



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Timo Jokimies

Valaistuksen ohjauksen suunnittelu toimistorakennukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

31.5.2019

Tekijä Otsikko	Timo Jokimies Valaistuksen ohjauksen suunnittelu toimistorakennukseen
Sivumäärä Aika	92 sivua + 1 liite 31.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	suunnittelupäällikkö Siinto Kangas lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Insinöörityön tavoitteena oli laatia ohje uudelle sähkösuunnittelijalle valaistuksen ohjauksen suunnitteluun. Työtä varten kerättiin lähteiksi lakitekstiä, standardeja, ST-kortteja, valaistustutkimuksia, valaistussuunnittelukirjoja, ympäristöluokituskriteereitä, laite- ja järjestelmäkohtaista teknistä tietoa ja RT-tehtäväluettelo. Lähdetietoa tutkittiin, vertailtiin ja koottiin yhteen ohjeeksi, joka käsittelee ohjauksen suunnittelua toimistorakennuksen näkökulmasta. Työn tuloksena syntyi tilaajayritykselle Vahanen Talotekniikka Oy:lle suunnitteluopas.</p> <p>Työn aluksi esiteltiin suunnittelutyötä ohjaavaa ja opastavaa materiaalia, sekä niiden velvoittavuutta ja vaikutuksia ohjauksen suunnitteluun. Sisätyöpaikkojen valaistusstandardin uutta ylempää valaistusvoimakkuuden vaatimusta käsitellessä todettiin, että muutoksella on potentiaalisesti suuri vaikutus ohjauksen suunnitteluun.</p> <p>Ympäristöluokitusten kriteerejä tutkittiin ohjausteknisten ratkaisujen ja ratkaisuilla saavutettavien vaikutusten mahdollisuuksien kannalta. Luokitusten välillä havaittiin yhtenäiset mahdollisuudet vaikuttaa luokitustasoon valaistuksen ohjausratkaisuilla.</p> <p>Työssä esiteltiin valaistuksen ohjaustapojen ja ohjausjärjestelmien toimintaa, sekä ohjeistettiin niiden suunnittelua lähdemateriaalin ja suunnittelukokemuksen pohjalta. Ohjausratkaisujen soveltumista toimistorakennukseen vertailtiin tutkimusten pohjalta ja ohjeistettiin toimistorakennuksen tilojen ja käyttäjien tarpeiden kannalta, kuinka eri tilojen valaistuksen ohjausta on soveltuvinta toteuttaa. Todettiin, että suunnittelussa tilatyypin rajaa ohjaustavan vaihtoehdot, joista soveltuvin ratkaisu valitaan tilan ominaisuuksien perusteella.</p> <p>VAL12-tehtäväluettelo tutkittiin ohjauksen suunnittelun näkökulmasta ja esiteltiin sen avulla suunnitteluprosessia ja suunnittelijalta vaadittavia asiakirjoja. Havaittiin, että tehtäväluettelo soveltuu hyvin sekä suunnittelun että rakentamisen vaatimukset yhdistäväksi työkaluksi.</p>	
Avainsanat	valaistuksen ohjaus, toimisto, DALI, VAL12, ympäristöluokitukset, ihmiskeskeinen valaistus

Author Title	Timo Jokimies Planning of lighting control for an office building
Number of Pages Date	92 pages + 1 appendice 31 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Siinto Kangas, Team Leader Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to create a manual for the planning of lighting control for a new electrical planner. Various rules, regulations and othe material directing and guiding the planning work was collected, and their obligations and effects on lighting control planning were discussed. Previous studies were used to establish suitable solutions for office buildings. Furthermore, the possibilities of affecting the energy rating of a building through lighting control solutions were studied.</p> <p>The thesis established, that the change in the recommended illuminance values in work place lighting may have a great effect on the planning of lighting control.</p> <p>Furthermore, it was shown that the criteria of the building energy rating system offer several possibilities for positive outcomes across the systems. In addition, it was demonstrated that the type of space limits the suitable control methods as the use of a space defines the most suitable method. Finally, the Finnish tasklist VAL12 was shown to be a good planning tool.</p> <p>The thesis can be used as a guide when planning lighting control methods and control systems. The thesis also includes a guide for the most suitable implementation of lighting control in various spaces.</p>	
Keywords	lighting control, office, DALI, VAL12, building rating systems, human centric lighting

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Määräykset, standardit ja ohjeet	3
2.1	Määräykset	3
2.2	Standardit	4
2.3	Ohjeet	5
3	Valaistuksen ohjauksen tavoitteet	7
3.1	Energiansäästö	7
3.2	Käytännöllisyys	12
3.3	Hyvinvointi	13
3.4	Estetiikka	15
4	Ympäristöluokitukset ja toimistojen valaistuksen ohjaustekniset kriteerit	16
4.1	BREEAM	17
4.2	LEED v4	19
4.3	WELL v2	22
4.4	RTS-ympäristöluokitus	28
5	Valaistuksen ohjaustavat ja ohjauslaitteet	31
5.1	Manuaalinen ohjaus	31
5.1.1	Kytkinohjaus	31
5.1.2	Painonapit	33
5.1.3	Tilanneohjaus	33
5.1.4	Himentäminen	35
5.1.5	Etäohjaus mobiililaitteilla	36
5.2	Automaattiohjaus	37
5.2.1	Liike- ja läsnäolo-ohjaus	37
5.2.2	Aikaohjaus	40
5.2.3	Hämäräkytkimet ja hämäärohjaus	41
5.2.4	Vakiovalo-ohjaus	42
5.2.5	Akustinen ohjaus	45
5.3	Ohjaustapojen vertailu ja valintaperusteet toimistoon	47
6	Ohjausjärjestelmät	51

6.1	Suorapainikeohjaus	52
6.2	DSI	54
6.3	DALI	55
6.4	KNX ja KNX/DALI-integraatio	58
6.5	Langattomat ohjausprotokollat	61
6.6	Millainen ohjausjärjestelmä toimistoon?	63
7	Valaistuksen ohjaus toimistorakennuksen eri tiloissa	67
7.1	Avotoimisto	69
7.2	Toimistohuone ja suljetut pysyvän käytön tilat	71
7.3	Väliaikaisen käytön tilat	72
7.4	Neuvotteluhuoneet ja auditoriot	73
7.5	Tauko- ja ruokailutilat	73
7.6	Porrashuoneet	74
7.7	Ulkovalaistus	77
7.8	Pysäköintihalli	77
8	Valaistuksen ohjauksen suunnitteluprosessi VAL12-tehtäväluettelon mukaisesti	80
8.1	Tarveselvitys	80
8.2	Hankesuunnittelu	81
8.3	Suunnittelun valmistelu	82
8.4	Ehdotussuunnittelu	82
8.5	Yleissuunnittelu	85
8.6	Toteutussuunnittelu	87
8.7	Rakentamisen valmistelu ja rakentaminen	88
8.8	Käyttöönotto ja takuu aika	89
9	Yhteenveto	91
	Lähteet	93
	Liitteet	
	Liite 1. Valonlähdekohtaiset melanooppiset kertoimet (R)	

