

Esapekka Turunen

Valaistuksenohjaustavat ja -järjestelmät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinööriytyö

11.5.2014

Tekijä Otsikko	Esapekka Turunen Valaistuksenohjaustavat ja -järjestelmät
Sivumäärä Aika	36 sivua + 1 liite 11.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	tuotepäällikkö Esa Kuusela lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Tämä insinöörityö tehtiin valaistuksen projektimyyntitiimille. Työssä tutkittiin eri valaistuksenohjausjärjestelmien toiminnallisuuksia sekä energiansäästöpotentiaaleja. Näistä tiedoista koottiin opas valaistuksen myyntityön parissa toimiville henkilöille.</p> <p>Merkittävä osa rakennusten energiankulutuksesta, keskimäärin noin 30 %, koostuu valaistuksesta. Tämän takia valaistuksen energiatehokkuuteen kiinnitetäänkin entistä enemmän huomiota.</p> <p>Hyvä valaistus on energiatehokkuuden lisäksi käytännöllistä ja esteettistä. Sen tulee sopia ympäristöönsä, toimia teknisesti hyvin, olla kokonaistaloudellista sekä ympäristöystävällistä. Nykyisillä valaistuksenohjausjärjestelmillä voidaankin parantaa valaistuksen laatua ja muokattavuutta. Ohjauksen avulla keinovaloa saadaan suunnattua tarvittava määrä haluttuun paikkaan oikea-aikaisesti, jolloin säästyy myös energiaa.</p> <p>Valonlähteiden ja erityisesti LED-tekniikan kehitys vaikuttavat osaltaan valaistuksessa saavutettavaan energiansäästöön. Tässä työssä on käsitelty valaistuksessa tavoiteltavaa energiansäästöä pääasiassa ohjausjärjestelmien näkökulmasta.</p>	
Avainsanat	valaistus, valaistuksen ohjaus, DALI, energiatehokkuus

Author Title	Esapekka Turunen Lighting Control Solutions and Systems
Number of Pages Date	36 pages + 1 appendice 11 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Esa Kuusela, Product Manager Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>This thesis was made for lighting project sales team. The objective of this thesis was to research different functionalities of lighting control systems and energy saving potentials. The outcome of this thesis is a guide book for sales personnel.</p> <p>Almost 30 % of the energy consumption of buildings consists of lighting. For that reason it is reasonable to pay more attention to lighting energy consumption.</p> <p>Well-designed lighting system is energy efficient and also functional and esthetical. It should fit into its surroundings, function technically well and also it should be environmentally friendly. Current lighting control systems enable higher quality of lighting and better customization. With lighting control systems one can also adjust the amount of light to a best possible level when and where it is needed which helps to save energy.</p> <p>The constant development of light sources and especially light-emitting diodes is also a significant factor in energy savings nowadays. This thesis mainly concentrates on the energy savings gained from lighting control systems.</p>	
Keywords	lighting, lighting controls, energy efficiency

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valaistussuunnittelu	2
2.1	Valaistuksen toiminnalliset vaatimukset	2
2.2	Valaistuksen laadulliset vaatimukset	2
2.2.1	Valaistusvoimakkuus	2
2.2.2	Luminanssisuhteet	3
2.2.3	Värintoisto-ominaisuudet	3
2.2.4	Häikäisysojous	4
2.2.5	Valaistuksen alenemakerroin	6
2.3	Valonlähteet	7
2.4	Energiatehokas valaistus	9
2.5	LENI-luku	10
2.5.1	LENI-luku ja valaistuksen energiankulutus	10
2.5.2	LENI-luvun pikalaskentamenetelmä	10
2.5.3	LENI-luvun tarkka laskentamenetelmä	11
3	Valaistuksen ohjaus	12
3.1	Valaistuksen ohjauksen edut	12
3.2	Valaistuksenohjaustavat	12
3.2.1	Paikallisojous	12
3.2.2	Monipisteohjaus	13
3.2.3	Läsnäolo-ohjaus	13
3.2.4	Vakiovalo-ohjaus	14
3.2.5	Poissaolo-ohjaus	15
3.2.6	Tilanneohjaus	16
3.2.7	Aikaohjaus	16
3.2.8	Hämäräkytkinohjaus	17
3.2.9	Poissaolovalistus	17
3.2.10	Porrasvaloautomaatti	18

3.2.11	Vapaasti ohjelmoitava ohjaus	18
4	Valaistuksenohjausjärjestelmät	19
4.1	Analoginen 1–10 V	19
4.2	Digitaalinen valonsäätöjärjestelmä DSI	21
4.3	Suora painikeohjaus SwitchDIM	22
4.4	DALI-järjestelmä	23
4.4.1	DALI-väylä	23
4.4.2	DALI-järjestelmän osoitteet ja ryhmät	23
4.4.3	DALI-järjestelmän käyttöönotto ja ohjelmointi	25
4.4.4	DALI-reititinjärjestelmä	26
4.4.5	DALI:n ominaisuuksia	29
4.4.6	uSee –järjestelmäpalvelin	29
4.5	Digitaalinen tietoliikenneprotokolla DMX	32
5	Pohdintaa	33
	Lähteet	35
	Liite	
	Liite 1. SFS-EN 12464-1-2011: Valaistusvoimakkuudet	

Lyhenteet

DALI	Digital Addressable Lighting Interface. Standardoitu digitaalinen osoitteellinen valaistuksenohjausjärjestelmä.
DMX	Digital Multiplex. Digitaalinen tietoliikenneprotokolla valaistuksen ohjaukseen.
DSI	Digital Serial Interface. Tridonicin kehittämä osoitteeton digitaalinen säätöjärjestelmä.
KNX	Kansainvälinen avoin kiinteistöautomaatiostandardi.
LED	Light Emitting Diode. Elektroniikan toteutuksissa ja valaistuksessa yleisesti käytetty valoa säteilevä puolijohdekomponentti.
LENI	Lighting Energy Numeric Indicator. Rakennusten vuotuista valaistusenergiaa kuvaava luku. Luku ilmoitetaan muodossa kWh/m ² /aika.
R _a	Värintoistoindeksi. Kuvaa valonlähteen kykyä toistaa värejä.
RGB	Lyhenne tulee sanoista Red Green Blue. RGB -värimallia käytetään useissa teknisissä toteutuksissa (televisiot, tietokoneet jne.) eri värien esittämiseen kolmen päävärin avulla.
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol. Usean Internet-liikennöinnissä käytettävän tietoverkkoprotokollan yhdistelmä.
UGR	Unified Glare Rating eli kiusahäikäisyindeksi.

1 Johdanto

Tässä työssä käydään läpi erilaisia valaistuksenohjaustapoja sekä tutustutaan erilais-
ten valaistuksenohjausjärjestelmien ominaisuuksiin sekä toiminnallisuuksiin lähinnä
valaistuksen energiansäästöllisestä näkökulmasta.

Ympäristötietouden kasvaessa pyritään entistäkin tarkemmin pitämään huolta hiilijalan-
jäljestä, jotta voitaisiin hillitä ilmastonmuutosta. Tämä ilmenee erilaisina kansallisina ja
kansainvälisinä sopeutumiskeinoina sekä esimerkiksi EU:n tiukentuneina energiate-
hokkuusdirektiiveinä. Nämä yhdessä energiakustannusten reippaan kasvun kanssa
asettavat vaatimuksia varsinkin isojen tilojen energiankäytölle sekä rakennusten ener-
giatehokkuuden optimoinnille.

Merkittävä osa rakennusten energiankulutuksesta, keskimäärin noin 30 prosenttia, tu-
lee valaistuksesta. Valaistuksen energiankulutuksen pienentämisellä voidaankin saada
aikaiseksi merkittävää taloudellista säästöä. Energiaa tuhlaavan valaistuksen korvaa-
minen energiatehokkaalla vaihtoehdolla vaikuttaa suoraan myös hiilidioksidipäästöihin
sekä ympäristöön.

Tekniikan kehittyessä markkinoille on ilmestynyt entistä energiatehokkaampia ja edulli-
sempi valonlähteitä sekä valaisimia. Vähemmän kuluttavien valonlähteiden ja valaisin-
ten lisäksi tulee myös kiinnittää huomiota niiden energiatehokkaaseen ja tarkoituksen-
mukaiseen käyttöön. Jatkuvasti kehittyvä LED-tekniikka mahdollistaa valaistuksen
ohjauksen kohtuullisin kustannuksin kaikissa mahdollisissa tiloissa. [1.]

Valaistuksen ohjauksella voidaankin saavuttaa merkittäviä säästöjä valaistuksen muo-
dostamassa energiankulutuksessa. Käytännössä ohjauksella ja energiatehokkaalla
valaistuksella saavutettava energiansäästö voi vuositasolla nousta hyvinkin suureksi;
esimerkiksi isoissa tehdas- ja varastohalleissa voidaan puhua jopa megawattitunneista
vuodessa [1]. Merkittävien energiasäästöjen lisäksi valaistuksen ohjauksella saadaan
myös visuaalisia sekä toiminnallisia etuja. Ohjauksen avulla on mahdollista luoda eri-
laisia tilanteita esimerkiksi säätämällä valaistusta halutulle tasolle kellonajan, ympäris-
tön valoisuuden tai omien esiasetusten mukaan. Osa ohjausjärjestelmistä mahdollistaa
myös sähkönkulutuksen reaaliaikaisen seurannan.

2 Valaistussuunnittelu

2.1 Valaistuksen toiminnalliset vaatimukset

Hyvällä valaistuksella tarkoitetaan ennenkaikkea käytännöllistä, energiatehokasta ja esteettistä valaistusta. Hyvä valaistus sopii ympäristöönsä, toimii teknisesti hyvin, on kokonaistaloudellinen sekä ympäristöystävällinen [2, s. 8]. Valaistuksen tulee olla myös riittävän tehokas ja käyttäjän tarpeiden mukaan muunneltavissa. Esimerkiksi tehokkaan työnteon kannalta on tärkeää, että valoa on riittävästi. Lisäksi tulisi huolehtia, että valaistusta voidaan muunnella päivänvalon, vuodenajan sekä työtehtävän vaatimusten mukaan. [3.]

2.2 Valaistuksen laadulliset vaatimukset

2.2.1 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus ja sen jakautuminen tasaisesti alueelle, jossa työskennellään, vaikuttaa merkittävästi työn suorittamiseen. Riittävällä valaistusvoimakkuudella autetaan suorittamaan työ tehokkaasti, turvallisesti ja mukavasti. Tasaisella valaistusvoimakkuuden jakautumisella voidaan estää työskentelyä häiritsevää häikäisyä sekä näkötehtäviä haittaavia suuria kontrastieroja.

Standardissa SFS-EN 12464-1 on määritelty keskimääräinen valaistusvoimakkuus työalueella eri työtehtäville. Annetut arvot ovat huoltoarvoja mikä tarkoittaa, että näiden arvojen tulee täytyä koko huoltovälin ajan. Tämän vuoksi valaistusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon myös tilan likaisuus sekä valaistuksen huolto ja puhdistustoimenpiteet. Arvot koskevat tavallisia näköolosuhteita ja niissä on otettu huomioon niin psykologiset kuin fysiologisetkin tekijät. Näitä ovat esimerkiksi näkömukavuus ja hyvinvointi sekä näkötehtävän vaatimukset, näköergonomia, taloudellisuus ja turvallisuus. [4.] Liitteessä 1 esitetään standardin SFS-EN 12464-1 mukaisia valaistusvoimakkuusarvoja.

2.2.2 Luminanssisuhteet

Kohteen näkyvyyteen vaikuttaa ympäröivien pintojen luminanssit sekä niiden kontrastit, eli luminanssierot. Nämä ovat pääasiassa riippuvaisia tarkasteltavien pintojen heijastussuhteista eivätkä niinkään pintaan kohdistuvan valon määrästä [3].

Tasapainoinen luminanssijakauma parantaa näöntarkkuutta, näköaistin tehokkuutta sekä kontrastiherkkyttä. Luminanssin tasapainoinen jakauma vaikuttaa myös mukavuuteen, sillä suuret luminanssit sekä kontrastit aiheuttavat häikäisyä ja silmien väsymistä [5]. Liitteestä 1 löytyy ote standardissa SFS-EN 12464-1 annetuista valon tasaisuuden vähimmäisarvoista.

2.2.3 Värintoisto-ominaisuudet

Valaisinten valonlähteet määrittävät valon värintoisto-ominaisuudet. Valonlähteiden spektrijakaumissa saattaa valonlähteen tyypistä riippuen olla kapeita aallonpituushuipuja. Ne saattavat korostaa tai vääristää joitain yksittäisiä värejä valonlähteen hyvästä värintoistoindeksistä huolimatta. Tämä asettaa haasteita valaistussuunnittelulle varsinkin hyvää värintoistoa vaativissa kohteissa kuten museoissa, sairaaloiden operointiloissa ja myymälöissä [2, s. 70].

Värintoiston laatua ilmaistaan värintoistoindeksillä R_a (myös CRI eli Colour Rendering Index). Värintoistoindeksi ilmaistaan asteikolla nollasta sataan, missä

0 tarkoittaa valoa, jossa värit eivät toistu lainkaan

100 tarkoittaa täydellistä värintoistoa (esimerkiksi hehkulamppu)

Valonlähteet on jaettu eri värintoistoluokkiin niiden värintoisto-ominaisuuksien mukaan. Taulukossa 1 (ks. seuraava sivu) esitetään käytössä olevat värintoistoluokat ja niitä vastaavat R_a -indeksit. Liitteessä 1 esitetään osa standardissa SFS-EN 12464-1 annetuista, eri työtehtävissä vaadittavista R_a -indeksin arvoista.

