivat monimutkaisemmat ja joustavammat järjestelmät. Tämä johti siihen, että järjestelmissä saattoi olla muisti ominaisuus ja signaalin kanavointi oli mahdollista. (DALI AG 2001, Fagerhult 2008)

1990-luvulla tulivat digitaaliset järjestelmät kuten DSI (Digital Serial Interface) ja DALI (Digital Addressable Lighting Interface), jotka olivat tarkoitettu loistelamppujen ohjausta varten. Myös lamppujen saralla tuli uudistuksia, 1995 ensimmäiset T5-loistelamppuvalaisimet julkistettiin Hannoverin messuilla samaan aikaan itse lamppujen kanssa. Tämän myötä tuli mahdollisuus kehittää tehokkaampia heijastimia ja häikäisysuojia Valaisimiin kuuluvien komponenttien, kuten valonlähteiden, liitäntälaitteiden ja heijastinmateriaalien ominaisuudet ovat kehittyneet, samoin kuin tietämys tehokkaasta valon hallinnasta. (DALI AG 2001, Fagerhult 2008)

6.1 Analogiset ohjaukset

Analogiset ohjaimet ovat yksinkertaisin tapa kaukosäätää loisteputkivalaistusta. Aluksi ohjauksessa käytettiin monia eri jännite tasoja, koska tietyllä jännitteellä voitiin ohjata erilaisia laitteita. Vuosien saatossa viihdeteollisuus siirtyi hiljalleen käyttämään 0-10 V omana ”standardinaan”. Alun perin 0-10 V ohjaukselle ei ollut edes omaa IEC standardia vaan Amerikkalainen ESTA määrittä sen omaksi protokollakseen. Myöhemmin siirryttiin 1-10 V ohjaukseen josta tehtiin oma standardi IEC60929, koska 10 V ohjaus oli tarpeeksi pieni ollakseen turvallinen ja kuitenkin tarpeeksi iso välttämään häiritsevää signaali kohinaa. Signaali oli

myös helppo skaalata, koska 100 % signaalista tarkoitti 10 V. (DALI AG 2001, Fagerhult 2008, Simpson 2003)

6.1.1 1-10V ohjaus

Suurin osa loisteputkia ohjaavista liitälaitteista on toteutettu standardin EN 60929 mukaan niin, että niitä ohjataan 1-10 V tasajännitesignaalilla. Pelkkä potentiometrikin riittää ohjaimeksi, koska liitälaitte muodostaa tarvittavan ohjausvirran. Suurin ongelma tässä ohjauksessa on varmasti se, että ohjausvirtapiirin pituus vaikuttaa valaisimien kirkkauteen ja ongelma tulee varsinkin silloin, kun toisen piirin kaapelointi on pidempi kuin toisen. (DALI AG 2001, Fagerhult 2008, Simpson 2003)