Lyhenteet

BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Iso-Britanniassa kehitetty kansainvälinen ympäristösertifikointijärjestelmä rakennuksille.
CLO	Constant Light Output. Vakiovalojärjestelmä, jolla liitäntälaitte kompensoi valonlähteen luonnollisen valovirran aleneman.
DALI	Digital Addressable Lighting Interface. Yleisin käytössä oleva valaistuksen ohjausjärjestelmä.
DMX 512	Digital Multiplex. Esitysvalaistuksen ja laitteiden ohjaukseen kehitetty ohjausjärjestelmä.
DSI	Digital Serial Interface. Ensimmäinen digitaalinen valaistuksen ohjausjärjestelmä.
GBCI	Green Building Certification Incorporated. USGBC:n alainen organisaatio, joka tarkastaa LEED-sertifikointihakemuksia, minkä perusteella luokitukset myönnetään.
HF-tunnistin	Suurtaajuusanturin avulla toimiva tunnistin, jota voidaan käyttää valaistuskyskimenä. Lyhenne sanoista High Frequency
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America. Yhdysvaltain ja kanadan valaistusjärjestö, joka säätelee Pohjois-Amerikan valaistusstandardit ja -suositukset.
ipRGC	Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. Silmän gangliosoluja, jotka näkötoimintojen sijaan säätelevät valon mukaan vuorokausirytmää. Gangliosolujen valoherkkyys painottuu eri aallonpituuksille kuin tappi- ja sauvasoluilla.
KNX	Lyhenne sanasta Konnex. Standardoitu taloautomaatiojärjestelmä.

- LEED Leadership in Energy and Environmental Design. Yhdysvalloissa kehitetty kansainvälinen ympäristösertifikaatiojärjestelmä rakennuksille.
- LENI Lighting Energy Numeric Indicator. Valaistuksen energiatehokkuusindikaattori, joka kuvaa rakennuksen valaistuksen energiatarvetta vuotta kohden.
- PIR Passive Infrared. Infrapunatekniikkaan perustuva tunnistinlaiteteknologia.
- USGBC U.S. Green Building Council. Yhdysvaltalainen LEED-ympäristöluokitusta hallinnoiva voittoa tavoittelematon organisaatio.
- US-tunnistin Ultraäänianturin avulla toimiva tunnistin, jota voidaan käyttää valaistuskysymyksenä. Lyhenne sanasta Ultrasound.
- VAK Valvonta-alakeskus. Kiinteistöautomaation ohjaamiseen ja hallintaan tarkoitettu keskus.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tilaajayrityksenä toimi Vahanen Talotekniikka Oy. Tilaajan määrittämäksi insinööriyön tavoitteeksi tuli, että valmis työ toimisi oppaana ja ohjeena, jonka avulla uusi sähkö/valaistussuunnittelija voi oppia, kuinka valaistuksen ohjauksen suunnittelua tehdään. Työ kirjoitettiin toimistorakennuksen suunnittelun näkökulmasta, sillä silloinen työprojekti liittyi aiheeseen, mutta teksti on laadittu siten, että sen avulla ymmärtää suunnitteluperiaatteet myös yleisesti.

Valaistuksen ohjauksen kannalta toimisto on haastava suunnittelukohde. Tilojen, kuten avotoimistojen käyttöaste voi vaihdella hyvin paljon, sekä ympäristö suosii ja sallii dynaamista valaistuksen vähentämistä ja lisäämistä. Haasteena on ohjauksen kohdistaminen sekä alueellisesti että ajallisesti siten, etteivät toimiston valaistusta tarvitsevat alueet jää pimeiksi ja että riittävä valaistuksen tasaisuus säilytetään. Runsaan energiankulutuksen vähentämisen ohella ohjausratkaisuilla voidaan lisätä sekä käyttäjämukavuutta että tilankäytön joustavuutta. Vilkkumaton ja kylmän kirkas LED-valo virkistää käyttäjiä, mutta biorytmisen ohjauksen avulla säädettävistä ledeistä saadaan hyödynnettyä täysi hyvinvointia tukeva potentiaali. Työ pyrkii kertomaan, mitä valaistuksen ohjauksella voidaan saavuttaa.

Ympäristöluokitukset ovat yhtenä esimerkkinä siitä, mitä edistyneellä ohjauksen suunnittelulla voidaan edesauttaa saavuttamaan. Työssä käsitellään Suomessa yleisimmin käytettyjä ympäristöluokitusjärjestelmiä, joista jokaisesta kerrotaan erikseen, mitä kriteerejä toimistorakennuksen valaistuksen ohjauksen osalta niissä esitetään pisteiden saamisen edellytyksiksi. Lisäksi kerrotaan, miten kriteerit täyttävät ratkaisut voidaan suunnitella.

Markkinoilla on tarjolla erittäin paljon ratkaisuvaihtoehtoja valaistuksen ohjauksen toteuttamiseen, joten työssä päätettiin käsitellä, millaisia ohjaustapoja ja ohjausjärjestelmiä on tarjolla, sekä mitkä niissä käytettävien laitteiden toimintaperiaatteet ovat. Samalla ohjaustavoista kerrotaan toimistorakennukseen soveltuvia ratkaisuja ja suunnitteluohjeita. Eri ohjaustapojen sekä ohjausjärjestelmien soveltuvuutta toimistokohteeseen vertaillaan keskenään, sekä lisäksi työssä käsitellään tilatyypikohtaisia ohjaustapojen ja –järjestelmien valintaperusteita ja suunnittelua.

2 Määräykset, standardit ja ohjeet

2.1 Määräykset

Velvoittavia lakeihin nojaavia määräyksiä rakennuslalla jakavat ministeriöt, kuten ympäristöministeriö, joka antaa rakentamista ohjaavia asetuksia, sekä työ- ja elinkeinoministeriö, joka laatii sähköturvallisuuslain eduskunnan säädettäväksi.

Ympäristöministeriö on laatinut maankäyttö- ja rakennuslakiin nojaavia asetuksia, tai toiselta nimeltään rakentamismääräyksiä, joista Suomen rakentamismääräyskokoelma koostuu. Näistä asetuksista kaksi on sellaisia, jotka käsittelevät valaistusta ja kuinka sitä toteutetaan. *Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta*, joka kuuluu terveellisyyttä käsittelevään rakentamismääräyskokoelmaan, sisältää laillisen perusteen tilan käyttötarkoituksen mukaiselle valaistuksen ohjaukselle:

7 § Rakennuksen sisätiloissa on voitava ylläpitää näkötehtävän edellyttämää valaistusta tilojen suunniteltuna käyttöaikana. Valaistuksen ryhmittely ja ohjaus on suunniteltava siten, että valaistusta voidaan ohjata toimintojen mukaisesti. (1.)