Taulukko 1. Värinistöindeksit ja niiden jako värinöstoluokkiin.

Värinöstoluokka	R _a -indeksi	Värinöstö-ominaisuudet
1A	R _a > 90	Erittäin hyvät
1B	90 > R _a ≥ 80	Hyvin hyvät
2A	80 > R _a ≥ 60	Hyvät
2B		
3	60 > R _a ≥ 40	Tyydyttävät
4	40 > R _a ≥ 20	Välttävät

2.2.4 Häikäisysojous

Kirkkaat, etenkin pistemäiset valonlähteet sekä erilaisten pintojen heijastumat voivat aiheuttaa näkemistä haittaavaa häikäisyä. Häikäisy ei aina välttämättä estä näkemistä, mutta se saattaa aiheuttaa epämiellyttävyyden tunnetta ja heikentää suoritustasoa. Häikäisyyn vaikuttaa, muun muassa

- häikäisylähteen luminanssi ja koko
- häikäisylähteen sijainti näkökentässä
- havaitsijan yksilölliset ominaisuudet kuten ikä, vireystila ja näköaistin sopeutumistaso.

Häikäisyä voidaan vähentää rajoittamalla häikäisylähteen näkymistä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi valaisimen rakenteella, erilaisilla optiikoilla tai vaikkapa varjostimella. Häikäisyä voidaan estää myös valaisinten ja työpisteen sopivalla sijoituksella, epäsuoralla valaistuksella sekä luminanssierojen pienentämisellä [5].

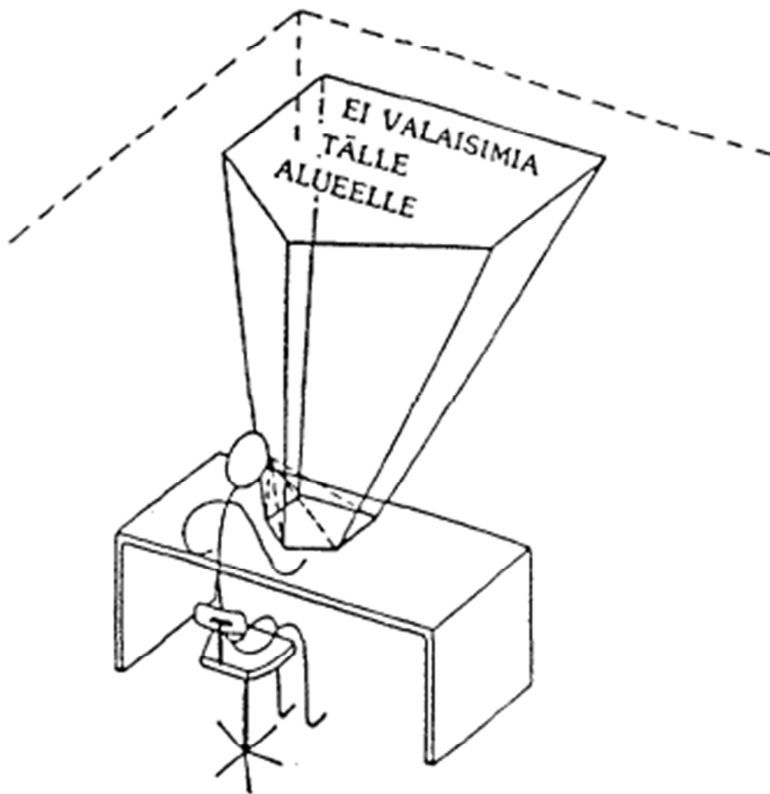
Alaspäin valoa suuntaavissa valaisimissa häikäisyä voidaan estää käyttämällä opaali-häikäisysojajaa, mikroprismaoptiikkaa tai matalaluminanssiritilöitä. Mikroprismaoptiikkaa voidaan käyttää esimerkiksi kattoon asennettavissa moduulivalaisimissa. Mikroprismaoptiikan ansiosta valonlähteet eivät aiheuta häikäisyä tai heijastumia esimerkiksi tietokoneen näytölle. Matalaluminanssiritilöitä käytetään pääasiassa loistelamppuvalaisimissa. Ne kaventavat valon ulostulokulmaa valonlähteen pituussuunnassa, joten

harsoheijastumia ei pääse syntymään. Suoraan valaisimen alta katsottaessa häikäisy saattaa kuitenkin olla häiritsevää. Kuvassa 1 esitetään Elektro-Valon toimistovalaisin matalaluminanssiritilällä varustettuna.



Kuva 1. Elektro-Valo 2728-128HF -toimistovalaisin matalaluminanssiritilällä.

Häikäisyä voidaan ehkäistä myös valaisinten oikealla sijoittelulla tai käyttämällä epäsuoraa valaistusta tilan yleisvalon luomiseen. Epäsuoran valaistuksen etuna on häikäisemätön ja tasainen valo. Kun epäsuora valo tulee laajalta alueelta hajavalona, on esimerkiksi kiiltelevien esineiden tarkastelu helppoa [3]. Kuvassa 2 seuraavalla sivulla esitetään keino löytää alue, jolle valaisimia ei tulisi sijoittaa esimerkiksi työpisteen valaistusta suunniteltaessa.



Kuva 2. Kiiltokuvastumista ja epäsuoraa häikäisyä voidaan välttää sijoittamalla valaisimet kiiltokuvastumisalueen ulkopuolelle. Kuvassa työskentelytasolle on asetettu peili, jonka avulla kiiltokuvastumisalueen kartoittaminen on helppoa. Peilistä ei saisi näkyä paljaita lampuja tai kirkkaita valaisimien valoaukkoja. [7]

Kiusahäikäisyä arvioidaan UGR-menetelmällä. Valaisinvalmistajien tulee esittää valaisimesta varmennetut UGR-häikäisyarvot taulukkomenetelmällä laskettuna [5]. Standardissa SFS-EN 12464-1 annetaan maksimi-arvot häikäisyindeksille (ks. esimerkki liitteestä 1).

2.2.5 Valaistuksen alenemakerroin

Valaistus tulee suunnitella käyttäen alenemakerrointa. Alenemakertoimen tulee vastata valittuja valaistukseen käytettäviä laitteita, tilan ympäristötekijöitä sekä määriteltyä huoltosuunnitelmaa. Standardissa SFS-EN 12464-1 on annettu valaistusvoimakkuusarvot tehtäväkohtaisesti ja niillä tarkoitetaan vanhan asennuksen arvoja. Suunnittelijan tulee määrittellä alenemakerroin ja kertoimen määrittelyn oletukset, käyttöympäristöön

sopiva valaistusratkaisu sekä huolto-ohjelma. Huolto-ohjelmassa määritetään lampunvaihtovälit, valaisimien ja tilan puhdistusvälit sekä käytettävä puhdistusmenetelmä. [4.]

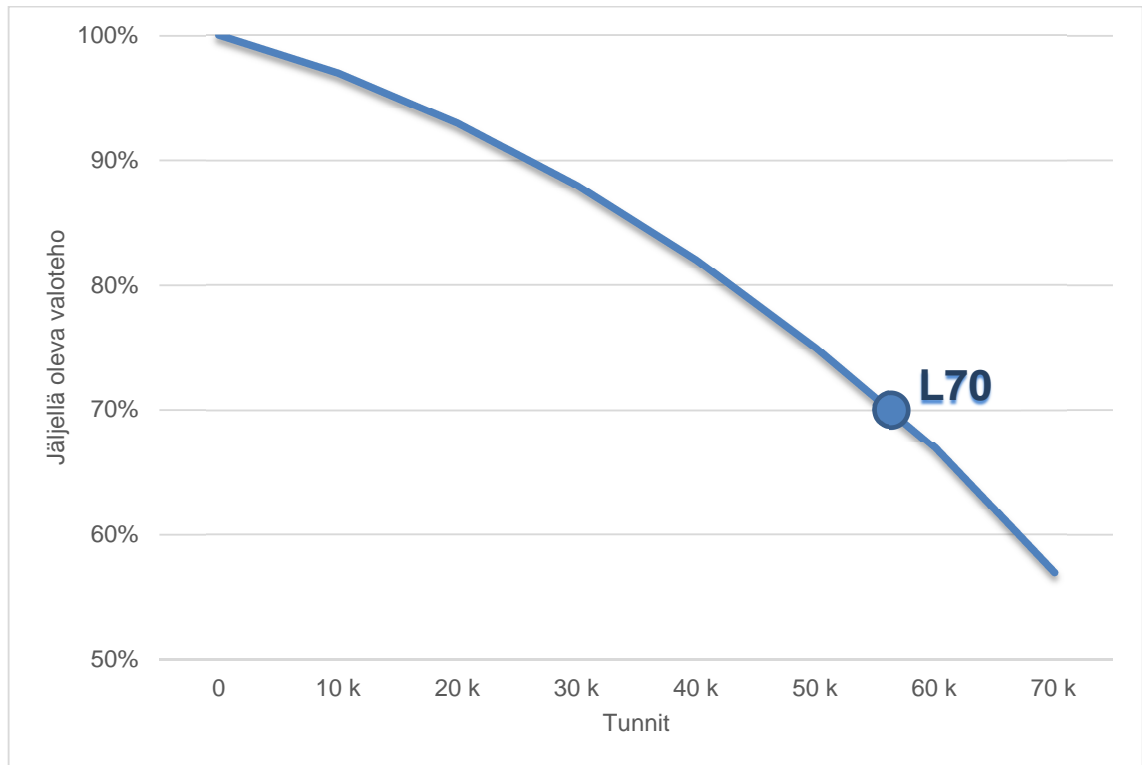
2.3 Valonlähteet

Valonlähteiden valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat, muun muassa

- valaistusvoimakkuus (lm)
- energiatehokkuus (lm/W)
- himmennettävyys
- värilämpötila ja värintoisto (K ja R_a)
- kanta (E40, 2G11, G24q-2...)
- elinikä (tai valovirran alenema)
- käyttölämpötila (T).

Valonlähteiden himmennettävyys on usein merkittävä tekijä valaisinta, liitäntälaitetta ja valonlähdetä valittaessa. Osaa loistelampuista ei voida himmentää, joten tämä tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa. LED-lamput ovat joitain *retrofit* -lamppuja lukuun ottamatta himmennettäviä, joten ne ovat hyvä vaihtoehto energiatehokasta vaihtoehtoa valittaessa. Lisäksi niihin on saatavissa yleisimpiä ohjausjärjestelmiä, kuten DSI ja DALI, tukevia liitäntälaitteita.

Kaikilla valonlähteillä valovirta alenee eliniän myötä. Aleneman suuruus vaihtelee lamputyypeittäin ja se tulee huomioida jo valaistusta suunniteltaessa. Myös ympäristön lämpötilalla on vaikutusta valonlähteiden elinikään ja valontuottoon valonlähteen tyypistä riippuen [8]. Kuvassa 3 (ks. seuraava sivu) esitetään esimerkkikäyrä LED-valonlähteen valovirranalenemasta.



Kuva 3. LED-valonlähteissä valovirran alenema kuvataan usein käyrinä suhteellisesta valotehosta. Merkintä L70 tarkoittaa, että valonlähteen valovirrasta on jäljellä 70 %. [8]

Käyttökohteesta riippuen myös värilämpötilalla ja värintoistolla on suuri merkitys valonlähteen valinnassa. Esimerkiksi museoissa on tarpeellista saada hyvällä värintoistolla aikaan luonnollinen vaikutelma valaistavasta kohteesta. Lisäksi värilämpötilojen avulla voidaan luoda erilaisia tunnelmia. Alemmilla värilämpötiloilla on mahdollista luoda lämmintä tunnelmavalaitusta, kun taas kylmillä värisävyillä saadaan aikaan virkistävä, luonnonvaloa muistuttavaa valaitusta.

Valonlähteiden, esimerkiksi ledien ja T5-loisteputkien, kehityksen ansiosta niiden energiatehokkuus on kasvanut huomattavasti. Tämä näkyy merkittävänä valaituksen energiankulutuksen laskuna viime vuosien aikana. EU:n asettamat tiukentuneet energiatehokkuusstandardit ovat osaltaan vaikuttaneet energiaa tuhlaavien valonlähteiden käytön vähenemiseen ja tuoneet markkinoille uusia energiatehokkaita ratkaisuja.

2.4 Energiatehokas valaistus

Valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseksi tulee hyvän valaistussuunnittelun lisäksi huomioida myös tilan käyttötarpeet ja ominaisuudet. Pintojen heijastumissuhteet, käytetyt materiaalit sekä väritykset vaikuttavat tilan valoisuuteen. Niillä on iso vaikutus siihen kuinka paljon pinnalle tulevasta valosta heijastuu takaisin tilaan [5].

Valaisimen tehtävänä on valaista tila mahdollisimman tehokkaasti ohjaten valo rakenteesta haluttuun suuntaan [5]. Valaisimen hyötysuhteeseen vaikuttaa muun muassa valaisimen rakenne, optiikka, käytetyt materiaalit, kuvut sekä valaisimessa käytettävien valonlähteiden sijoittelu ja lukumäärä .

Valaisinten teknisten ominaisuuksien lisäksi suunnittelussa ja elinkaaritarkastelussa tulee ottaa huomioon niiden huolto- ja puhdistustoimenpiteet. Valaisinten valinnassa ja sijoittamisessa tulee huomioida, että niiden puhdistus ja huolto olisi helposti suoritettavissa tarpeellisin väliajoin. Korkeissa teollisuushalleissa tai varastorakennuksissa, joissa valaisinten huolto vaatii esimerkiksi henkilönostinta tai korkeita telineitä, lampunvaihtovälin pituudella on merkitystä.