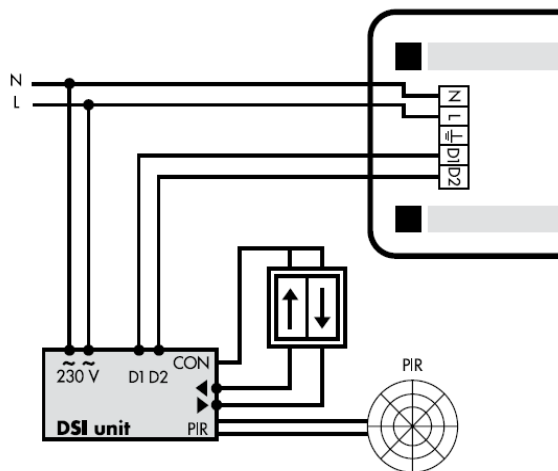
6.2 Digitaaliset ohjaukset

6.2.1 DSI

DSI (Digital Serial Interface) on Tridonic ATCO– yhtiön kehittämä digitaalinen valaistuksen ohjausjärjestelmä, jolla pystyttiin ohjaamaan loisteputkilamppujen elektronisia liitälaitteita. Se oli tarkoitettu alun perin loistelamppujen ohjaukseen. Analogisen edeltäjänsä, 1-10V tapaan se on erittäin yksinkertainen ja helppo toteuttaa. Ohjaus tapahtuu osoitteettomalla digitaalisignaalilla, minkä takia valaisin ryhmitys pitää tehdä johdotuksen avulla. Osoitteettomuus tarkoittaa myös sitä, että monikanavaisessa ohjauksessa jokaiselle kanavalle tulee oma ohjausvirtapiiri ohjaimelta valaisimelle. Ohjaus mahdollistaa eri tehoisten valaisimien säädön samassa piirissä, koska liitälaitteisiin on ohjelmoitu silmän herkkyyttä vastaava korjaus. (Fagerhult valaisinluettelo)

DSI- ohjauksella on vielä tänäkin päivänä kysyntää sen hyvien ominaisuuksien takia ja usein eri valmistajilta löytyy laajavalikoima DSI laitteita. Koska ohjauslaitteilla ei ole napaisuutta, se vähentää asennusvirheiden määrää ja se myös yksinkertaistaa asentamista. Digitaalisignaalin takia valaistuspiirin pituudella ei ole väliä. Myös ohjaus voidaan toteuttaa yksinkertaisesti 1-kytkimellä, jolloin

valaistus ohjautuu pitkällä painalluksella ylöspäin ja toisella painalluksella alaspäin. (Fagerhult valaisinluettelo)



KUVIO 12. DSI ohjaus kytkentä, liiketunnistimella ja ylös/alas kytkimellä. (www.fagerhult.fi)