Pykälän 7 mukaisesti valaistuksen ohjauksen avulla tulee voida muuttaa valaistusta tilan näkötehtävää varten ja kytkeä valaistusta päälle ja pois tarpeen mukaan. Käytännössä esimerkiksi toimistotilassa työskentelyyn tarvittavaa valaistusta tulee olla saatavilla käyttäjän sitä halutessa ja valo tulee olla myös kytkettävissä pois. Määräys ei kuitenkaan velvoita, että samalla työpisteellä tulisi olla mahdollista saada luksitasoa nostettua, tai laskettua sitä pienemmäksi sulkematta valaistusta. Määräyksessä ei myöskään määritellä ”näkötehtävän edellyttämää valaistusta” lainkaan. Kansalliset valaistusstandardit, kuten ensi luvussa käsiteltävä sisätyöpaikkojen valaistusstandardi, kuitenkin määrittävät näkötehtäväkohtaisesti vaadittuja valaistuksen arvoja, joiden mukaan suunnittelua tehdään ensisijaisesti, ellei tilaajan kanssa ole erityisiä vaatimuksia velvoittavasti sovittu. Sisävalaistusstandardi eivätkä muutkaan standardit ole kuitenkaan laillisesti velvoittavia, vaan niistä voidaan joustaa poikkeavin ratkaisuin, jos ne voidaan todentaa käyttötarkoitukseen sopiviksi.

Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta käsittelee rakennusten energiatehokkuutta ja E-luvun laskentaa. Valaistuksella on osuutensa kiinteistöjen energiankulutuksessa ja E-luvun muodostumisessa, mutta eri ohjaustavoilla saadaan alentavia painotuskertoimia valaistuksen tulokseen ja täten lopulliseen E-lukuun. (2, s.

3.) Asetuksessa ei kuitenkaan aseteta vaatimuksia, kuinka ohjaus tulee toteuttaa. Energiatehokkuutta ja E-lukua käsitellään tarkemmin luvussa 3.1.

Työ- ja elinkeinoministeriön laatimassa ja eduskunnan säätämässä sähköturvallisuuslaissa ei ole erikseen valaistuksen ohjausta koskevia säädöksiä tai teknisiä vaatimuksia. Valaistuksen ohjausta suunnittelevan valaistussuunnittelijan kannalta kyseisen lain oleellisin pykälä koskeekin ohjausjärjestelmän turvallisuusvaatimuksia:

31 § Sähkölaitteiston turvallisuusvaatimukset

Sähkölaitteisto on suunniteltava, rakennettava ja korjattava hyvän turvallisuusteknisen käytännön mukaisesti – –. (3.)

Käytännössä pykälä 31 velvoittaa esimerkiksi oikeiden johtimien käytön ja niiden läpimittojen sekä sallittujen maksimipituuksien tarkistamista, laitteistojen yhteensopivuuden ja päällekkäiskäytön toiminnan varmistamista ja oikeiden jännitteiden syöttämistä ohjausjännitepiireihin.

2.2 Standardit

Sähköturvallisuuslaki nojaa paljon suunnitteluteknistä vastuuta standardeihin. Kun ohjausjärjestelmän suunnittelu on lain mukaan ”tehtävä hyvän turvallisuusteknisen käytännön mukaisesti”, tulee se toisin sanoen tehdä *SFS 6002 Sähkötyöturvallisuusstandardin* vaatimusten mukaan. Mikään standardi ei silti kerro, kuinka valaistusta tulee missäkin tilanteessa tai tapauksessa ohjata.

Valaistussuunnittelijan tulee kuitenkin huomioida ohjausta suunnitellessa, että valaistus täyttää sisätyöpaikkojen valaistusstandardin *EN 12464-1* asettamat arvot. Huomioitavaa on esimerkiksi, etteivät automaattiset ohjaukset, kuten esimerkiksi vakiovalo-ohjauksen himmennys säädä tilan valaistusvoimakkuuksia allittamaan standardin vaatimia arvoja. Tässä työssä käsiteltävien ympäristöluokitusten valaistuskriteerit sisältävät ehtoina monia samaisessa standardissa lueteltuja suosituksia.

EN 12464-1-standardin uuteen versioon on lausuntokierroksella olevan standardiluonnoksen mukaan tulossa muutos, jolla voi olla merkittävä vaikutus

valaistuksen ohjaukseen. Nykyisen valaistusvoimakkuuden vaatimuseron E_m rinnalle on tulossa uusi suositeltu valaistusvoimakkuusarvo, joka on 1-2 porrasta (keskimäärin tuplata) arvoa E_m suurempi. Korotettu arvo lisätään, jotta työskentelyvalaistusta saadaan tarpeen vaatiessa lisättyä, helpottamaan tehtävissä, joissa tarvitaan runsaasti enemmän näkö tarkkuutta, ja tukien ihmisiä, jotka tarvitsevat standarditasoa enemmän valoa työskentelyyn. (4.)

Uusi muutos tarkoittaa, että suosituksen mukaisissa, työskentelyyn tarkoitetuissa rakennuksissa siirryttäisiin päälle/pois-ohjauksesta himmennuksen ohjaukseen (tai vaihtoehtoisesti lisätään työpöytävalaisimia). Tämä vaikuttaisi suuresti käytettäviin valaisimiin ja ohjauslaitteisiin. Valaisimet voivat tulla joko säädettäviksi tai kaksiasentoisiksi, jolloin valaisimessa on kaksi erikseen ohjattavaa valonlähdettä tai valonlähderyhmää. Valaisimilta vaaditaan myös tuplasti enemmän valaistusvoimakkuuden tuottoa. Ohjaukseen tarvitaan kytkin seinälle tai valaisimeen, tai vaihtoehtoisesti ohjaus on tehtävä kauko-ohjaimella tai mobiilisovelluksella. Huomioitavaa on myös, että säädettävä valaistus tarkoittaa henkilökohtaista ohjausta. Esimerkiksi avotoimiston valaistusta tulee uuden suosituksen mukaisella toteutuksella voida ohjata työpistekohtaisesti, koska jos yksittäinen työntekijä tarvitsee hetkeksi valaistuksen tehostusta, eivät hänen vierustoveriensä työpisteiden valaisimet saisi säätyä samalla. Muutoksella on mahdollisesti suuri vaikutus valaistuksen ohjaamiseen sen ollessa EU:n ja Efta-maiden laajuinen (5).

2.3 Ohjeet

Valaistusalalla toimii useita yrityksiä ja tuotevalmistajia, jotka tarjoavat ohjeita ja tuotekatalogeja, joilla usein markkinoidaan tuotteita. Kaupallinen materiaali on kattava ja keskeinen alan tiedonlähde esimerkiksi ohjauslaitteita ja -järjestelmiä vertaillessa ja suunnitellessa. Kaupallisista intresseistä seuraa toki kysymys luotettavuudesta, jonka takia lähdekriittisyyttä kannattaa noudattaa kaupallisia ohjeita käyttäessä. Ilmoitetut tekniset tuoteominaisuudet ja suunnitteluohjeet ovat kuitenkin tietoa, jota suunnittelija tarvitsee usein, sekä niihin tulee voida luottaa. Valmistajankin kannattaa ilmoittaa tarkkaa ja todenmukaista tietoa luotettavuuden ylläpitämiseksi ja laillisten seurausten välttämiseksi.