Valaisinten hyötysuhteeseen vaikuttaa merkittävästi valaisinten sijoittaminen ja etenkin niiden etäisyys valaistavasta kohteesta. Esimerkiksi ripustusasennuksella voidaan laskea valaisimen kokonaistehoa ja pienentää energiankulutusta, sillä valaisin saadaan sijoitettua lähemmäksi valaistavaa kohdetta. Lisäksi pöytä- ja lattiavalaisimia hyödyntämällä voidaan helposti kohdistaa valoa tarkasti sinne missä sitä tarvitaan.

Keskeisimpiä asioita valaistuksen energiatehokkuuden parantamisessa ovat

- valon määrä (valaistusvoimakkuus, työaluevalaistus)
- valonlähteet ja liitännälaitteet (lampputyypit, lamppujen valotehokkuus ja liitännälaitteen valinta)
- valaisin (valaisimen rakenne/valonjako, käyttöhyötysuhde ja asennuskorkeus)
- ohjaus (tarpeenmukainen käyttö, päivänvalon hyödyntäminen)
- valaistuksen hoito ja huolto (valaisinten puhdistus, komponenttien vaihdot)

- valaistava tila (tilan koko ja muoto, heijastumissuhteet) [5].

Kuristinkäyttöisten valaisinten korvaaminen elektronisia liitäntälaitteita hyödyntävillä valaisimilla vähentää energiankulutusta. Magneettisia kuristimia käyttävien laitteiden teho ja etenkin ehoaviöt ovat suuremmat kuin moderneilla liitäntälaitteilla. Valovirran ollessa sama valonlähteiden valovirranalenema pienenee ja elinikä kasvaa elektronisia liitäntälaitteita käytettäessä. [6.]

2.5 LENI-luku

2.5.1 LENI-luku ja valaistuksen energiankulutus

LENI-luvun avulla voidaan arvioida erilaisten valaistusratkaisujen vaikutusta energiankulutukseen. Lisäksi se huomioi myös valaistuksen ohjauksen vaikutuksen. LENI-laskennalla saatua vuotuista energiankulutusta voidaan käyttää hyödyksi myös investointilaskelmia tehdessä.

LENI-luku lasketaan koko rakennukselle ja sitä voidaan käyttää valaistuksen energiankulutuksen vertailulukuna. Se siis mahdollistaa samaan käyttötarkoitukseen tarkoitettujen rakennusten energiankulutuksen vertailun. Standardi EN 15193 esittelee sekä tarkan että pikalaskentamenetelmän LENI-luvun laskentaan. [9.] Rakennuksen LENI-luku lasketaan kaavalla 1.

$$LENI_{laskettu} = \frac{W_{kokonais}}{A} \left[\frac{kWh}{m^2, vuosi} \right] \quad (1)$$

2.5.2 LENI-luvun pikalaskentamenetelmä

LENI-luvun pikalaskentamenetelmää käytetään silloin, kun halutaan laskea arvio koko rakennuksen vuosittaisesta energiankäytöstä. Menetelmää voidaan käyttää vain tietyissä yleisesti esiintyvissä rakennustyypeissä.

Standardissa EN 15193 esitetään taulukot erityyppisten rakennusten vuosikohtaisista perustiedoista LENI-luvun laskentaa varten. Näitä rakennustyyppisiä ovat toimistorakennukset, oppilaitokset, sairaalat, hotellit, ravintolat, urheilutilat, liiketilat sekä tuotantotilat.

LENI-luvun pikalaskentamenetelmässä lepokulutukselle on annettu oletusarvo 6 kWh/m² vuodessa. Kaavassa 2 esitetään pikalaskentamenetelmän laskukaava. [9.]

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

2.5.3 LENI-luvun tarkka laskentamenetelmä

LENI-luvun tarkka laskentamenetelmä mahdollistaa rakennuksen energiankulutuksen tarkan määrittämisen, sillä se perustuu yksittäisten tilojen todellisiin kulutusarvoihin. Tarkalla laskentamenetelmällä laskettu LENI-luku on alhaisempi kuin pikalaskentamenetelmällä saatu arvo.

Tarkalla laskentamenetelmällä on mahdollista laskea myös valitun ajanjakson energiankäyttö, mikäli tiedot työntekijöiden läsnäoloajoista sekä tilojen päivänvalon saannista on käytettävissä. Kaavassa 3 esitetään tarkan laskentamenetelmän laskukaava. [9.]

$$LENI = \frac{W_{valaistus} + W_{lepokulutus}}{A} \left[\frac{kWh}{m^2, aika} \right] \quad (3)$$

LENI Lasketaan koko rakennuksen valaistukselle.

W_{total} Valaistuksen vuotuinen kokonaisenergian käyttö

A Rakennuksen sisätilojen kokonaispinta-ala [m²]. Lasketaan ulkoseinien sisäpuolelta pois lukien valaisemattomat tilat ja käyttämättömät kellaritilat.

3 Valaistuksen ohjaus

3.1 Valaistuksen ohjauksen edut

Nykyisillä valonsäätöjärjestelmillä voidaan parantaa valaistuksen laatua. Valoa saadaan haluttuun aikaan oikea määrä. Lisäksi päivänvalo hyödyntämällä energiankulutusta saadaan pienennettyä. Valaistustarpeet saattavat muuttua useita kertoja vuorokaudessa, jolloin valaistuksen ohjauksella voidaan vähentää jatkuvaa tarvetta säätää valaistusta manuaalisesti.

Valaistuksen ohjaus on tärkeää huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Toiminnallisesti oikein suunniteltu valaistuksen tilanneohjaus ja muut automaattiset toiminnot helpottavat tilan ja tilan valaistuksen käyttöä. Tämän lisäksi tietyillä valaistuksenohjausjärjestelmillä on mahdollista seurata valaistuksen energiankulutusta. Tämä ominaisuus on hyödyllinen, sillä ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta vaatii, että uusissa, muissa kuin käyttötarkoitukseluokan 1 ja 2 rakennuksissa, tulee kiinteä valaistusjärjestelmä varustaa sähkönkulutuksen mittauksella [10, s. 17].

3.2 Valaistuksenohjaustavat

3.2.1 Paikallishjaus

Paikallishjaus on yhdestä pisteestä suoritettu valaistuksen ohjaus. Yksinkertaisimmillaan paikallishjauksella tarkoitetaan tavallista manuaalista kytkintä. [11, s. 7.]

Paikallishjaus voidaan tehdä

- valaisimissa olevilla kytkimillä
- valaistusryhmää ohjaavilla kytkimillä tai säätimillä
- ohjauspiiriin kytketyillä painonapeilla tai kytkimillä
- liitäntälaitteiden ohjauksella
- ohjausjärjestelmien (DALI, KNX, jne.) ohjelmoitavilla ohjaimilla.

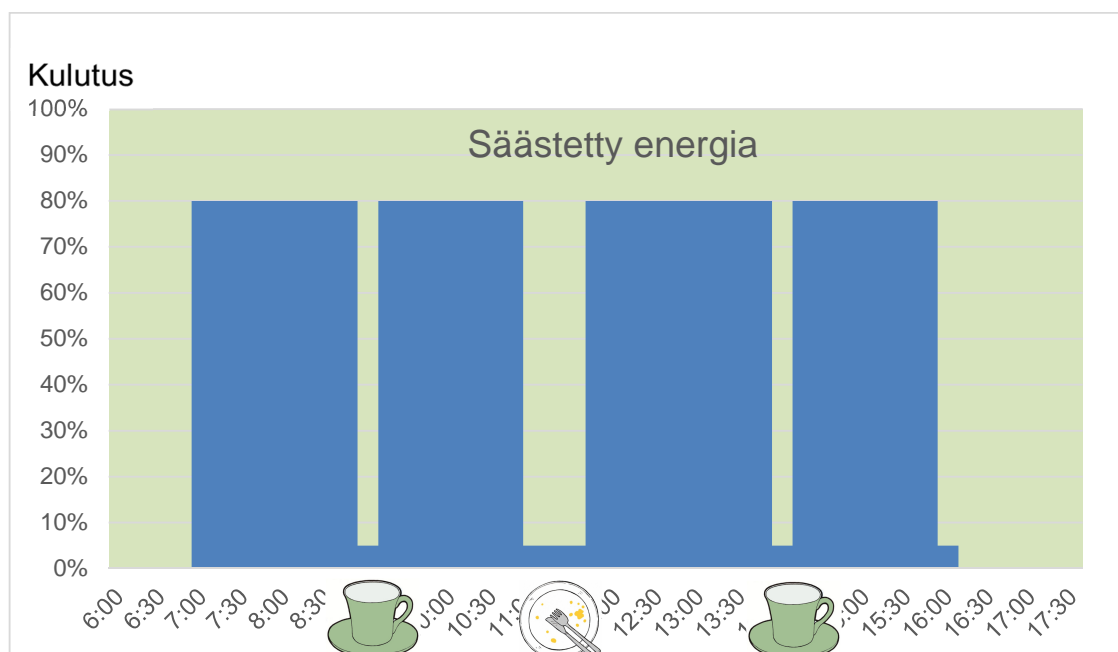
3.2.2 Monipisteohjaus

Monipisteohjaus on mahdollista suorittaa useasta paikasta. Se toteutetaan yleensä kytkimillä (6- ja 7-kytkimet), liukusäätimillä, painonapeilla tai näiden yhdistelmillä [11, s. 7]. Monipisteohjausta käytetään usein tiloissa, joissa on monta sisäänkäyntiä.

3.2.3 Läsnaolo-ohjaus

Läsnaolo-ohjauksen toiminta perustuu läsnäolosensoreiden havaintoihin. Sensorien havaitessa läsnäolon huoneessa, ne sytyttävät valot automaattisesti ja sammuvat valitulla viiveellä viimeisen läsnäolohavainnon jälkeen [11, s. 7]. Tarvittaessa voidaan käyttää myös orientoitumisvalaistusta, jossa sensori himmentää valaistuksen minimaaliselle tasolle asetetuksi ajaksi ennen valojen sammutusta.

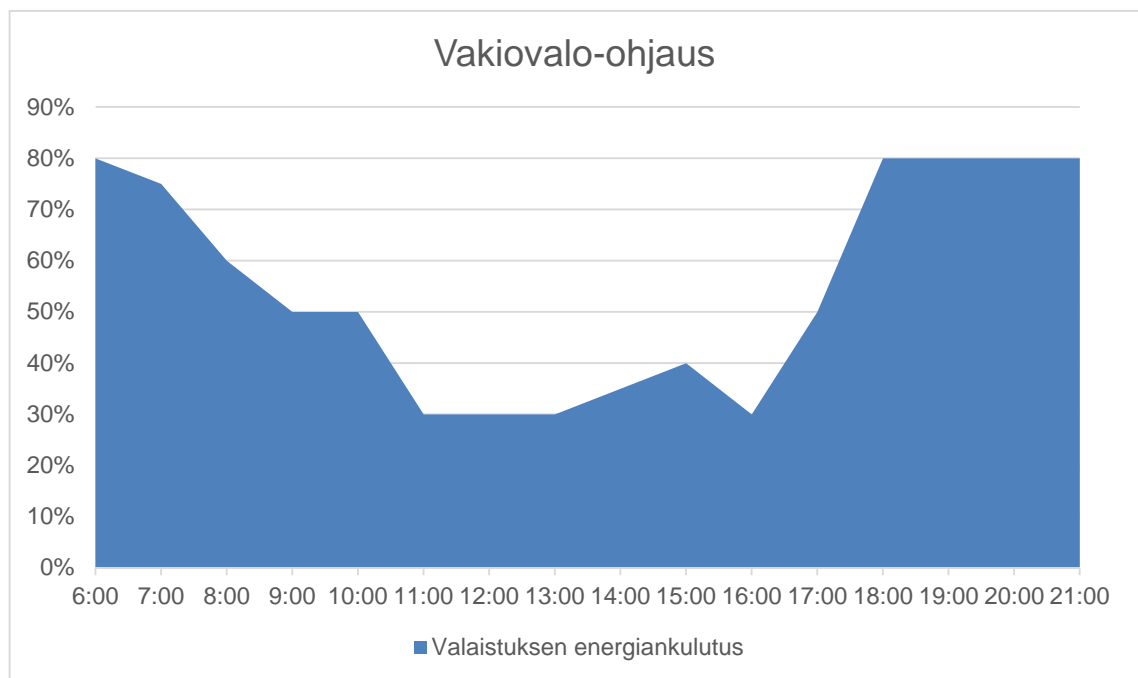
Läsnaolosensoreiden tunnistustarkkuus on tyypillisesti parempi tavanomaisiin liiketunnistimiin verrattuna. Läsnaolosensori on käytännöllinen valinta esimerkiksi toimistojen työpisteiden valaistuksen ohjaukseen, sillä se tunnistaa pienetkin liikkeet. Kuvassa 4 esitetään läsnäolo-ohjauksen energiakulutus perinteiseen valaistus-ratkaisuun verrattuna.