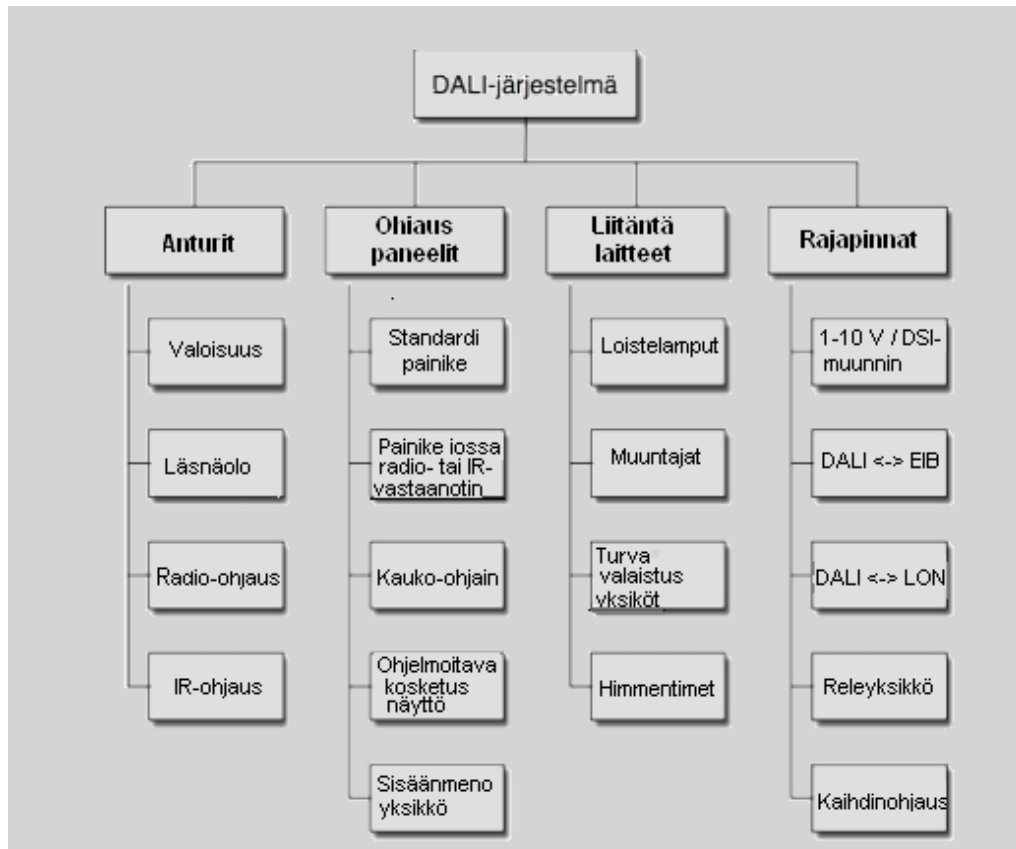
6.2.2 DALI

Analoginen 1-10V ohjaus järjestelmä on yleisin standardi himmennettävillä elektronisilla liitäntälaitteilla tänä päivänä. DALI järjestelmästä on suunniteltu uutta standardia 1-10 V järjestelmän tilalle sen yksinkertaisuuden ja joustavuuden takia ja vähitellen se tulee syrjäyttämään analogisen järjestelmän. DALI lyhenne tulee sanoista "Digital Addressable Lighting Interface". Sen on maailman-laajuisesti standardoitu IEC 929 -standardin mukaisesti jolla varmistetaan erilaisten himmennettävien liitäntä laitteiden yhteensopivuus eri laitevalmistajilta. Standardi ei kuitenkaan koske kuin digitaalisia liitäntälaitteita. DALI on ihanteellinen, yksinkertaistettu, digitaalinen kommunikointi tapa, joka on räätälöity nykypäivän valaistusteknologiaa silmälläpitäen. DALI on älykäs valaistuksen säätöjärjestelmä ja se voidaan liittää osaksi muita rakennusautomaatiojärjestelmiä. (DALI AG 2001)

DALI järjestelmä

Alun perin DALI- järjestelmä suunniteltiin loistelamppujen ohjaukseen ja että jokaista liitäntälaitetta voidaan ohjata yksilöllisesti. Nykyään on myös mahdollista liittää järjestelmää muita lampputyyppejä. Järjestelmä toiminta perustuu valaisimien ohjattaviin elektronisiin liitäntälaitteisiin, jotka ovat kytketty yksinkertaisella johdinparilla ohjauslaitteisiin. Järjestelmä mahdollistaa kaksiosuuntaisen digitaalisen signaalin liikkumisen kaikkien järjestelmään kuuluvien laitteiden välillä. Näin saadaan välitettyä tila- ja virhetietoja ohjausjärjestelmälle. Erillistä keskusyksikköä ei tarvita, koska kaikki informaatio tallennetaan liitäntälaitteisiin. Jotta ohjelma toimisi oikein, tallennetaan yksilöllinen osoite, ryhmätunnukset, valaistustilanteen asetusarvot, häivytyssajat ja valaistusarvo syttymishetkellä, liitäntälaitteisiin. Elektroniset liitäntälaitteet, ohjauspaneelit, anturit ja ohjelmointilaitteet liitetään sarjaan samaan väylään. (DALI AG 2001)

Valaisimeen tuodaan vaihe-, nolla- ja suojajohtimen lisäksi digitaaliväylän kaksi johdinta, jotka välittävät noin 16 V digitaalisen signaalin ja järjestelmän enimmäisvirta on rajoitettu 250 mA:iin, jotta vältettäisiin turhat ylikuormituksen mahdollisuudet. Myös eri liitäntälaitteiden virrankulutus on rajoitettu 2 mA:iin, joten yhteen järjestelmään voidaan kytkeä 125 laitetta (DALI AG 2001). Kuviossa 13 nähdään erilaisia oheislaitteita, joita voidaan DALI- järjestelmään kytkeä.