Tuotevalmistajien lisäksi on olemassa yhdistyksiä, jotka jakavat tietoa ja pyrkivät edistämään sähkö- ja valaistusalan toimintaa, kuten Sähkötieto ry ja Suomen valoteknillinen seura. Sähkötieto pyrkii edistämään sähköisen talotekniikan alan työtapoja sekä sidosryhmien yhteistyötä ja tiedonvaihtoa. Sähkötieto julkaisee kustantajayhtiönsä Sähköinfo ry:n kautta ST-kortteja ja ST-käsikirjoja, joihin on tiivistetty eri tehtävien asiantuntijoiden tietoa ja ohjeita lukuisista eri sähkötöistä, erilaisissa tiloissa ja ympäristöissä. Sähkötiedon julkaisut poikkeavat Sähköinfon julkaisuista ollen pääosin verkkojulkaisuja ja koskien sähköistä talotekniikkaa. (6.) ST-julkaisut ovat saatavilla maksullisena Sähköinfon ylläpitämän verkkopalvelu Severin kautta. Valaistuksen ohjauksen suunnitteluun soveltuvimmat ST-julkaisut ovat

- ST 58.31 Valonlähteiden säätö ja ohjaus
- ST 58.04 Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen
- ST 58.06 Valaistuksen tavoitteet ja valaistuksen tavoitteiden toteutus
- ST 58.02 Valaistuksen toteutus standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti
- ST-käsikirja 23 KNX-järjestelmän perusteet.

Suomen valoteknillinen seura, SVS, toimii kansallisena valaistusjärjestönä, joka edustaa Suomea kansainvälisessä valaistustoiminnassa. Kotimaassa yhdistys toimii valaistusalan eri sidosryhmien tiedonvaihdon ja yhteistyön alustana ja toimintaan voi osallistua liittymällä jäseneksi. Kirjallista materiaalia sekä koulutuksia seuralla on tarjolla jäsenyydestä riippumatta. (7.) Siinä missä Sähkötietoa voidaan kuvailla tietopankkina, toimii SVS valaistusalan tiedonvälittäjänä, yhteisönä ja eräänlaisena keskustelualustana.

Muita ohjaustekniikan tiedonlähteitä ovat kirjat, joista esimerkkeinä on valaistusta laaja-alaisesti käsittelevä perusteos IESNA Lighting Handbook sekä Lighting Controls Handbook, jotka eivät nykypainoksiltaan ole ajankohtaisimpia ohjaustekniikan kannalta. Tieteelliset julkaisut ja tutkimuslaitosten tekemä työ tarjoavat alalla uusinta tietoa. Tutkimustiedon ja tuotevalmistajien kehitystyön mukaan alan standardit kehittyvät, minkä perusteella ohjeita, kuten ST-kortteja muutetaan.

3 Valaistuksen ohjauksen tavoitteet

Rakennusten valaistuksen ohjauksen tavoitteena on lisätä energiansäästöä ja käytännöllisyyttä sekä parantaa hyvinvointia koskevia ja esteettisiä ominaisuuksia, joista kaikilla on moniulotteisia vaikutuksia kiinteistöön ja sen sidoshenkilöihin. Samat tavoitteet koskevat toimistoympäristöä, joista eri tilojen ohjauksen suunnittelua voivat ohjata eri tavoitteet tai niiden yhdistelmät. Onnistuneesti suunniteltu valaistuksen ohjaus täyttää sille asetetut tavoitteet ja tuo kiinteistölle lisäarvoa. Tarpeita tulee tarkastella kiinteistön omistajien ja kiinteistön käyttäjien näkökulmasta, ja ne tulee selvittää suunnittelun alkuvaiheessa yhteistyössä tilaajan ja pääsuunnittelijan kanssa.

3.1 Energiansäästö

Valaistuksen kannalta toimistoissa kiinteistön/yrityksen omistajan näkökulmasta usein raha ratkaisee. Korkean hyötysuhteen omaavien valaisinten valinnan lisäksi suurinta energiansäästöä aikaansaadaan, kun käytetään tehokasta, monipuolista ja ennen kaikkea tarkoituksenmukaista valaistuksen ohjausta. Toimivalla ohjauksen suunnittelulla toimitilarakennuksessa, kuten toimistossa valaistuksen energian kulutuksesta voidaan leikata yli puolet pois riippuen lähtökohdista. Tällöin kalliitkin investoinnit ohjausjärjestelmiin maksavat itsensä takaisin. (8, s. 3.)

Toimiston valaistus palvelee pääosin työntekijän työskentelyolosuhteita. Verraten toimistovalaistusta muihin ympäristöihin, liiketiloissa valaistus palvelee myös asiakkaita, jolloin valaistusta vähentämällä asiakasviihtyvyyttä laskee. Teollisuusympäristössä valaistus palvelee tuotantoprosessia ja turvallista työskentelyympäristöä. Teollisuuden ryhmäkeskeisempi työskentely vaatii kattavampaa valaistusta, eikä valaistusta voi ohjata sammumaan lyhytviiveisesti eikä laajasti sen toimiessa oleellisena turvallisuustekijänä. Mikäli toimiston työpistevalaisin on henkilökohtainen, voidaan se sammuttaa työpisteeltä, kun työntekijä ei ole paikalla, eikä siitä ole haittaa muille, ellei yleisvalaistus laske liikaa. Toimistotyössä on tapana poistua pidemmäksi aikaa omalta työpisteeltä, esimerkiksi kokouksiin, tapaamisiin ja kohdekäynteihin lähtiessä, tai etätyötä tehdessä. Toimistoympäristö tarjoaa hyvät olosuhteet valaistuksen dynaamiseen rajaukseen, mikä edesauttaa energiankulutuksen vähentämistä.

Sen lisäksi, että ohjausteknisillä ratkaisuilla saatava alhainen sähkönkulutus tuo suoraa rahansäästöä, on ohjaamisella monenlaisia epäsuoria hyötyjä. Se nostaa kiinteistön arvoa, varsinkin jos rakennuksen E-lukua saadaan laskettua. Ledivalaisimien kohdalla myös himmennyksellä saadaan paljon etuja: Himmennettynä palavien ledien osat pysyvät viileämpinä kuin täydellä teholla palaessa, joten himmentäminen lisää ledien elinikää, sillä diodin lämpeneminen on iso ledin elinikää lyhentävä tekijä (9). Ledejä himmentäessä ja niiden käydessä viileämpinä, samalla kasvaa niiden hyötysuhde (10 s. 6). Valaisinten elinikä paranee myös, kun tarpeettomasti valaisevia valaisimia sammutetaan automaattisella ohjauksella, jolloin aikaa ja rahaa säästyy valaisinten vaihtovälin kasvaessa. Energiaa säästävä valaistuksen ohjaus pienentää samalla rakennuksen hiilijalanjälkeä, jolloin säästetään myös ympäristöäkin.