Kuva 4. Läsnaoloanturi havaitsee työpäivän aikana pidettävät tauot. Se himmentää valaistuksen asetettuun tasoon määritetyllä viiveellä viimeisestä läsnäolohavainnosta. Tämän ansiosta työntekijän ollessa poissa työpisteeltään säästyy energiaa. [11]

3.2.4 Vakiovalo-ohjaus

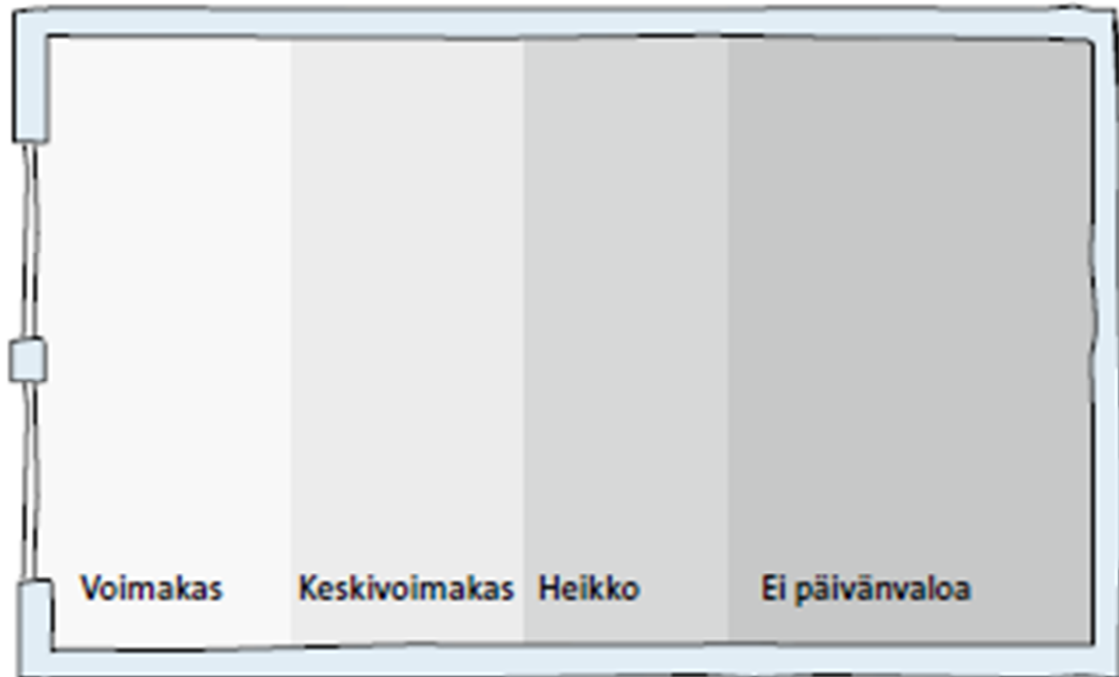
Vakiovalo-ohjauksessa käytetään valotasa mittaavia vakiovaloantureita. Luonnonvaloa hyödyntämällä keinovalaistuksen määrää voidaan laskea maksimista ja näin vähentää valaistuksen tarpeetonta energiankulutusta [11, s. 10]. Keinovalaistus säädetään antureiden havaintojen perusteella sopivalle valaistustasolle. Valaistustaso on erikseen määritettävissä anturille. Vakiovalo-ohjauksen avulla voidaan pienentää valaistuksen energiankulutusta sekä pidentää himmennettävän valonlähteen ja liitäntälaitteen elikää huomattavasti. Kuvassa 5 esitetään vakiovalo-ohjauksella saavutettava energiansäästö.



Kuva 5. Vakiovalo-ohjauksella saavutettava säästö on tyypillisesti 20–40 % perinteiseen, ilman ohjausta toimivaan, valaistusratkaisuun verrattuna [11, s. 10]. Päivällä, luonnonvalon määrän ollessa suurimmillaan, keinovalaistuksen taso voidaan tiputtaa jopa kolmannekseen maksimista.

Vakiovalo-ohjaus soveltuu valaistusalueisiin, jotka sijaitsevat lähellä ikkunoita. Tällöin luonnonvalon hyödyntäminen on mahdollisimman tehokasta ja keinovalon tarve vähenee. Vakiovaloantureiden sijoittamisessa tulee huomioida, ettei auringonvalo tai valaisinten valokeila valaise suoraan anturia, sillä se saattaa vaikuttaa ohjauksen toimintaan haitallisesti [6]. Seuraavalla sivulla kuvassa 6 esitetään valaistavan huoneen ja-

kaminen erilaisiin päivänvalon mukaisiin vyöhykkeisiin. Vyöhykkeissä, joissa on vain vähän (tai ei lainkaan) luonnonvaloa, vakiovalo-ohjauksesta saatava hyöty on käytännössä olematon.



Kuva 6. Huone voidaan jakaa päivänvalon voimakkuuden mukaisiin vyöhykkeisiin. Ikkunoiden sijoitus ja koko vaikuttavat päivänvalon saatavuuteen. Vakiovalo-ohjaus soveltuu lähellä ikkunoita sijaitseviin vyöhykkeisiin, joissa päivänvalosta saatava hyöty pystytään maksimoimaan. [6]

3.2.5 Poissaolo-ohjaus

Poissaolo-ohjaus perustuu läsnäolo-ohjauksen tavoin läsnäolosensoreiden havaintoihin. Ohjaus toimii lähes samalla periaatteella kuin läsnäolo-ohjaus, mutta valojen syyttämiseen tarvitaan manuaalinen kytkin [11, s. 9]. Valot sammuvat viimeisen läsnäolohavainnon jälkeen asetetulla viiveellä automaattisesti. Tällä ohjaustavalla voidaan saavuttaa vielä hieman suurempi säästö kuin läsnäolo-ohjauksella, sillä läsnäolosensorin mahdolliset väärät havainnot eivät turhaan säädä valoja päälle.

3.2.6 Tilanneohjaus

Tilanneohjauksessa erilaisia työtehtäviä tai käyttötarkoituksia varten luodaan erilaisia valmiita valaistustilanteita. Useammasta valoryhmästä koostuvassa kokonaisuudessa kullekin ryhmälle tai yksittäiselle valaisimelle on määritelty oma valaistustaso sekä säätymisviive. Tilanne voidaan käyttöönottaa yksittäisellä napinpainalluksella [11, s. 12.].

Tyypillisiä tilanneohjauksen tilanteita ovat, esimerkiksi

- siivousvalaistus (valaistustasoa nostetaan siivouksen ajaksi)
- esitysvalaistus (neuvotteluhuoneessa esitystilanteessa videoprojektorin käytettäessä voidaan sammuttaa valkokankaan läheisyydessä sijaitsevat valaisimet ja himmentää muita valaisimia esitykseen sopivalle tasolle)
- juhla-valaistus (osa valaisimista voidaan himmentää ja epäsuoraa valaistusta lisätä)
- luento-valaistus (korostetaan luennoitsijan kasvoja sekä liitutaalua).

3.2.7 Aikaohjaus

Aikaohjattua valaistusta voidaan käyttää kytkemään valot automaattisesti päälle, tai pois päältä, ennalta määriteltyyn aikaan [11, s. 14]. Ohjauksessa voidaan käyttää esimerkiksi astronomista kellokytkintä, joka laskee auringon nousu- ja laskuajat aikavyöhykkeen ja vuodenajan mukaan. Kuvassa 7 esitetään esimerkkinä Hagerin astronominen kellokytkin EE180, jolla aikaohjaus voidaan toteuttaa. Aikaohjauksen avulla voidaan vähentää valaistuksen tarpeetonta päälläoloaikaa ja energiankulutusta ajoittamalla valaistus oikeaan aikaan vuorokaudesta. Ohjelma voidaan suunnitella myös tietyille viikonpäiville erikseen [12].

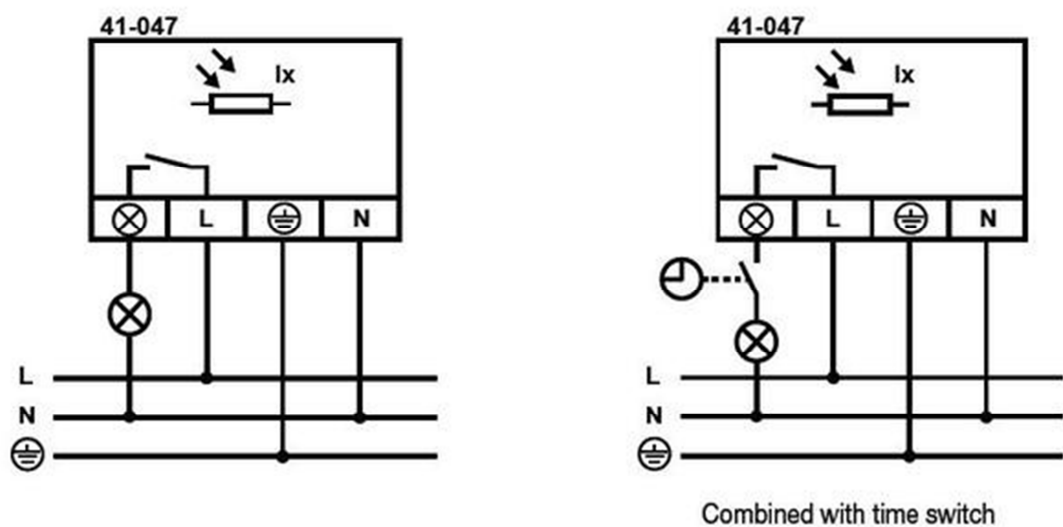


Kuva 7. Astronominen kellokytkin Hager EE180 asennetaan DIN-kiskoon [12].

3.2.8 Hämäräkytkinohjaus

Hämäräkytkinohjaus on lähinnä ulkovalaistuksessa käytetty ohjaus, jossa ohjauksessa käytettävä hämäräkytkin sytyttää tai sammuttaa valot asetetun valotason mukaan [11, s. 15]. Anturin havaitseman valomäärän laskettua alle asetetun tason kytkin kytkee valaistuksen päälle. Hämäräkytkinohjauksen lisäksi käytetään usein aikaohjausta, jotta valaisinten turhaa päälläoloaikaa voidaan rajata esimerkiksi yöaikaan. Kuvassa 8 esitetään kahden erilaisen hämäräkytkinohjauksen kytkennät.

Connection



Kuva 8. Vasemman puoleisessa kytkennässä perinteinen hämäräkytkinohjaus ja oikealla kellokytkimellä varustettu hämäräkytkinohjaus, jolla voidaan lisäksi rajoittaa valojen syttymistä aikoina, jolloin valaistukselle ei ole tarvetta [12].

3.2.9 Poissaolovalaistus

Poissaolovalaistusta ohjataan läsnäolotunnistimilla, jotka asettavat valaistuksen ennalta määrätylle tasolle (esimerkiksi 10%), jos tilassa ei havaita läsnäoloa. Läsnäolohavainnon saatuaan läsnäolotunnistin nostaa valaistuksen jälleen normaalitasolle [11, s. 10]. Poissaolovalaistusta voidaan hyödyntää esimerkiksi sairaalan huoltokäytävillä ja rappukäytävissä, joissa ei ihmisten turvallisuuden kannalta voi olla täysin pimeää. Ohjaus ei siis sammuta valaistusta kokonaan vaikka tilassa ei olisi ketään, vaan valaistus-taso säädetään muutamaa prosenttia maksimista.

3.2.10 Porrasvaloautomaatti

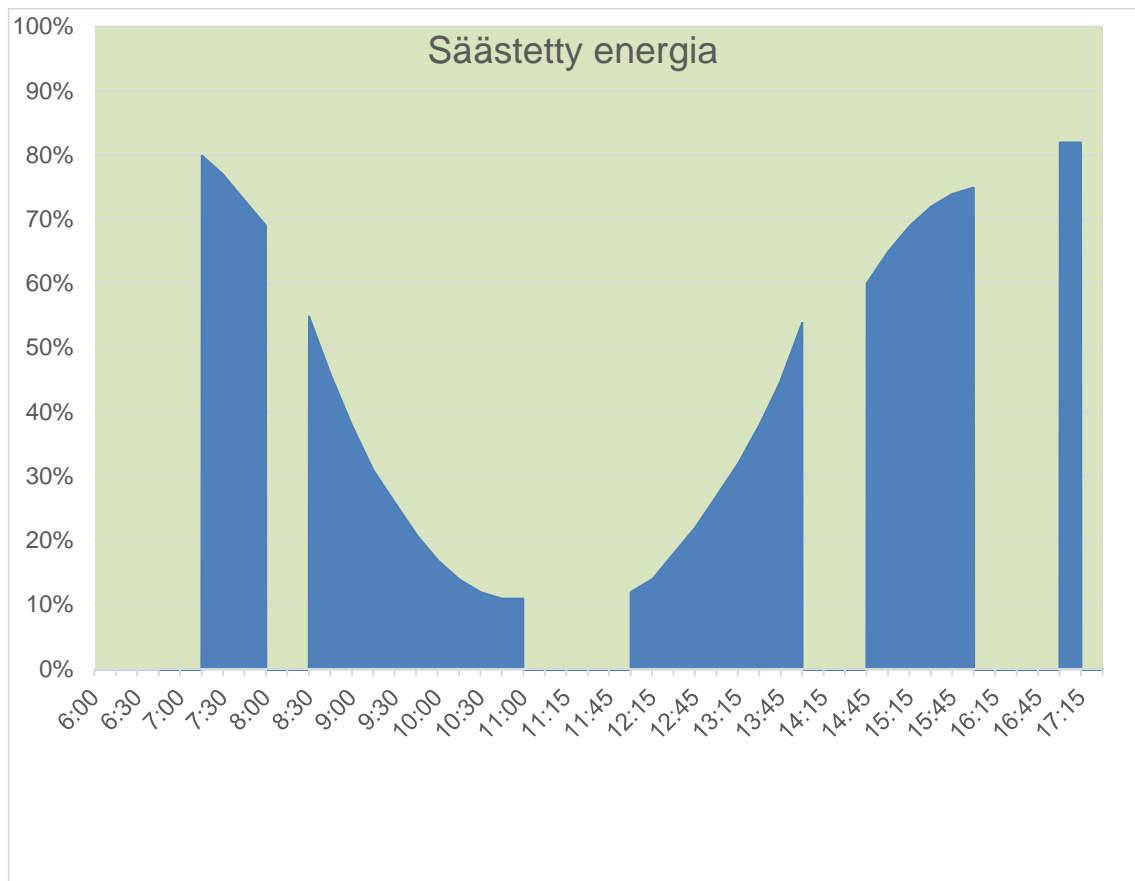
Porrasvaloautomaattia käytetään nimensä mukaisesti pääasiassa porraskäytävävalaistuksessa. Valot syttyvät manuaalisesta kytkimestä ja valaistus sammuu asetetun kytkentäajan jälkeen, ellei porrasvaloautomaatin aikalaskuria nollata jälleen manuaalisella kytkimellä [11, s. 15]. Valaistuksen kytkentäaika on erikseen säädettävissä halutun pituiseksi. Kuvassa 9 esitetään DIN-kiskoon asennettava porrasvaloautomaatti, jossa valaistuksen kytkentäaika on säädettävissä 30 s - 10 min.