KUVIO 13. DALI- järjestelmän oheislaitteet (DALI AG 2001, muokattu)

DALIn etuja

DALI- järjestelmä on syrjäyttämässä 1-10V standardia. Seuraavassa muutamia teknisiä etuja:

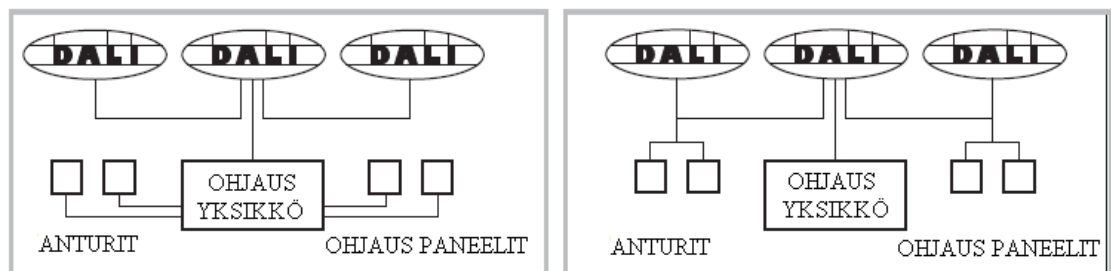
- 64 osoitteen avulla voidaan ohjata eri valaisimia tai liitäntälaitteita samassa ohjausväylässä
- Järjestelmässä voidaan muodostaa jopa 16 eri ryhmä
- Tilanneohjaus mahdollistaa 16 erilaisen valaistustilanteen luomisen tarpeiden mukaan
- Yksinkertaiset ohjauskaapelit joiden ansiosta ohjausväylällä ei ole napaisuutta ja tämä vähentää kytkentävirheitä
- Samaan järjestelmään voidaan liittää eri valmistajien liitäntälaitteita, mutta ohjauslaitteiden tulee olla saman valmistajan
- Säädöillä voidaan kompensoida silmän logaritminen toiminta eli säätövaikutelma saadaan tasaiseksi

- Huolimatta ohjausvirtapiirin pituudesta ohjaussignaali välittyy samanlaisena kaikille valaisimille
- Ohjaussignaali voi kulkea saman kaapelivaipan sisällä, kuin verkkojännitteiset johtimet, koska digitaalinen ohjaussignaali eli ole herkkä muista johtimista siirtyville häiriöille
- Voidaan liittää osaksi muuta kiinteistöautomaatio järjestelmää (Lonworks, EIB ja KNX) käyttämällä järjestelmäkohtaisia sovitin reitittämiä.

Myös joitakin huomioitavia seikkoja on:

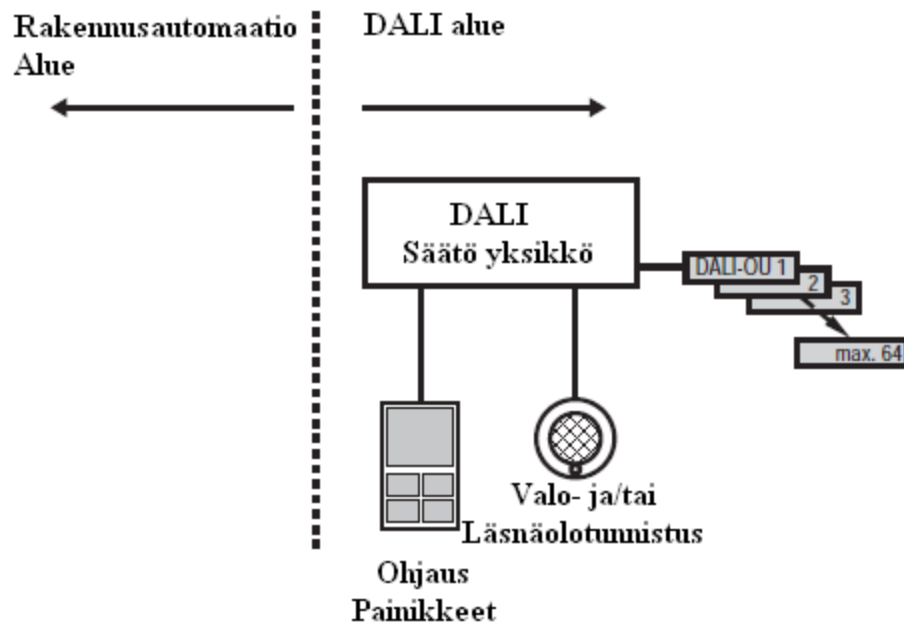
- Aina ennen käyttöönottoa järjestelmä tulee kuitenkin ohjelmoida ohjauspainikkeilla, kaukosäätimellä tai tietokoneella
- Eri valmistajien laitteet poikkeavat jonkin verran toisistaan ja tästä johtuen ne ohjelmoidaan eri tavalla
- Ainoastaan liitäntälaitteiden ja ohjaimien rajapinta on standardoitu eli samassa järjestelmässä ei voi käyttää eri valmistajien ohjaimia. (DALI AG 2001)