Valaistuksen osuuden laskenta E-luvusta ja toimistojen energiavaatimukset

Rakennusten energiatehokkuuden vertailuvulla, eli E-luvulla kuvataan rakennusta koskeva ostoenergian muodon perusteella painotettu ostoenergia jaettuna lämmitetyllä nettoalalla, vuotta kohden. E-luvun yksikkönä on kWh/m². Laskettuun E-lukuun perustuu rakennuksen energiatodistus, joka vaaditaan rakennusluvan saamiseksi kaikkiin muihin rakennuksiin, paitsi alle 50-neliöisiin rakennuksiin ja ei-kaupallisiin loma-asuntoihin. (11.)

Asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta kullekin rakennustypille on määritetty ylin E-luvun raja-arvo, joka täytyy alittaa. Taulukossa 1 toimistorakennukset ovat oma luokkansa (luokka 3) ja niiden E-luvun raja-arvoksi on asetettu 100 kWh/m². (2, s. 3.) Vuoden 2012 asetuksessa arvona oli 170 kWh/m². Tämä tarkoittaa sitä, että viidessä vuodessa määräyksen energiatehokkuusvaatimusta on tiukennettu 41 prosenttia.

Taulukko 1. E-luvun ylimmät raja-arvot lueteltuna käyttötarkoitukseluokittain (2, s. 3).

Käyttötarkoitukseluokka	E-luvun raja-arvo kWh _F /(m ² a)
Luokka 1) Pienet asuinrakennukset: a) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on 50–150 m ² b) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on enemmän kuin 150 m ² kuitenkin enintään 600 m ² c) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on enemmän kuin 600 m ² d) Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa	200–0,6 A _{netto} 116–0,04 A _{netto} 92 105
Luokka 2) Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäistavarakaupan alle 2000 m ² yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkot	100
Luokka 7) Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia	100
Luokka 8) Sairaala	320
Luokka 9) Muu rakennus, varastorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakaupan alle 2000 m ² yksikkö, siirtokelpoinen rakennus	ei raja-arvoa

Valaistus- ja kuluttajalaiteosuus rakennuksen vuotuisesta lämpökuormasta Q lasketaan energiatehokkuusmääräyksen 11. pykälän yhtälöllä. Yhtälö on alla olevan kaavan mukaisesti:

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7} \frac{8760}{1000}$$

k	käyttöaste
P	lämpökuorma W/m ²
τ_d	rakennuksen käyttötunnit vuorokaudessa h
τ_w	rakennuksen käyttöpäivät viikossa d. (2 s. 7)

Yhtälön laskemiseen tarvittavien lukujen arvot löytyvät samaisen pykälän alta, ja ne ovat lueteltuina taulukossa 2.

Taulukko 2. Valaistuksen, kuluttajalaitteiden, sekä ihmisten luovuttamien lämpökuormien arvot käyttöasteineen ja käyttöaikoineen kuvassa 1 määritellyille käyttötarkoituseroille (2, s. 7).

Käyttötarkoitusero	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Sisäinen lämpökuorma lämmitettyä nettoalaa kohti		
		Vuorokautinen h/24h	Viikoittainen d/7d		-	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²
Luokka 1)	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	6	3	2
Luokka 2	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	9	4	3
Luokka 3)	07:00-18:00	11	5	0,65	10	12	5
Luokka 4)	08:00-21:00	13	6	1	19	1	2
Luokka 5)	00:00-24:00	24	7	0,3	11	4	4
Luokka 6)	08:00-16:00	8	5	0,6	14	8	14
Luokka 7)	08:00-22:00	14	7	0,5	10	0	5
Luokka 8)	00:00-24:00	24	7	0,6	7	9	8

Pykälässä 11 mainitaan lisäksi, että mikäli valaistussuunnitelmasta pystytään lämpökuorma määrittämään tilatyypikohtaisesti tehontiheiden ja valaistuksen ohjauksen perusteella, voidaan rakentamismääräyksen määrittelemää valaistuksen lämpökuormaa (P) alentaa. Lopullinen lämpökuorman arvo saadaan laskemalla tyyppitilojen pinta-alojen painotettu keskiarvo ja laatimalla laskelmista erillinen selvitys. (2, s. 7.) Erillisen selvityksen laatimisen ohjeeksi soveltuu rakentamismääräyskokoelmaan kuuluva *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta*-opas, jossa on annettu kuvassa 1 näkyvä yhtälö 4.1 huonekohtaiseen sähköenergian kulutuksen laskemiseen. Yhtälön muuttuja f:stä voidaan myös nähdä, miten määräystasolla on arvioitu eri ohjaustapojen vaikutuksia energiankulutukseen. (12, s. 29.)

$$W_{\text{valaistus}} = \sum f P_{\text{valaistus}} A_{\text{huone}} \Delta t / 1000 \quad (4.1)$$

jossa

$W_{\text{valaistus}}$	valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh
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
$P_{\text{valaistus}}$	valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum ²
A_{huone}	valaistavan tilan huonepinta-ala, hum ²
Δt	valaistuksen käyttöaika, h

Kuva 1. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta-oppaassa annettu yhtälö 4.1 valaistuksen sähköenergian kulutuksen laskemiseen (12, s. 29).

Käytännössä lämpökuorman alentamisen mahdollisuus tarkoittaa sitä, että valaistuksella ja sen ohjauksella voidaan pienentää rakennuksen E-lukua. Esimerkiksi toimistorakennuksen valaistuksen lämpökuorma 10 W/m² tarkoittaa 100 lm/W hyötysuhteisella valaistuksella 1 000 lumenin valonlähdettä rakennuksen jokaiselle neliölle. Valaistuslaskentaohjelmalla laskien tämänlainen valaistus toimistoympäristöä mukaillen valaisinkorolla 2,7 metriä ja työtason mittauskorkeudella 80 senttimetriä tuottaa työtason valaistusvoimakkuudeksi hieman yli 500 luksia. Tilatyyppeihin jakaen tätä valomäärää voidaan ylläpitää täyden yhdentoista tunnin käyttöajan verran tietokonetyöpisteiden työskentelyalueella, mutta ympäröivää tilaa ei vaadita valaistavan yhtä voimakkaasti sekä muita tiloja varastoista porrashuoneisiin ja parkkihalleihin voidaan valaista lyhyemmän ajan ja/tai pienemmällä teholla (13, s. 54).

Oletuksellisen valaistuksen lämpökuorman ollessa melko helposti alitettavissa, nykyisellä energiatehokkuusmääräyksellä toimistokohteesta riippuen E-lukua laskettaessa lämpökuormasta voidaan karsia pois useampi watti neliötä kohden, ja hyväksyttävä E-luku voidaan aikaansaada ilman kehittyneemmän ohjauksen tarvetta. Kuitenkin määräyksen päivittyessä ympäristöllisten tavoitteiden mukaan ja ledien hyötysuhteen jatkaessa kasvuaan tulee määräyksessä valaistuksen lämpökuorma laskemaan, ja ohjausteknologialla saatavan energiansäästöpotentiaalini ollessa merkittävän suuri varsinkin toimistojen valaistuksen osalta muutos voisi perustellusti olla suuri.