Kuva 9. Porrasvaloautomaatti B.E.G Luxomat SCT 1. DIN-kiskoon asennettavan porrasvaloautomaatin kytkentäteho on 2300W ja valaistuksen kytkentäaika on säädettävissä 30 s - 10 min [13].

3.2.11 Vapaasti ohjelmoitava ohjaus

Vapaasti ohjelmoitava ohjaus voi olla yhdistelmä kaikkia edellämäinittuja ohjauksia. Yleisimmin käytetty yhdistelmä on läsnäolo- ja vakiovalo-ohjaus. Näiden ohjaustapojen yhdistelmällä on mahdollista saavuttaa säästöä energiankulutuksessa jopa 50 - 70 % perinteiseen ratkaisuun verrattuna [11, s. 15]. Kuvan 10 kuvaajassa (ks. seuraava sivu) esitetään läsnäolo- ja vakiovalo-ohjauksen energiankulutus perinteiseen ratkaisuun verrattuna.



Kuva 10. Vakiovalo- ja läsnäolo-ohjauksen yhdistelmällä saavutettu energiansäästö voi olla merkittävä – jopa 70 %. Kuvan perinteisemmästä ratkaisusta poiketen moderneissa ratkaisuissa valaistusta ei heti sammuteta kokonaan, vaan himmennetään ensin minimiin, jotta ylimääräistä päälle/pois -kytkentää saadaan vähennettyä. Tämä vaikuttaa liitäntälaitteiden ja valonlähteiden elinikään. [11]

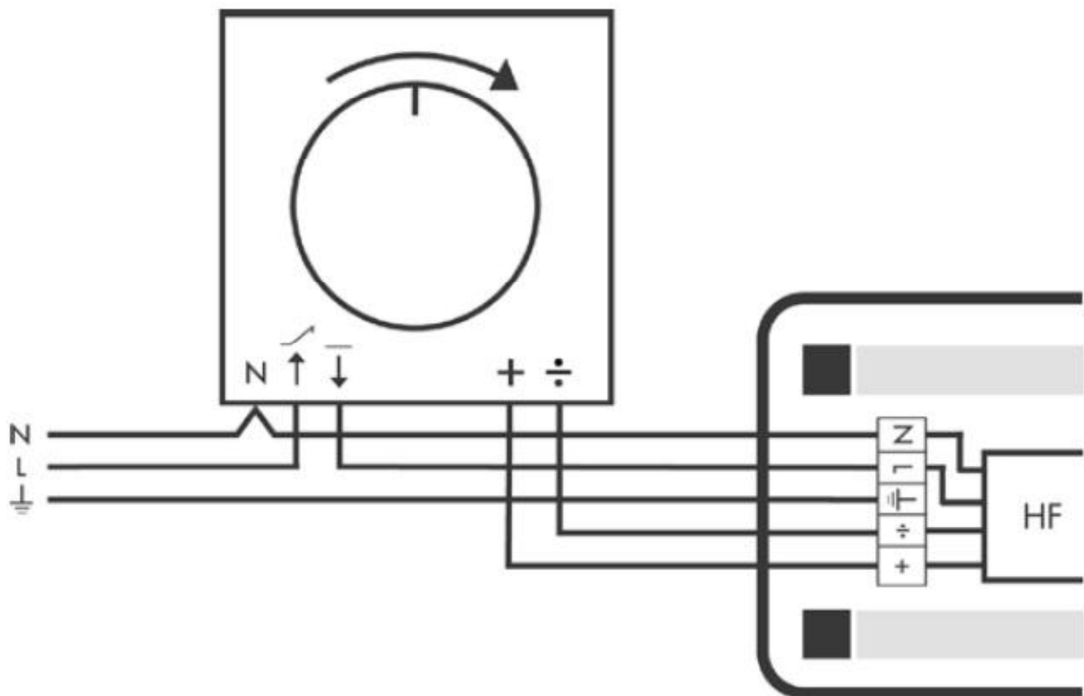
4 Valaistuksenohjausjärjestelmät

4.1 Analoginen 1–10 V

Analoginen 1–10 V -ohjausjärjestelmä perustuu standardiin EN 60929 [14, s. 478]. Se on vielä yleinen, mutta vähenevässä määrin käytettävä valaistuksenohjaustapa. Analogisessa ohjausjärjestelmässä valaisinten liitäntälaitteita ohjataan 1–10 V tasajännitesignaaleilla. Ohjattavissa 1–10 V liitäntälaitteissa on erilliset liitännät kaksijohtimiselle säätöpiirille. Säätöpiiriin kytketyllä 1–10 V potentiometrillä säädetään ohjausjännitettä, joka säätelee valaistusta muutamasta prosentista sataan prosenttiin.

Analogisen 1–10 V –järjestelmän standaroinnin ansiosta siihen löytyy usealta laitetoymittajalta erityyppisiä säätöyksiköitä. Järjestelmän haittapuolina voidaan todeta, että esimerkiksi loistelampun tyyppi vaikuttaa valaistuksen säädettävyyteen. Lisäksi kaapeloinnin pituus vaikuttaa valaisimen kirkkauteen ja ohjausvirtapiirin napaisuuksien on aina oltava oikein. Ohjaus ei toimi, jos ryhmässä on yksikin virheellinen kytkentä [14, s. 478].

Digitaalisten ohjausjärjestelmien yleistyessä vaikeasti johdotettavan ja vanhanaikaisen analogisen 1–10 V –järjestelmän osuus uusissa valaistuksenohjausasennuksissa tulee vähenemään huomattavasti. Kuvassa 11 esitetään analogisessa 1–10 V –järjestelmässä käytettävän liitäntälaitteen ja säätöpotentiometrin kytkentä.

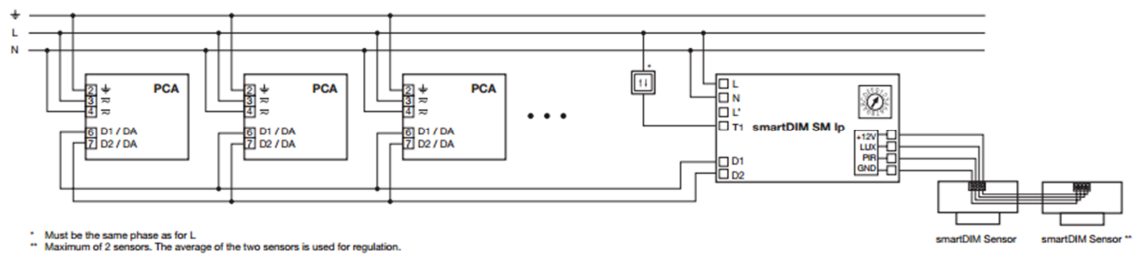


Kuva 11. Liitäntälaitteen ja potentiometrin kytkentä 1–10 V –ohjauksella. Tasajännitteinen säätöpiiri on kaksijohtiminen. [15]

4.2 Digitaalinen valonsäätöjärjestelmä DSI

DSI eli Digital Serial Interface on Tridonicin osoitteeton digitaalinen säätöjärjestelmä. Digitaaliohjauksella mahdollistetaan eritehoisten valonlähteiden säätö samassa ryhmässä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että digitaalisen ohjauksen ansiosta kaikki valaisimet säätyvät samalla tavalla eikä ohjausvirtapiiriin pituudella ole merkitystä järjestelmän toimintaan.

DSI-ohjauksessa ohjausvirtapiiriin liitettyä liitäntälaitetta ohjataan osoitteetonta digitaalisyksikköä käyttäen. DSI-järjestelmä ei edellytä ohjelmointia, mutta tilanneohjauksessa tilanteet ja vakiovalo-ohjauksessa vakiovalotasot tallennetaan järjestelmän muistiin. Ohjausvirtapiirissä on kaksi johdinta, jotka välittävät noin 12 V digitaalisignaalin [14, s. 478]. Ohjauspiirillä ei ole merkittävää napaisuutta, mikä helpottaa ja nopeuttaa asennustyötä esimerkiksi analogiseen 1-10 V –järjestelmään verrattuna. Kuvassa 12 esitetään DSI-järjestelmän kytkentäesimerkki.



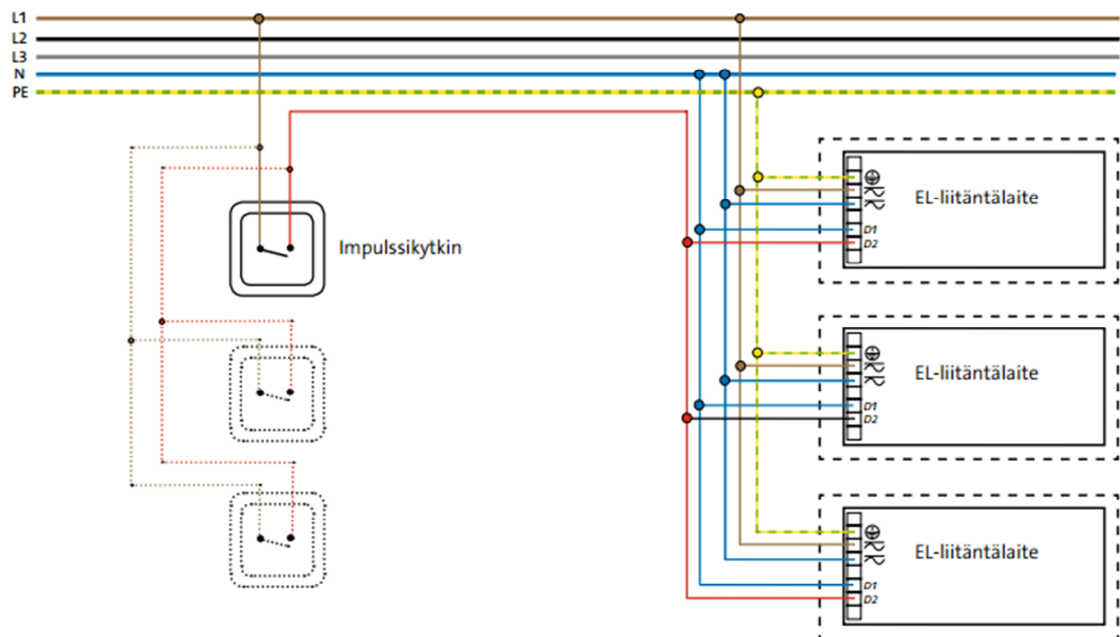
Kuva 12. DSI-järjestelmän kytkentäesimerkki. Järjestelmään voidaan kytkeä enimmillään 25 liitäntälaitetta. Tridonic smartDIM SM –ohjausyksikön avulla järjestelmää voidaan laajentaa vakiovalo- ja läsnäolotunnistimin. [16]

DSI-järjestelmän liitäntälaitteissa on mahdollisuus suoraan painikeohjaukseen, jonka lisäksi valaisinta tai valaisinryhmää voidaan ohjata myös tietokoneella winDIM-ohjelmalla. Ohjauksessa voidaan käyttää vakiovalo- ja läsnäoloantureita, kaukosäädintä sekä sulkeutuvalla koskettimella ja palautusjousella varustettuja 1-kytkimiä eli impulssikytkimiä. DSI-järjestelmään voidaan lisätä ohjausyksikkö, jolla saadaan laajennettua järjestelmää liikesensorein ja vakiovaloanturein. Ohjausyksikössä sijaitsevilla kytkimillä voidaan asettaa erilaisia ohjaustoimintoja. [14, s. 478;16.]

4.3 Suora painikeohjaus SwitchDIM

SwitchDIM eli suora painikeohjaus perustuu edellä mainittuun DSI-tekniikkaan. Suora painikeohjaus on yksinkertainen valaistuksenohjausjärjestelmä, johon voidaan asentaa lähes rajaton määrä rinnankytkettyjä painikkeita ohjausta varten. Järjestelmä soveltuu erityisesti pieniin kohteisiin, joissa ohjattavien valaisinten määrä ei nouse suureksi, mutta ohjauspisteitä tarvitaan paljon [15].

Painikeohjauksessa liitäntälaitetta ohjataan tavallisella impulssikytkimellä tai painonapilla. Säädin sijaitsee siis käytännössä valaisimen liitäntälaitteessa. Valaisimeen tarvitaan neljä johdinta: katkeamaton verkkojännite, nolla, suojamaa sekä impulssikytkimen verkkojännite valaisimen ohjausta varten. SwitchDIM edellyttää järjestelmään soveltuvaa ohjattavaa liitäntälaitetta (DSI, DALI tai 1–10 V tuotteesta ja valmistajasta riippuen). [14, s. 480] Kuvassa 13 esitetään suoran painikeohjauksen kytkentäesimerkki.