DALI- järjestelmällä on kaksi kytkentätapaa (kuvio 14). Ensimmäinen tapa on liittää anturit ja ohjauspaneelit suoraan ohjausyksikköön. Tämä helpottaa eri komponenttien käyttämistä. Toinen tapa on yhdistää anturit ja ohjauspaneelit DALI kaapeleilla ohjauskeskukseen, jolloin ylimääräisiltä kaapeleilta vältytään.



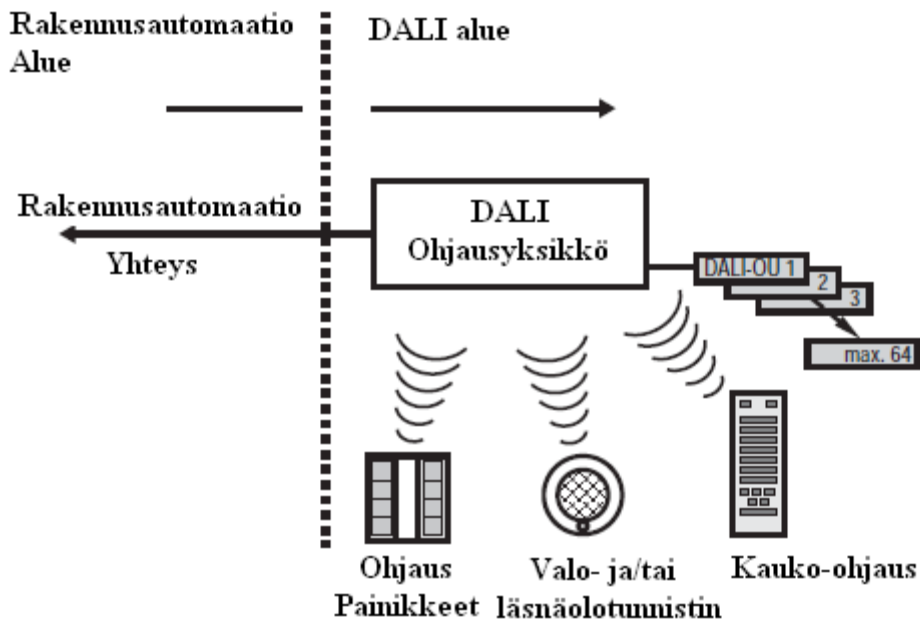
KUVIO 14. DALI- järjestelmän kytkentä vaihtoehdot (DALI AG 2001, muokattu)

DALI- järjestelmä voidaan kytkeä itsenäisenä järjestelmänä (kuvio 15), jolloin se ei ole yhteydessä muihin kiinteistöautomaation osiin. Kaikki ohjaimet ovat kytkettyinä ohjausyksikköön analogisesti tai digitaalisesti.