3.2 Käytännöllisyys

Käytännöllisyyden näkökulmasta toimiston valaistuksen ohjauksen tulisi säästää aikaa ja vaivaa, mutta ennen kaikkea luoda olemisen ja näkemisen mukavuutta käyttäjälle ja toimia tarkoituksenmukaisesti (8, s. 3). Mukavuus kasvaa esimerkiksi, kun avotoimiston työpisteiden valot syttyvät työntekijöiden saapuessa ja sammuvat itsestään aikakatkaisulla tai läsnäolotunnistimen toimesta. Toimistuhuoneeseen, varastoon, tai vessaan mentäessä tunnistin havaitsee liikkeen ja valot käynnistyvät itsestään, eikä niitä tarvitse sulkea poistuessaan. Mitä paremmin järjestelmä on suunniteltu, sen vähemmän käyttäjän tarvitsee valaistusta miettiä. Ilmiö pätee myös toisin päin, luvussa 7.2 esitellyn esimerkin mukaisesti.

Monipuolisella valaistuksen ohjauksella voidaan lisätä valaistuksen joustavuutta, sekä tarjota käyttäjille mahdollisuus henkilökohtaisen valaistuksen säätöön. Ohjausratkaisuista riippumatta valaistuksen pitää kyetä täyttämään määritellyt standardivaatimukset, mutta esimerkiksi himmennuksen tai värilämpötilan säädöllä käyttäjät voivat muokata työpisteidensä näkö-olosuhteita juuri omien toiveiden ja mieltymysten sekä vaihtelevien työtehtävien mukaisiksi. Ohjelmoitavia ohjausjärjestelmiä, kuten DALla käyttämällä tilankäytönkin joustavuutta saadaan lisättyä. Jos esimerkiksi remontissa muutetaan tilaratkaisua, valaistuksen ryhmät ja ohjausparametrit ovat muutettavissa pelkällä ohjelmoinnilla, eikä kaapelointiin ei tule muutoksia, ellei valaisimia tai ohjauslaitteita lisätä tai poisteta.

Vaikka toimistoympäristössä käyttäjät ovat lähtökohtaisesti terveitä ja työkykyisiä näkökykynsä kannalta, tuovat vaihtelevat iät kuitenkin eri tarpeita valaistusvoimakkuuden suhteen. Normaalinäköinen 20-vuotias työntekijä kykenisi työskennellä valaistusolosuhteissa, joissa on tingitty sisävalaistusstandardin vaatimasta valaistusvoimakkuudesta ja häikäisyn UGR-arvosta, mutta yli 60-vuotias työntekijä ei silmän väliaineiden luonnollisesta samenessa, linssin paksuuntumisesta ja keltaantumisesta sekä mustuaisen pienenemisestä johtuvan alenneen valonläpäisykyvyn takia voi joustaa vaadituista valaistusolosuhteista (14). Sisätyöpaikkojen valaistusstandardin mukaan vaadittuja valaistusvoimakkuusarvoja tulisi alhaisen näkökyvyn omaaville korottaa (15, s. 18). 60-vuotiaalle henkilölle valaistusvoimakkuuden on 12-kertaistuttava, jotta saadaan aikaiseksi 20-vuotiaan näkövaikutelma (16). Suositeltavaa olisi tarjota kaksinkertaista valaistusvoimakkuutta iäkkäille henkilöille (14). Toimistoympäristössä käyttämällä tehokkaampia ja

normaalikäytössä himmennettynä palavia työpistevalaisimia, saadaan iäkkäille ja heikkonäköisille henkilöille tarjottua paremmat näkemisen ja työskentelyn olosuhteet, sillä tarpeen vaatiessa saataisiin valaisimilta runsaasti enemmän valaistusvoimakkuutta.

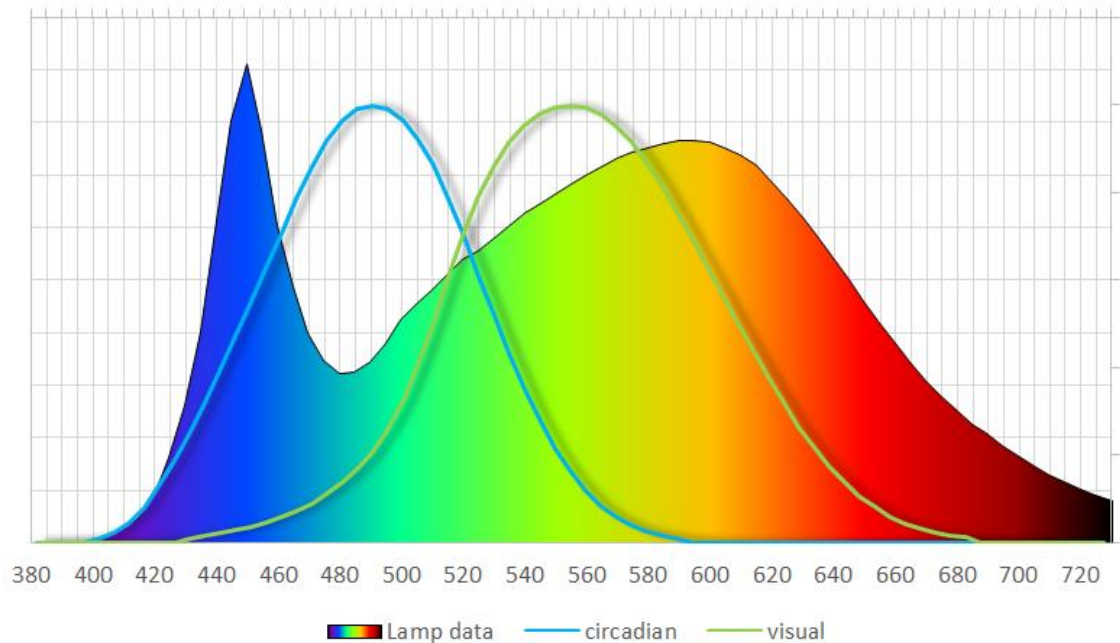
Läsnäolotunnistuksella on myös potentiaalista hyötyä kiinteistön omistajalle kiinteistökäyttöä koskevan tiedon keräämisen ja hyödyntämisen kannalta. Tunnistintietoa voidaan myös hyödyntää pelastustoiminnassa. Näitä aiheita käsitellään luvussa 5.2.1.

3.3 Hyvinvointi

Palaten luvussa 3.2 käsiteltyyn parempien valaistusolosuhteiden tarjoamiseen tulee ottaa huomioon, että tehokkaammalla valaistuksella saatavat näkemisen ja työskentelyn olosuhteet hyödyttävät ihmisiä myös terveyden ja ergonomian kannalta. Kun esimerkiksi valaistus on tehostettavissa, heikkonäköisen ihmisen tarvitsee siristää vähemmän eikä istumatyössä tule nojattua eteenpäin nähdäkseen työskentelytasolle. Tällöin saadaan vähennettyä niskan ja hartian seudun jäykkyyttä ja päänsärkyä.