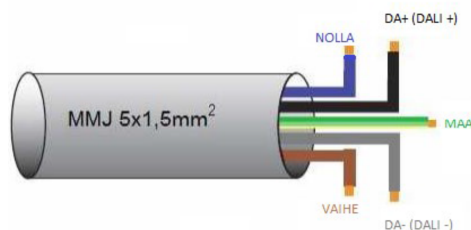
Kuva 13. Suora painikeohjaus jousipalautteisella painonapilla eli impulssikytkimellä. Impulssikytkimiä voidaan kytkeä useampia rinnan. Kytkimen pitkällä painalluksella valaisimen valotaso säätyy joko ylös- tai alaspäin. [14]

4.4 DALI-järjestelmä

4.4.1 DALI-väylä

Yksi DALI-järjestelmän eduista on sen yksinkertainen kaapelointi. Kaikki järjestelmän laitteet liitetään kaksijohtimiseen DALI-väylään. Laajemmissa toteutuksissa tarvitaan lisäksi reitittimiä ja niiden välillä käytettävää Ethernet-väylää. Asennusta nopeuttaa väylän polarisaatiovapaus.

DALI-väylän kaapeloinnissa tulee käyttää 230 V kestävästä kaapelista. DALI-väylän johtimet voidaan tuoda osana monijohdinkaapelina, sillä DALI-järjestelmän käyttämä digitaalinen signaali ei ota häiriötä verkkovirrasta. Esimerkiksi Helvar suosittelee tavallista MMJ 5x1,5 kaapelia DALI-järjestelmän kaapeloinnissa käytettäväksi. DALI-väylän pituus voi olla maksimissaan 300 m ja sen väylämuoto on vapaasti valittavissa (se voi olla esimerkiksi suora linja, tähti tai näiden molempien yhdistelmä). Kuvassa 14 esitetään DALI-järjestelmässä yleisesti käytettävän monijohdinkaapelin johtimien käyttö. [17, s. 9]

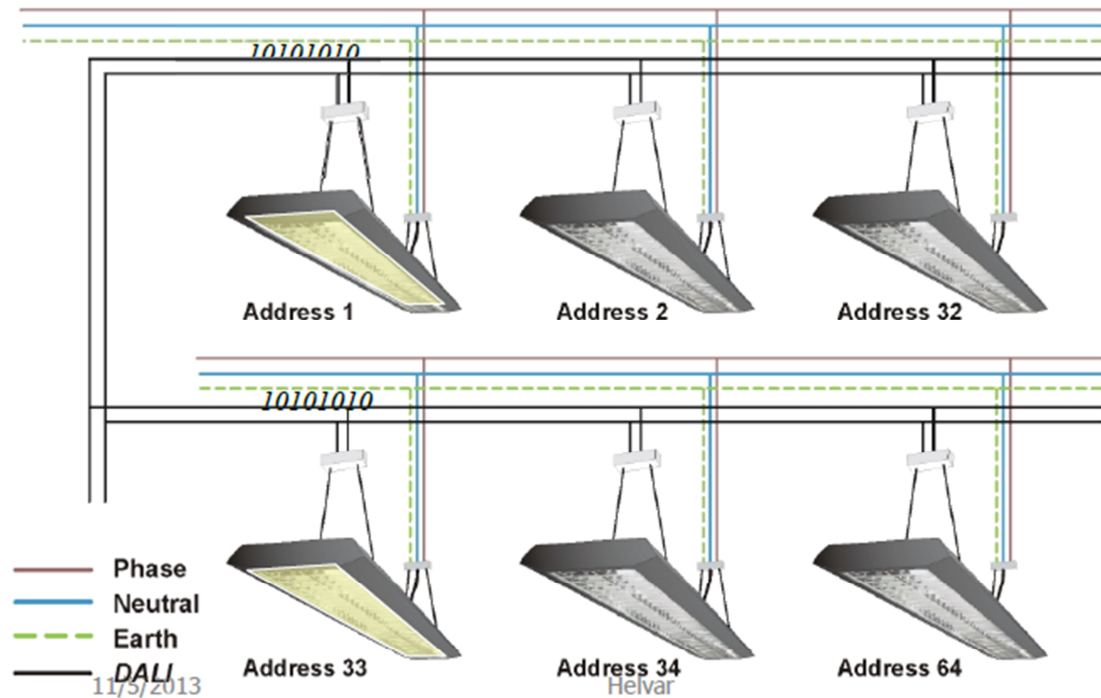


Kuva 14. DALI-järjestelmää ei ole määritelty heikkovirtajärjestelmäksi, joten DALI-väylän kaapelointi voidaan tuoda osana monijohdinkaapelina. DALI-väylän maksimijännite on noin 20 V_{DC}. DALI-järjestelmien kaapeloinnissa voidaan käyttää esimerkiksi MMJ 5x1,5 -kaapelia. [17]

4.4.2 DALI-järjestelmän osoitteet ja ryhmät

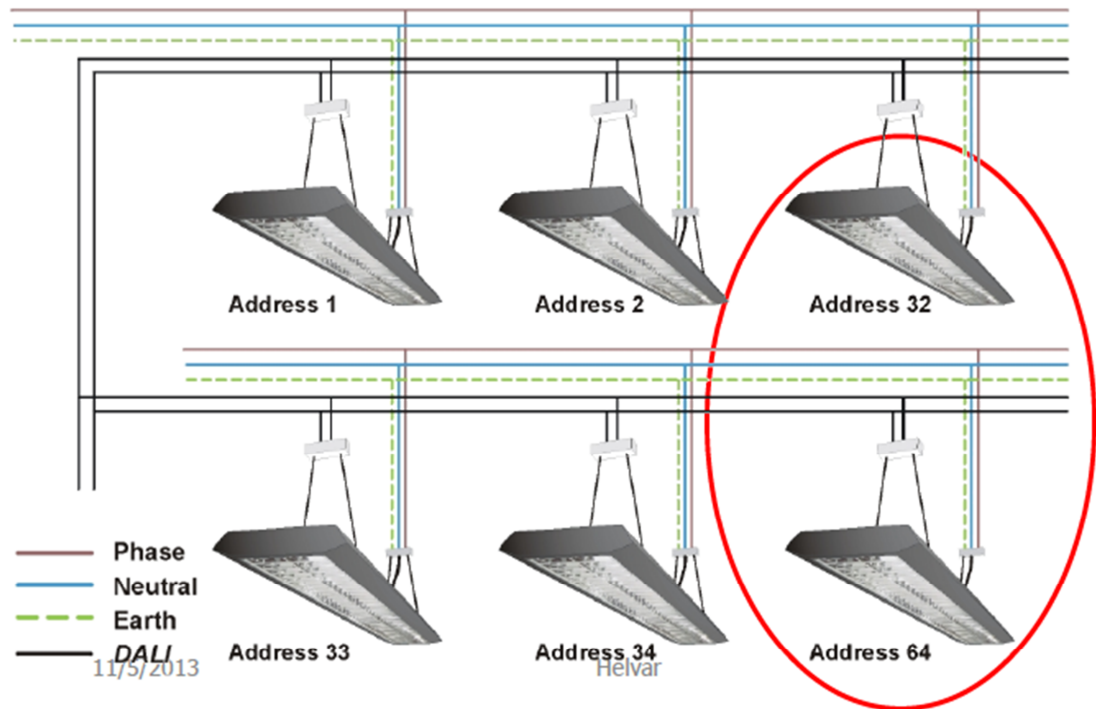
DALI-perusjärjestelmässä voi enimmillään olla 64 osoitetta. Jokainen painike, säädin, anturi tai input-yksikkö varaa yhden osoitteen järjestelmästä. Releyksiköt varaavat releiden määrän osoitteita ja valaisimet pääosin yhden osoitteen, mutta esimerkiksi erilli-

sellä ylä- ja alavalolla varustettu valaisin varaa kaksi eri osoitetta. LED-valaisimet va-
raavat värikanavien määrän mukaan 1-4 osoitetta. [11, s. 19.] Helvar on esitellyt uuden
ratkaisun DALI-järjestelmään, mikä mahdollistaa tulevaisuudessa RGBW-ohjauksen
valaisimen varatessa vain yhden osoitteen järjestelmästä. Kuvassa 15 esitetään peri-
aatekuva DALI-perusjärjestelmän osoitteellisten laitteiden kaapeloinnista ja osoitteista.



Kuva 15. DALI-perusjärjestelmässä voi olla enimmillään 64 osoitetta. Kaikki laitteet on kytketty
kaksijohtimiseen DALI-ohjausväylään. [11]

Jokaista osoitteellista laitetta voidaan ohjata erikseen niin haluttaessa. Jokaisen painik-
keiston painonappi voidaan tarvittaessa ohjelmoida erikseen ja sijoittaa jopa eri ryh-
miin. Perusjärjestelmässä jokainen alue voidaan jakaa 16 ryhmään. Liitälaitteet,
säätimet ja releet voivat kuulua useampaan ryhmään, mutta painikkeistojen yksittäiset
painikkeet kukin vain yhteen ryhmään. Kuvassa 16 (ks. seuraava sivu) esitetään peri-
aatekuva DALI-yksiköiden sijoittamisesta ryhmään. [11, s. 19 – 27.]



Kuva 16. Ryhmään voidaan vapaasti asettaa mitkä tahansa järjestelmään liitetyt DALI-yksiköt niiden fyysisestä sijainnista riippumatta. Ohjelmoinnin ansiosta ryhmittäminen voi tarvittaessa muokata esimerkiksi tilamuutosten yhteydessä uusiin tarpeisiin sopivaksi. [11]

4.4.3 DALI-järjestelmän käyttöönotto ja ohjelmointi

Ilman ohjelmointia, tehdasasetuksilla, DALI-järjestelmä toimii *broadcast*-tilassa. Tällöin kaikki napit, sensorit ja kuormat ohjautuvat samassa väylässä samanaikaisesti. Järjestelmän osoitteellisuus hyödynnetään ohjelmoinnilla. Järjestelmän ohjelmointi tapahtuu joko ilmaiseksi internetistä ladattavalla Windows-pohjaisella Toolbox –ohjelmistolla tai hieman vaativammalla Designer-ohjelmistolla, jonka käyttämiseen TAMK sekä Helvar järjestävät kurssseja. Toolbox-ohjelmisto on useimmiten riittävä ratkaisu yksinkertaisia DALI-järjestelmiä ohjelmoitaessa. Reititinjärjestelmät taas vaativat aina Designer-ohjelmistolla ohjelmoinnin.

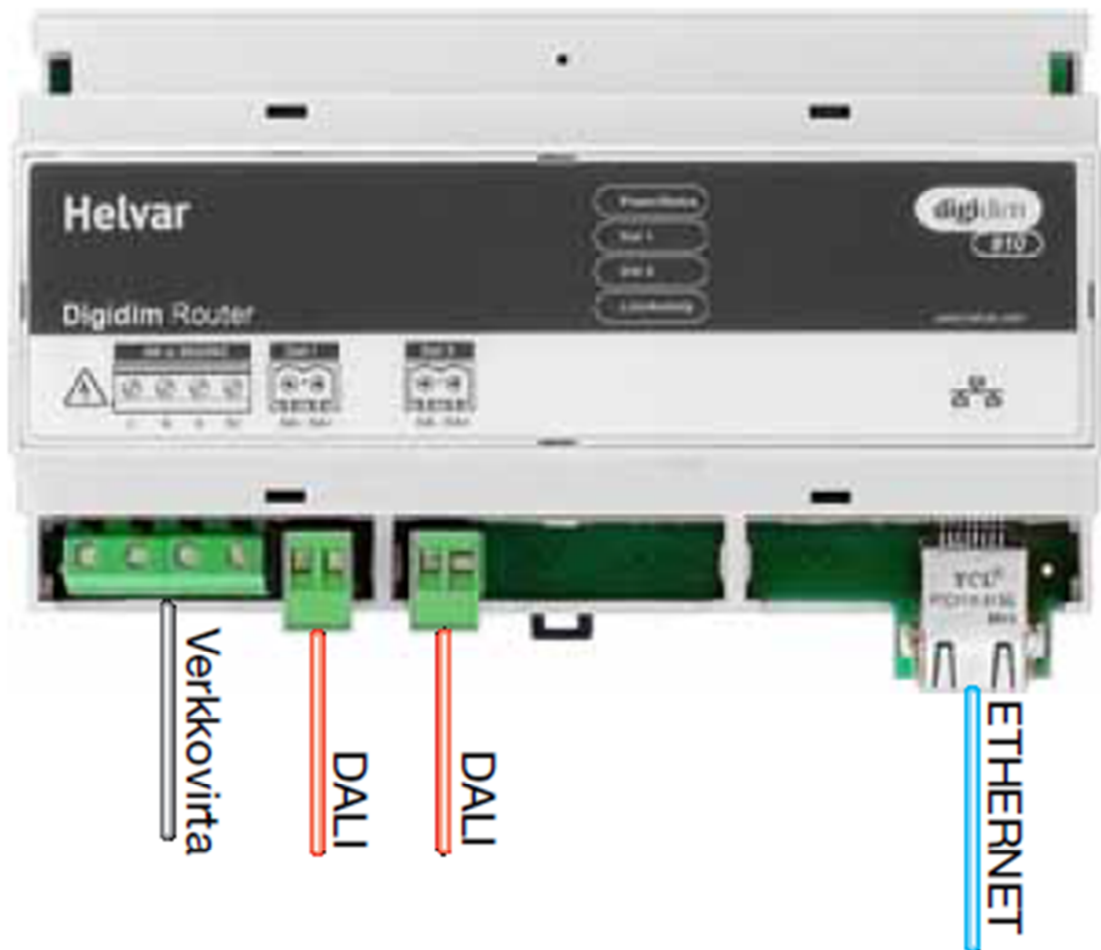
Laajemmalla Designer-ohjelmointityökalulla on mahdollista tehdä, muun muassa:

- järjestelmän alustus
- komponenttien identifiointi ja konfigurointi
- toiminnan testaus
- tilanteet ja tilanteiden asettaminen

- linkitykset ja ehdolliset loogiset toiminnot (AND, OR, NAND, NOR)
- ajastustoiminnot. [11, s. 48.]