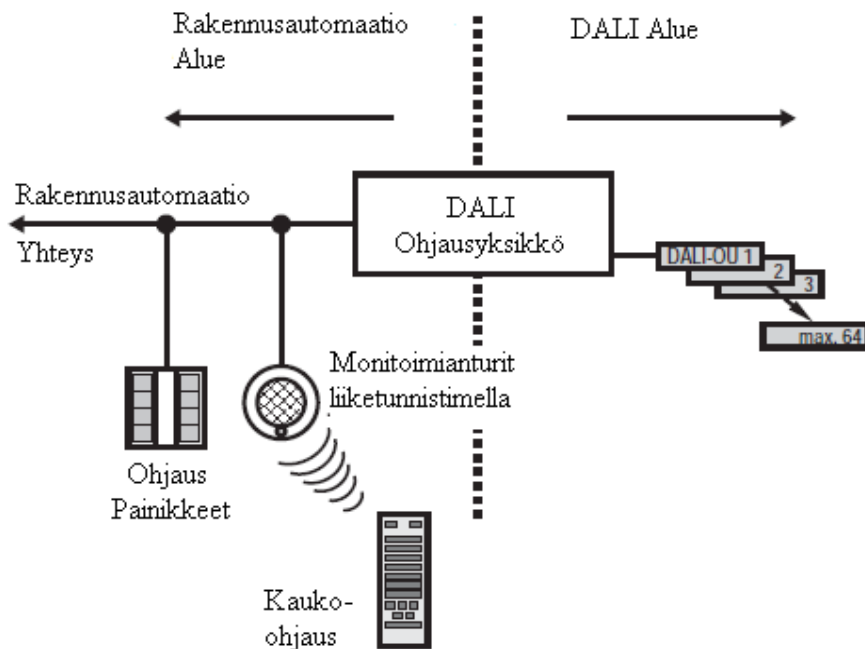
KUVIO 15. DALI itsenäisenä järjestelmänä. (DALI AG 2001, muokattu).

DALI voidaan myös kytkeä itsenäisenä alijärjestelmänä osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää (kuvio 16), mutta vain tärkein informaatio välittyy automaatiojärjestelmälle, kuten vikailmoitukset ja pääkytkentä toiminnot. Anturit, ohjainlaitteet, ohjelmoitavat yksiköt ja kauko-ohjaimet voidaan kytkeä normaalisti ohjainyksikköön langallisesti tai langattomasti. Tätä järjestelmää voidaan myös käyttää ilman rakennusautomaatiojärjestelmää. (DALI AG 2001)



KUVIO 16. DALI itsenäisenä alijärjestelmänä rakennusautomaatiojärjestelmässä (DALI AG 2001, muokattu).

Kolmas vaihtoehto on asentaa DALI alijärjestelmänä rakennusautomaatiojärjestelmään (kuvio 17).



KUVIO 17. DALI alijärjestelmänä rakennusautomaatiojärjestelmässä. (DALI AG 2001, muokattu)

7 YHTEENVETO

Valaistuksen ohjauksen alkuperäinen idea tuli työskennellessä Insinööri-toimisto Lausamo Oy:llä. Työtä haluttiin kuitenkin rajata ohjauksien tarkasteluun energiatehokkuuden näkökulmasta. Aihe oli haastava, kokoajan uudistuvien standardien ja määräysten vuoksi. Mielenkiintoa piti yllä kiinnostus valaistuksen ohjauksiin ja siihen tarvittaviin järjestelmiin ja huoli ympäristön tulevaisuudesta. Työn edetessä selvisi, kuinka vakavasta ongelmasta ilmansaasteiden suuressa kasvussa on kyse.

Energiantehokkuus on käsitteenä monelle tuttu, mutta harvempi tietää mitä sillä oikeasti tarkoitetaan. Työn tavoitteessa avata käsitettä ja miten sitä voidaan käyttää hyväksi nykyrakentamisessa ja uusien kiinteistön-ohjausjärjestelmien kehityksessä onnistuttiin hyvin. Rakennuksissa energiatehokkuus koostuu monesta tekijästä ja uusilla ohjausjärjestelmillä ja ohjausperiaatteilla pyritään tehokkaampaan sähköenergian käyttöön. Suurimmista sähköenergian kuluttajista on valaistus, jonka energiatehokkuuteen on panostettu jo paljon.