Valaistussuunnittelun eläessä ihmiskeskeisen valaistuksen aikakautta, ovat valaistuksen ohjauksen terveysvaikutukselliset mahdollisuudet korostuneet. Valolla on merkittävä vaikutus ihmisen sisäiseen vuorokausirytmiiin, ja päivänvalon sijaan keinovalossa päivien viettäminen aiheuttaa pitkällä aikavälillä monia vaivoja terveyteen ja hyvinvointiin, ja tätä kautta työskentelyyn (17, s. 216).

Keinovalolla kuitenkin voidaan mukailla päivänvalon käyttäytymistä valon värilämpöä ja myös valaistusvoimakkuutta säätämällä ja tällä tavoin tuotettua osa päivänvalon terveyshyödyistä. Valoa tulee säätää siten, että silmän gangliosolujen herkkyysalueen valon määrä lisääntyy keskipäivää kohti. Tämänlaista valaistuksen ohjausta kutsutaan sirkadiaanisiksi valaistukseksi. Ilmiö perustuu gangliosoluihin, jotka reagoivat siniseen eli kylmään valoon virkistämällä kehoa ja mukauttaen vuorokausirytmiiä. (18, s. 1–2.) Kuvassa 1 havainnollistetaan silmän gangliosolujen herkkyysalue, joka on kylmemmän valon puolella verrattuna näkevien tappisolujen herkkyysalueeseen.



Kuva 2. Sinisellä kuvattuna melanooppinen käyrä, joka havainnollistaa gangliosolujen herkkyysalueen valon aallonpituuksilla. Vihreä kuvaa visuaalista käyrää, joka kuvaa tappisolujen herkkyysaluetta. Taustalla 4000K:n LED-valaisimen spektrijakauma. Kuvaaja WELL-laskentatyökalusta.

Vuorokauden edetessä tapahtuvalla valaistuksen väriämpötilan säädöllä on toimistoympäristössä tutkitusti mahdollista vaikuttaa positiivisesti ihmisten hyvinvointiin ja vireystilaan sekä näiden kautta työskentelytehokkuuteen. Todettujen terveysvaikutusten lisäksi sirkadiaanisen valaistuksen uskotaan parantavan työntekijöiden tyytyväisyyttä, mikä on ilmennyt esimerkiksi vähentyneenä vaihtuvuutena. (19, s. 13, 22.)

Sirkadiaanisen valaistuksen esimerkkitoiteutuksessa aikaohjausta tai käyttöön tarkoitettuja tunnistimia käyttämällä valaistuksen väriämpöä säädetään automaattisesti alkaen kello 09–10:n aikaan viilenemään hitaasti ylöspäin 3 000–4 000 kelvinitä noin 6500 kelviniin keskipäivään mennessä, ja samalla tahdilla takaisin normaaliin väriämpötilaan. Oleellista on, että valon määrää lisätään silmän gangliosolujen herkkyysaaltopituudelta keskipäivää kohti.

WELL-ympäristöluokituksessa myönnetään pisteitä sirkadiaanisen valaistuksen toteuttamisesta. Sen kriteerinä valon spektriä mitataan gangliosolujen herkkyysalueen perusteella. Luvussa 4.3 käsitellään WELL-luokitusta ja sirkadiaanista valaistusta sekä annetaan tarkempi toteutus esimerkki.

3.4 Estetiikka

Rakennuksen valaistuksen esteettinen puoli on näkyvältä osaltaan valaistusratkaisuja, kuten näyttäviä valaisimia ja arkkitehtonisia ratkaisuja luonnonvalon hyödyntämiseksi. Näkyvän osan lisäksi esteettisyyteen liittyy koettava osuus: Miltä jokin tuntuu? Millainen kokemus ihmiselle tulee rakennuksessa, jossa kehittynyt ohjausjärjestelmä ohjaa valaistusta? Kokemus on aina subjektiivinen, mutta tavoitteena on että käyttäjä tuntee olevansa älykkäässä rakennuksessa, joka autonomisesti seuraa käyttäjää ja ohjaa valaistusta hänen toimiansa mukaan. Yritysmaailmassa ja etenkin toimistoissa tämänkaltaisella kehittyneellä talotekniikalla voidaan korostaa kiinteistössä vierailevalle asiakkaalle välittyvää arvon ja vakuuttavuuden tunnetta sekä edesauttaa hyvää ensivaikutelmaa.

Taloudellisuuden ohjaamassa rakennusteknisessä valaistuskulttuurissa, varsinkin toimistorakennuksen kohdalla, valaistuksen ohjauksen esteettinen puoli uhkaa usein jäädä toissijaiseksi seikaksi suunnittelukokonaisuuden kannalta. Toimistoissa ja toimitilarakennuksissa yleisen alueen, kuten vieraiden ja asiakkaiden kohtaamiseen tarkoitettut tilat, aulat, neuvotteluhuoneet ja ruokalat ovat kohteita joihin painotetaan erityisvalaistusta ja tasokkaampia ohjaus- ja säätöratkaisuja. Valaistussuunnittelijan kannattaa kuitenkin pitää näkökulma mielessä järjestelmää suunnitellessaan ja ajatella asiaa älykkään talotekniikan näkökulmasta: Miten ohjausjärjestelmästä saadaan sellainen, että se seuraa käyttäjää ja helpottaa tämän elämää, ilman että se väärinymmärtää asioita ja tekee ei-toivottuja ohjauksia? Käytännössä tämä tarkoittaa hyvää käsitystä tilankäytön ja käyttäjien tarpeista ja näiden puitteissa tehtyjä suunnitteluratkaisuja, kuten tarkoin mitoitettuja tunnistinrajauksia, sopivia automaattisia säätöjä, kuten himmennyskäskyjiä ja aikaohjauksia, sekä riittävää mahdollisuutta käyttäjän omalle manuaaliselle ohjaukselle. Näitä ratkaisuja käsitellään tarkemmin luvuissa 7 ja 8.

4 Ympäristöluokitukset ja toimistojen valaistuksen ohjaustekniset kriteerit

Rakennusten vapaaehtoiset ympäristöluokitukset ovat sertifiointijärjestelmien vaatimustasojen mukaisesti myönnettäviä luokituksia, joilla mitataan rakennuksen suunnittelun, rakentamisen ja käytön aikaista ympäristötehokkuutta. Ulkoisen konsultin pisteytyksen mukaisen luokituksen todistukseksi sertifiointitaho myöntää rakennuskohteelle ympäristösertifikaatin. Luokitusten lähtökohtana on ympäristöystävällisyys ja energiankulutuksen säästö sekä näiden ominaisuuksien vertailtavuus, mutta ne tuovat samalla rakennuksille houkuttelevuutta, rahansäästöä, tuottavuutta sekä näiden kautta lisäarvoa (20).