4.4.4 DALI-reititinjärjestelmä

Reitittimien avulla DALI-järjestelmää voidaan laajentaa käytännössä rajattomasti. Reititin tukee enimmillään 256 ryhmää ja 128 osoitetta ja niitä löytyy erikokoisiin tarpeisiin. Kuvassa 17 esitetään Helvarin Digidim 910 -reitittimen liitännät.



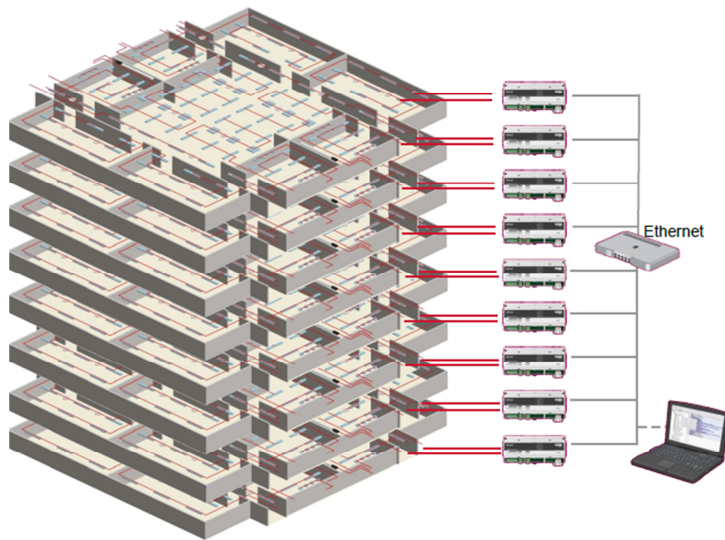
Kuva 17. Helvar Digidim 910 -reitittimen liitännät. Reititin syöttää kahta DALI-aliverkkoa ja se on liitettävissä Ethernet-väylän kautta tietokoneeseen, langattomaan uSee-palvelimeen tai muuhun järjestelmää tukevaan laitteeseen, kuten toiseen reitittimeen. [18, s. 4]

Digidim-reititin käyttää normaalia *Ethernet*-protokollaa (TCP/IP) useiden DALI-verkkojen yhdistämiseen. Reitittimessä on kaksi tehollähteellä varustettua DALI-aliverkkoa ja molempiin voidaan liittää 64 ohjainlaitetta. Reitittimessä oleva astronominen kello mahdollistaa automaation lisäämisen erilaisten kalenteritoimintojen avulla. Kuvassa 18 esitetään DALI-reititinjärjestelmä.



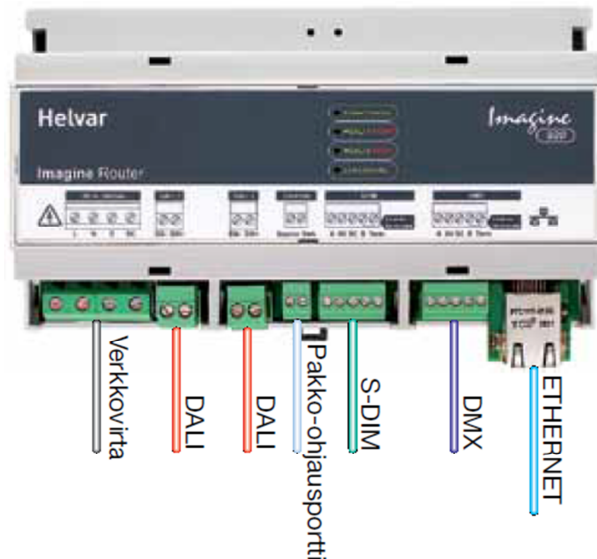
Kuva 18. Digidim-reitittimet voidaan liittää toisiinsa sekä yhdistää tietokoneeseen järjestelmän ohjelmointia varten Ethernet-kytkimen avulla. [11, s. 35]

Yksittäisellä reitittimellä toteutettuja sovelluksia on yleisimmin käytössä keskikokoisissa valaistussovelluksissa, kuten neuvotteluhuoneissa, auditorioissa tai ravintoloissa. Useita Helvar-reitittimiä voidaan kuitenkin verkottaa yhdeksi isoksi järjestelmäksi suurilla järjestelmäratkaisuja suunniteltaessa. Useamman reitittimen sovelluksia käytetään esimerkiksi ostoskeskuksissa, toimistorakennuksissa ja muissa suuremmissa valaistussovelluksissa. Kuvassa 19 (ks. seuraava sivu) esitetään periaatekuva laajasta DALI-reititinjärjestelmästä.



Kuva 19. DALI-järjestelmää voidaan laajentaa lähes rajattomasti reitittimien avulla.

Helvarin monipuolisin reititin Imagine 920 kattaa pikkuveljiään laajemmin valaistuksen ohjauksen standardiprotokollat. Kahden DALI-aliverkkoliitännän lisäksi siitä löytyy muun muassa DMX-portti, Ethernet sekä S-DIM -liitännä, joka tukee Helvarin Imagine-laitteita [18, s. 5.]. Kuvassa 20 esitetään tarkemmin Helvar Imagine 920 –reitittimen liitännät.



Kuva 20. Imagine 920-reitittimen liittännät. Reititin syöttää kahta DALI-aliverkkoa, siinä on DMX-portti (in/out) sekä Helvar S-DIM –portti Helvar Imagine –laitteille [18, s. 5].

4.4.5 DALI:n ominaisuuksia

Ennen DALI-järjestelmän ohjelmallista käyttöönottoa kaikki laitteet toimivat lähetys- eli *broadcast*-tilassa omassa DALI-aliverkossaan. Reitittimen mennessä vikatilaan DALI-kuormat asettuvat vikatilatasolle. Vikataso on erikseen asetettavissa Designer-ohjelmistolla. Jos vikaantuneen reitittimen tehonsyöttö toimii, niin reitittimen DALI-aliverkot toimivat tehdasasetuksilla. [11, s. 68.]

Auto healing handling -asetus sallii reitittimen korjata toiminnot ja asetukset automaattisesti, kun viallisen DALI-laitteen tilalle asennetaan uusi vastaava laite. Tämä toiminnallisuus on kuitenkin erikseen asetettava jokaiselle reitittimen aliverkolle, sillä oletusasetuksena tämä ei ole käytössä. Toiminto nopeuttaa järjestelmän huoltotoimenpiteitä, sillä uuden laitteen ohjelmointi ei ole tällöin tarpeen. [11, s. 61.]

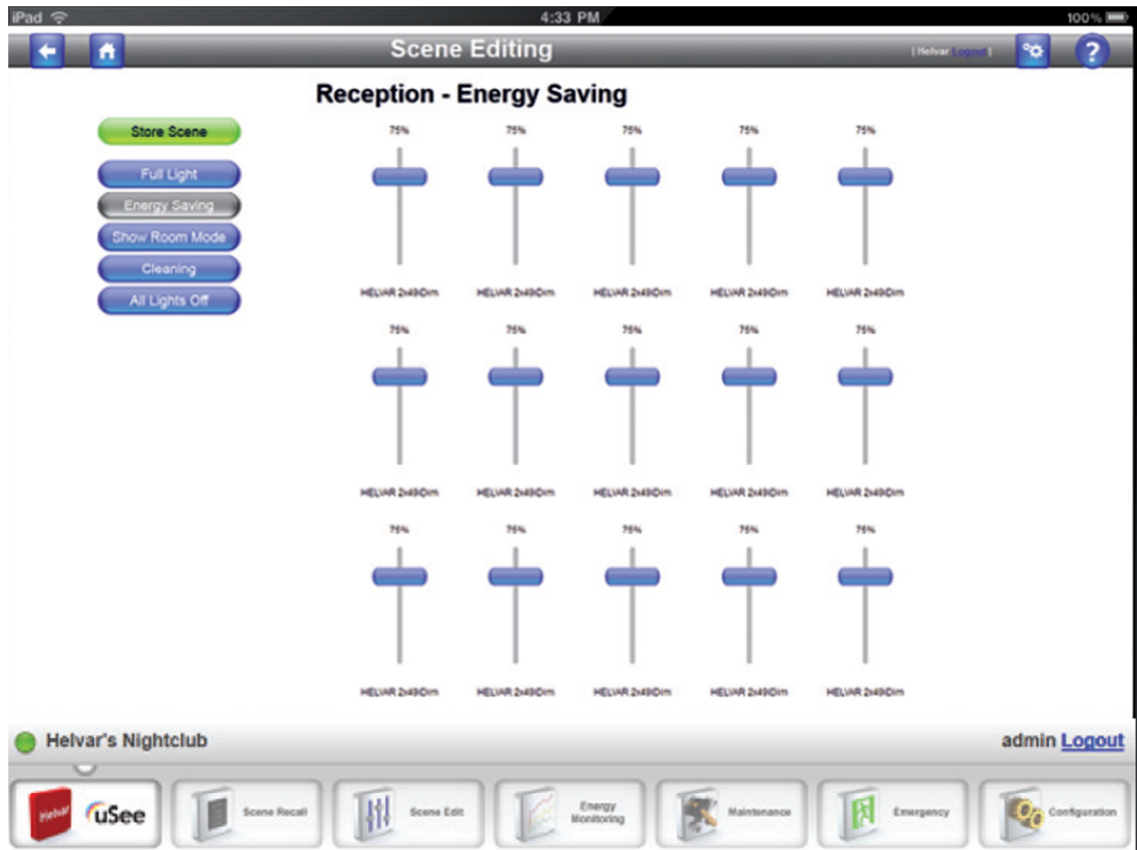
4.4.6 uSee –järjestelmäpalvelin

DALI-reititinjärjestelmään voidaan liittää uSee-palvelin, joka mahdollistaa valaistuksen reaaliaikaisen energiankulutuksen seurannan. Se mahdollistaa myös langattoman valaistuksen tilanneohjauksen Internet-pohjaisella sovelluksella esimerkiksi tietokonetta tai tablettia käyttäen. [18, s. 23.]



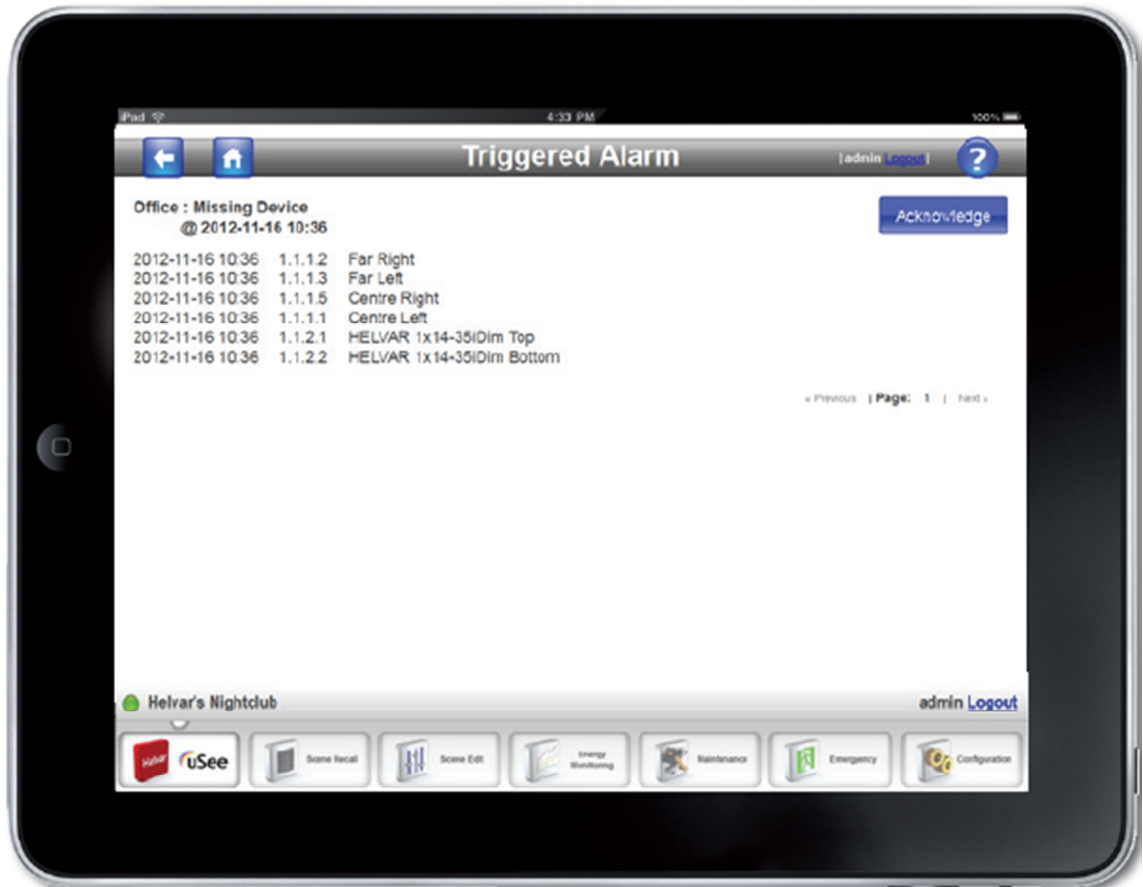
Kuva 21. Helvar uSee –järjestelmäpalvelin on tarkoitettu langattomaan etäkäyttöön ja reaaliaikaiseen valaistuksen energiankulutuksen seurantaan. [18]

uSee-järjestelmäpalvelin etsii automaattisesti reitittimillä toteutetun valaistuksen-ohjausjärjestelmän asetukset. Sen avulla on mahdollista vaihtaa valaistusjärjestelmän tilanteita ja tarvittaessa muokata niitä. [18, s. 23.] Kuvassa 22 esitetään uSee-käyttöliittymän tilanneohjauksen ja valaistustasojen muokkausvalikko.