Opinnäytetyö opetti paljon valaistuksen ohjaamisesta, ohjaus- järjestelmistä ja niiden potentiaalista pienentää sähköenergiankulutusta rakennuksissa. Varsinkin ohjaustavoilla voidaan vaikuttaa energiatehokkuuteen ja energiansäästöön paljon. Uudet innovaatiot ja järjestelmät ajavat valaistus-alaa nyt kovaa vauhtia eteenpäin.

Työn tärkeä tukipilari oli valaistuksen ohjauksien energiatehokkuus tutkimus. Se osoittaa uusien ohjausmenetelmien tehokkuuden, huolimatta siitä, että hankintakustannukset saattavat olla hieman kalliimpia kuin yksinkertaisemmilla menetelmillä.

LÄHTEET

Bhusal Pramod, Väitöskirja, Energy-efficient electric lighting for buildings in developed and developing countries, 2009

DALI AG, Digital Addressable Lighting Interface Activity Group, 2001, luettu 20.12.2010.

http://www.dali-ag.org/c/manual_gb.pdf

Energiatehokas valaistus

http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas_valaistus.pdf

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/eu, 2010

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF>

Fagerhult, valaistuskalkulaattori, luettu 10.3.2011

www.fagerhult.fi

Fagerhult, Valaistuksen Energiatehokkuus – direktiivi 2002/91/EY ja standardi EN 15193-1, 2008, luettu 8.1.2010,

<http://www.fagerhult.fi/planering/energi/energidirektiv.pdf>

Fagerhult valaisinluettelo 2009-2010

Lighting control – technology and applications. Robert s. Simpsons

Focal Press, Italy, 2003

Lehtonen, Matti; Heine, Pirjo; Kallonen, Milla; Lähdetie, Artturi; Tapper, Jan; Vitie, Matias; Koski, Pertti; Elväs, Saara; Rautiainen, Kimmo; Husu, Timo; Silvast, Antti; 2007, IT-sovellukset ja energiatehokkuuden kehittäminen, Helsinki University of Technology publications in Power Systems and High Voltage Engineering TTK-SVSJ-5, Espoo, ISBN 978-951-22-8835-9, ISSN 1795-519X

Motiva, Energiatodistus, 2011, luettu 1.3.2011

www.motiva.fi

NCC asunnot, luettu 23.4.2011

www.ncc.fi

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, SFS-EN 12464-1, Valo ja valaistus, luettu 30.1.2011

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, SFS-EN 15193 Rakennusten energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus, 2007, luettu 25.1.2011

Suomen valoteknillinen, Valaistushankintojen energiatehokkuus, 2008, luettu 3.3.2011

www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf

Sitra, Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt, 2010, luettu 2.2.2011

http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/sitran_selvityksia_39.pdf

Sormunen Piia, Insinööritoimisto Olof Granlund, Talotekniikka ja Energiatehokkuus, luettu 30.2.2011

http://arkkitehtuuri.tkk.fi/oppituolit/ro/opintojaksot/Talotekniikka%20ja%20energia_TENTTI.pdf

Suomen Valoteknillinen Seura, Energiatehokas valaistus

http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas_valaistus.pdf

Varsila Markku, KTinterior Oy, luettu 10.1.2011

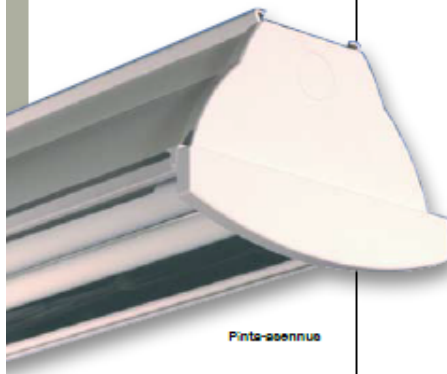
<http://www.ktinterior.fi/luettelot/ValaistuksenOhjaus>

Varsila Markku, Suomen Valoteknillinen Seura, Valaistus osana rakennusten energiatehokkuutta, Valo lehti 1-2/2008, 2008

Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, Rakennetun ympäristön osasto, Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet, 2010, luettu 6.2.2011

Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma D5, Rakennetun ympäristön osasto, Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet, 2010, luettu 31.1.2011

TEOLLISUUS

Monix IP23

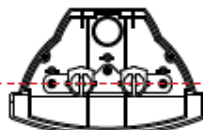
Pinta-asennus



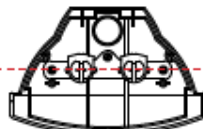
AMPL peitelevy



AV heijastin

Monix, putkikonjittimien asento

Laajasäteilevä (A) Asento 1

Keskisäteilevä (AL)
Syväsäteilevä (AV)
Asento 2

Kuivien ja kosteiden tilojen tehokas runkovalaisin. Monikäyttöinen valaisinsarja teollisuuden tuotanto- ja varastotilojen sekä myymälöiden yleisvalaistukseen.

Rakenne

- Runko maalattua alumiiniprofiilia
- Päädyt ABS-muovia
- -N tuotekoodissa tarkoittaa yksittäispakattua tuotetta

Heijastin

- Laajasäteilevä optiikka, kiiltoelokoitua alumiinia = A (3-6 m)
- Keskisäteilevä optiikka, kiiltoelokoitua alumiinia = AL (6-10m)
- Laajasäteilevä ja keskisäteilevä optiikka saadaan samalla heijastimella lampunpittimien asentoa muuttamalla
- Syväsäteilevä varastoheijastin kiiltoelokoitua alumiinia = AV (yli 10 m)

Teho

- 28W, 35W, 49W, 54W, 80W (G5)

Väri

- Valkoinen

Asennus

- Pinta- tai uppoasennus
- Ripustuskiskoon 70 mm (AMJK2) ja 110 mm (AMJK3)
- Vaijeriripustus (AMJK1 + PRV21500)
- Erikseen tilattavissa asennusta helpottava teräksinen jousikiinnike (AMJK1, AMJK2 tai AMJK3). Jousikiinnikkeet saatavana myös valkoisena.
- Uppoasennus ilman lisäosia, upotussyvyys 70 mm
- Asennustarvikkeiden tarkemmat tiedot (ks. taulukko)

Kytkeäntä

- Kytkeäntäpiste valaisimen keskellä
- Johtoaukot 2 kpl valaisimen pohjassa, 21 mm
- Päädyissä murtoaihiot, 21 mm
- 5x2,5mm² liitin, soveltuu 3-vaihe ketjutukseen

Lisätarvikkeet

- Ohjattava elektroninen liitäntälaitte ELD ohjaus 1-10 V, muut ohjaustavat kysyttäessä
- Kupu lisäämällä saadaan Monix IP44, pl. 80W mallit
- Putkenpittimet voidaan peittää lisäosalla: AMPL, päädyn peitelevy

LIITE 2

MÄÄRÄT	YKSIKKÖ	MUUTOS PERUSTASOON
85	kpl	Ohjattua käytävävalaistusryhmää
100	kpl	Tasonsäädin NV-2T ajastimella (70 aluetta 1 ohjaimella ja 15 aluetta 2 ohjaimella)
18	kpl	12 V power, EXE-2000 (2 kpl / keskus)
9	kpl	Keskus RK-XX kasvaa leveyttä n.800 mm (100 mod)
170	kpl	Liiketunnistimia, (Nylund PD2200+linssi nro17+yleisjalusta BR-1) (2 tunnistinta / alue)
8	kpl	Liiketunnistimia, (Nylund PD4-M-DIM-AP) pientavarahyllyt 8 omaa aluetta
8	kpl	Liiketunnistimia, (Nylund PD4-S-DIM-AP) pientavarahyllyt 8 omaa aluetta
9300	m	KLM 4*0,8 liiketutkilta keskukselle 50 m/tunnistin
5950	m	5*2,5S valaisimelta keskukselle (1-10 V), Muuten kaapelit olisivat 3x2,5S 70 m/ohjattu käytävä