Kuva 22. uSeen avulla on mahdollista muokata tilanteita ja säätää valaistustasoja

uSee-järjestelmäpalvelimen kautta on mahdollista saada järjestelmän lähettämiä viikailmoituksia, joten viallisen valaisimen, liitälaitteen tai palaneen lampun paikallistaminen on helppoa [18, s.23]. Vikailmoituksen voi myös asettaa lähetettäväksi sähköpostiin, mikä on huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä ajatellen tehokasta. Tarvittaessa järjestelmä ilmoittaa lamppujen ryhmävaihdon ajankohdan. Tämä edellyttää, että käyttäjä itse on haluamansa määräajan asettanut. Kuvassa 23 (ks. seuraava sivu) esitetään uSeen huoltovalikon näkymä.



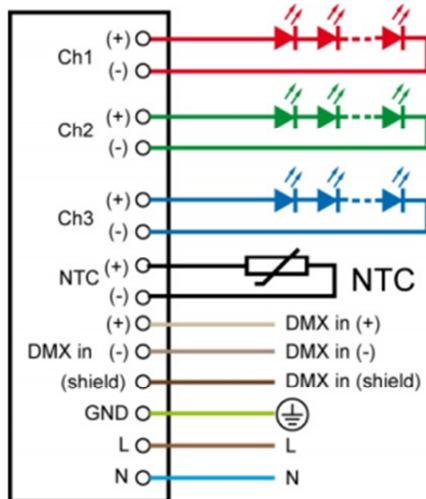
Kuva 23. Huoltovalikossa voidaan tarkastella järjestelmän tekemiä hälytyksiä. Järjestelmä ilmoittaa esimerkiksi lamppuvioista, järjestelmästä kadonneista laitteista sekä käyttötuntien täyttymisestä. Huolto- ja kunnossapitotehtäviä auttavat ilmoitukset saa tarvittaessa myös omaan sähköpostiosoitteeseen. [18]

4.5 Digitaalinen tietoliikenneprotokolla DMX

DMX (tai DMX 512) on lyhenne sanoista Digital Multiplex. Se on digitaalinen tietoliikenneprotokolla valaistuksen ohjaukseen. DMX-järjestelmällä voidaan ohjata samanaikaisesti 512 valaistuskanavaa. Järjestelmän etuna on suuri tiedonsiirtonopeus (jopa 250 kt/s). Suuren tiedonsiirtonopeuden ansiosta sillä voidaan käsitellä suuri määrä RGB-valopisteitä ja suorittaa nopeita värinvaihtoja. DMX-protokollaa käytetäänkin yleisimmin värillisten RGB-sovellusten ja säädettävien valkoisten valaistussovellusten valonsäätöjärjestelmänä. [19.]

DMX-järjestelmää voidaan ohjata esimerkiksi tietokoneella tai erillisellä valopöydällä. DMX-ohjausta voidaan hyödyntää myös Helvarin DALI-reititinjärjestelmässä.

Kuvassa 24 esitetään DMX-järjestelmää tukevan LC50-U-DX3 LED-liitäntälaitteen kytkennät. Siinä on muun muassa ulostulo jokaiselle värikanavalle erikseen sekä liitäntä tietokoneella suoritettavaa valaistuksen ohjausta varten.



Kuva 24. RGB-ohjaukseen tarkoitetun liitäntälaitteen kytkentä. Helvar LC50-U-DX3 LED-driver mahdollistaa jokaisen värikanavan itsenäisen ohjauksen tietokoneeseen liitettynä (*DMX in*).

5 Pohdintaa

Valaistustekniikan kehittyminen sekä esimerkiksi LED-valonlähteiden yleistymisen ja hankintahintojen pieneneminen vaikuttavat valaistuksen osuuteen rakennusten energiankulutuksesta. Valonlähteiden vaihtuminen energiatehokkaammiksi onkin pudottanut huomattavasti valaistuksen osuutta rakennusten energiankulutuksessa.

Vielä on kuitenkin paljon vanhanaikaisia valaistussovelluksia käytössä. Näiden päivityksellä älykkäiksi ohjattaviksi valaistussovelluksiksi on mahdollista saada huomattavaa säästöä valaistuksen energiankulutuksessa. Ledien hyvä säädettävyyden, ohjausjärjestelmien yleistymisen sekä kohtuullisen lyhyet takaisinmaksuajat puhuvat puolestaan. Tämän lisäksi kiristyneet energiatehokkuusdirektiivit sekä kansalliset energiansäästötavoitteet lähes edellyttävät valaistuksenohjausjärjestelmien käyttöä.

Työssä tutkittiin eri valaistuksenohjausjärjestelmien toiminnallisuuksia sekä erilaisia tapoja säästää valaistuksen energiankulutuksessa. On hyvä huomioida, että jo pelkääntään vanhan valaisintekniikan päivittämisellä on mahdollista saavuttaa merkittävää säästöä. Myöskään tarvittavia huoltotoimenpiteitä ei tule laiminlyödä. Valaistuksenohjausjärjestelmien toiminnallisuudet sekä entistä paremmat energiansäästömahdollisuudet kannattaa huomioida etenkin isoja tiloja suunnitellessa.

Tämän insinööriyön lopputuloksena syntyi valaisintekniikkaa ja valaistuksen ohjausta käsittelevä opas SLO Oy:n valaistuksen projektimyyntitiimille. Uskon, että oppaasta on hyötyä, sillä valaistuksen ohjauksen yleistyminen näkyy yhä enemmän päivittäisessä myyntityössä. Oppaan avulla eri järjestelmiin ja ohjaustapoihin tutustuminen on nopeaa, sillä oleellimmat asiat on saatu koottua yksiin kansiin. Lisäksi oppaassa esitetyt yksinkertaiset valaistuksenohjaustoteutukset antavat eväät yksinkertaisten ratkaisujen nopeaan esittämiseen asiakkaalle.

Lähteet

1. Pulli, Jouko. 2014. Valaistuksen myyjäkoulutus. Esitysmateriaali. Vantaa: SLO Oy.
2. Kallasjoki, Tapio. 2011. Energiatehokas valaistus. Koulutusmateriaali. Helsinki. Metropolia ammattikorkeakoulu.
3. Innojok Oy. Toimisto- ja työtilojen valaistus. Verkkojulkaisu. <<http://www.innolux.fi/valaistus/tyotilat.php>>. Luettu 21.2.2014.
4. Suomen standardoimisliitto SFS. 2011. SFS-EN 12464-1, Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Sähköinen julkaisu.
5. Ensto Oy. Valaistus. Verkkojulkaisu. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247.html>>. Luettu 30.1.2014.
6. Fagerhult Oy. Värintoistoindeksi. Verkkojulkaisu. <<http://www.fagerhult.com/fi/indoor/planering/technical-info>>. Luettu 11.2.2014.
7. SVS. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Taustaraportti. Versio 4.0. Verkkodokumentti. <http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf>. Luettu 24.2.2014.
8. Havells Sylvania. Tekniset tiedot. Verkkojulkaisu. <http://www.havells-sylvania.com/fi_FI/lighting-help-centre/technical-information>. Luettu 3.3.2014.
9. Fagerhult Oy. LENI-luku. Verkkojulkaisu. <<http://www.fagerhult.fi/indoor/planering/energidirektivet/berakna-lenitalet.asp>>. Luettu 11.2.2014.
10. Ympäristöministeriö. 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Verkkodokumentti. <http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf>. Luettu 12.3.2014.
11. Riikkula, Jukka. 2014. DALI perusteet ja reititin. Koulutusmateriaali. Vantaa. Helvar Oy.
12. Servodan. 2014. Tuotekortti 41-047. <<http://www.servodan.com/product/41-047>>. Luettu 10.3.2014.

13. UTU Oy. 2014. Tuotekortti EE18x.
<www.hager.se/files/...1/.../XP1_EE180_1_FI_SE_6E6333_04A_A4.PDF>. Luettu 10.3.2014.
14. Fagerhult Oy. 2014. Valonsäätö. Verkkodokumentti.
<www.fagerhult.fi/valonsaato.pdf>. Luettu 12.3.2014.
15. Glamox Luxo Lighting Oy. Valaistuksen ohjaaminen. Verkkojulkaisu.
<<http://glamox.com/fi/valaistuksen-ohjaaminen>>. Luettu 13.3.2014.
16. Tridonic. LuxCONTROL lighting control system. Tuotekortti.
<http://www.tridonic.com/com/en/download/data_sheets/DS_smartDIM_SM_lp_en.pdf />. Luettu 12.3.2014.
17. Etelälähti, Miikka. 2013. Valonohjaus nyt ja tulevaisuudessa. Esitysmateriaali.
Vantaa. Helvar Oy.
18. Helvar Oy. 2014. Helvar reititinjärjestelmät. Verkkodokumentti.
<http://www.helvar.com/sites/default/files/RouterSystems_web_FI.pdf>. Luettu 14.3.2014.
19. Osram. 2014. Valonsäästöjärjestelmät. Verkkojulkaisu.
<http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tie-dot/valonsaaetoerjestelmae/teknologiat/dmx/index.jsp?search_result=%2fosram_fi%2fsearch%2fadvanced_search.jsp%3faction%3ddosearch%26inp_searchterm_1%3ddmx%2bso%26website_name%3dosram_fi>. Luettu 17.3.2014.

Standardissa SFS-EN 12464-1-2011 annettuja arvoja

TILA	TYÖTEHTÄVÄ	Em [lx]	UGRL	Ra	HUOMAUTUKSET
Julkiset kokoonmistilat	Eteiset	100	22	80	
Julkiset kokoonmistilat	Odotusaulat	200	22	80	
Julkiset kokoonmistilat	Vaatesäilöt	200	25	80	
Julkiset kokoonmistilat	Lippuolmistorot	300	22	80	
Kirjastot	Kirjahyllyt	200	19	80	
Kirjastot	Lukualue	500	19	80	
Kirjastot	Palvelutiskit	500	19	80	
Lepohuoneet, saniteettitilat ja ensiapuhuoneet	Vaatehuoneet, pesutilat, kylpyhuoneet, WC:t	200	25	80	
Liiketilät	Kassa-alue	500	19	80	
Liiketilät	Pakkauspöytä	500	19	80	
Oppilaitokset	Kulkuväylät, käytävät	100	25	80	
Oppilaitokset	Opetusvälinevarasto	100	25	80	
Oppilaitokset	Portaat	150	25	80	
Oppilaitokset	Kirjasto: kirjahyllyt	200	19	80	
Oppilaitokset	Kouluuokalot	200	22	80	
Oppilaitokset	Oppilaiden yhteistilat ja kokoonmistilat	200	22	80	
Oppilaitokset	Sisäänkäyntihallit	200	22	80	
Oppilaitokset	ATK-luokat (valikko-ohjaus)	300	19	80	Näyttöpäätely
Oppilaitokset	Kielilaboratoriot	300	19	80	
Oppilaitokset	Luokkahuoneet, opetustilat	300	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
Oppilaitokset	Musiikkiluokat	300	19	80	
Oppilaitokset	Opettajainhuoneet	300	19	80	
Oppilaitokset	Urheiluhallit, voimistelusalit, uima-altaat (yleinen käyttö)	300	22	80	Tarkemmin määritellyissä toiminnoissa tulee noudattaa standardin EN 12464-1 vaatimuksia.
Oppilaitokset	Harjoitusosalit ja laboratoriot	500	19	80	
Oppilaitokset	Havaintopöytä	500	19	80	Luento-saleissa 750 lx.
Oppilaitokset	Keittiö	500	22	80	
Oppilaitokset	Kirjasto: lukualueet	500	19	80	
Oppilaitokset	Käsityöluokat	500	19	80	
Oppilaitokset	Liitutaulu	500	19	80	Suuntaheijastumisia vältettävä.
Oppilaitokset	Luento-sali	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
Oppilaitokset	Luokkahuoneet iltaikäyttöä ja aikuisopiskelijoille	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
Oppilaitokset	Piirustussalit	500	19	80	
Oppilaitokset	Teknisen työn opetustilat	500	19	80	
Oppilaitokset	Valmisteluhuoneet ja työpajat	500	22	80	
Oppilaitokset	Teknisen piirustuksen salit	750	19	80	
Oppilaitokset	Piirustussalit taidekouluissa	750	19	90	Tcp≥5000K
Teatterit, konserttisalit, elokuvateatterit	Harjoitusosalit, pukuhuoneet	300	22	80	Ehostuspeilin valaistus ei saa aiheuttaa häikäisyä
Toimistot	Arkistot	200	25	80	
Toimistot	Arkistointi, kopiointi, jne.	300	19	80	
Toimistot	Vastaanottotiski	300	22	80	
Toimistot	CAD-työasemat	500	19	80	Näyttöpäätely
Toimistot	Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen,	500	19	80	Näyttöpäätely
Toimistot	Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
Toimistot	tietojenkäsittely	500	19	80	Näyttöpäätely
Toimistot	Tekninen piirtäminen	750	19	80	
Varastot, kylmät varastot	Varastotilat	100	25	60	
Varastot, kylmät varastot	Varastotilat (työskentely jatkuvaa)	200	25	60	
Varastot, kylmät varastot	Lähtämö- ja käsittelyalueet	300	25	60	