Nykyaikaisessa vuokralaispainotteisessa toimistorakentamisessa ympäristöluokitukset ovat jo olennaisessa osassa, sekä ympäristö- ja resurssiolosuhteiden heikentyessä on todennäköistä, että niiden merkitys kasvaa rakennustyyppistä riippumatta. Ympäristöluokitukset ovat tapa erottua ja vastata vuokralaisyriyten omien ympäristötavoitteiden ja sertifiointivaatimusten haasteisiin. Toimistorakennuksista poikkeuksena ovat muiden rakennustyyppien, kuten teollisuuden, logistiikkakeskusten ja varastojen yhteydessä olevat toimistotilat, sillä näitä rakennustyyppisiä sertifioidaan toimistorakennuksia harvemmin. Esimerkiksi Suomessa jokaista BREEAM Industrial-sertifikaattia kohden on kymmenen Office-sertifikaattia (21).

Ottaen huomioon, että valaistus on suhteellisen pieni osuus eri ympäristöluokitusten laajuudesta, ohjaavat ne silti pääsääntöisesti valaistusta ympäristö- ja käyttäjäystävällisempään suuntaan. Kriteereihin tutustumalla voi löytää hyväksi todettuja ohjausratkaisuja, jotka monin tavoin parantavat ympäristön ja käyttäjien olosuhteita. Tässä luvussa esitellään Suomen rakennusalalla käytettävät ympäristöluokitukset ja eritellään, mitä valaistussuunnittelun osalta voidaan tehdä paremman luokituksen sertifikaatin eteen.

4.1 BREEAM

Maailman käytetyin ympäristöluokitus yli 560 000 sertifioinnilla 80 maassa on Iso-Britanniassa kehitetty BREEAM. Suomessa BREEAM-luokiteltuja tai luokiteltavana olevia rakennuskohteita on 231 kappaletta. (21.) Järjestelmää hallinnoidaan ja kehitetään edelleen Britanniassa, mutta rakennukset arvioi ja pisteyttää kehittäjäorganisaatio BRE:n lisensoimat paikalliset asiantuntijat, joiden arvioiden mukaan BRE sertifioidut rakennukset. Rakennuksille annettavat luokitukset jakautuvat pistemäärän osuuden mukaan kokonaispisteistä:

- ≥ 85 % Merkittävä (Outstanding)
- ≥ 70 % Erinomainen (Excellent)
- ≥ 55 % Erittäin hyvä (Very good)
- ≥ 45 % Hyvä (Good)
- ≥ 30 % Läpäisty (Pass) (22.)

BREEAM-luokiteltujen uudisrakennusten arviointi koostuu kymmenestä kategoriasta, jotka käsittelevät eri resursseja, ympäristöä, rakentamista ja terveyttä. Toimistorakennukseen on tarvittavasta laitteistosta riippuen saatavilla yhteensä 138–151 pistettä. Sisävalaistuksen ohjauksella voidaan vaikuttaa yhteen sekä ulkovalaistuksen ohjauksella kahteen pisteeseen. Pisteet ovat vapaaehtoisesti hankittavissa. (22.)

Hea 01 Visuaalinen mukavuus (4 pistettä)

Valaistusta ja sen ohjausta käsitellään terveyden ja hyvinvoinnin arviointikategorian osa-alueessa. Valaistuksen ohjauksella osa-alueen neljästä vapaaehtoisesta pisteestä on saatavilla yksi, jonka saamiseksi seuraavissa tiloissa tulee mahdollistaa tilankäyttäjien manuaalinen valaistuksen ohjaus ryhmittäin ja rajoittaa valaistuksen ryhmäkoot seuraavanlaisesti:

- Toimistotiloissa suurin sallittu valaistuksen ohjattava ryhmä koko kattaa neljä työpistettä.
- Ikkunoiden, atriumien ja vastaavien rakennusosien viereiset työpisteet toteutetaan omina valaistusryhminään.
- Esitys- ja piirtoseinille omat ryhmät.
- Seminaari- ja luentotiloissa esiintymis- ja yleisöalueet erikseen.

- Auditorioissa omat ryhmät istuma-alueille, liikkumatiiloille ja esiintymisalueille. Lisäksi valaistuksen säätö seuraavanlaisesti:
 - (a) Täysitehoinen normaalivalaistus
 - (b) Esiintymisaluevalaistus pois, yleisöalueen valaistuksen himmennys
 - (c) Kaikki valaistus pois
 - (d) Erillinen paikallinen valaisin lukutelineellä, mikäli esiintymisalueella sellainen on.
- Auditorion valonsäädölle ei ole määrätty toteutustapaa, mutta tilanneohjaus on näiden ohjausten toteutukseen paras ratkaisu.
- Ruokalat ja kahviot – Tarjoilupuoli ja ruokailutilat erikseen
- Opetustilat ja havainnollistamisalueet omiin ryhmiin. (Teaching space or demonstration area) (22.)

Osoitteellinen ohjausjärjestelmä helpottaa valaistuksen ryhmittämisessä. Esimerkiksi toimistotilojen työpisteiden valaisimet saadaan ohjausjärjestelmän avulla suurempiin syöttöryhmiin, ja niiden ohjausryhmät voidaan rajata pienemmiksi ohjelmoinnilla, jolloin luettelman ensimmäisen kohdan toteutus ei vaadi ylimääräisiä ryhmiä keskukseen.

Pisteen lisäehtona, tiloissa, joissa työntekijöitä on tiheämmässä kuin 1 henkilö/työpiste 10 m²:ä kohden tulee tilankäyttäjillä olla mahdollisuus säätää omien työpisteidensä valaistusta. (22.) Esimerkiksi tiheässä avotoimistossa yksinkertainen ratkaisutapa on varustaa työpisteiden päälliset valaisimet vetokytkimin, mikä on tilankäytön kannalta joustavaa, sekä ohjauslaite löytyy tällöin läheltä käyttäjää. Toisena vaihtoehtona työpisteryhmän yhteyteen voidaan asentaa ohjauspaneeli, joka tosin vaatii seinäpintaa, jolloin rakennuksen keskellä olevien työpistevalaisimien ohjauksesta tulee työlämpää.

Ene 03 Ulkoinen valaistus (1 piste)

Energia-kategorian pisteen myöntämisen ehtona joko

- rakennus on suunniteltu toimimaan ilman tarvetta ulkoiselle valaistukselle, joka kattaa julkisivun, merkit/taulut ja sisäänkäynnit,
tai, mikäli rakennuksella on ulkovalaistus, seuraavien ehtojen mukaan:
- Käytettyjen ulkovalaisimien keskimääräinen valotehokkuus on vähintään 60 lm/W.
- Kaikki ulkovalaisimet ovat automaattisesti ohjattuja estämään päivänvalon aikaista käyttöä ja ajoittaisen jalankulkuliikenteen alueilla käytetään lisäksi liiketunnistusta valaistuksen ohjaukseen. (22.)

Pol 04 Yöaikaisen valosaasteen vähentäminen (1 piste)

Toinen ulkovalaistuksen ohjaustoimenpitein saatava piste voidaan saada saastuttaminen-kategoriasta. Pisteen myöntämisen ehtona joko

- rakennus on suunniteltu toimimaan ilman tarvetta ulkoiselle valaistukselle kuitenkin siten, ettei se vaikuta haitallisesti rakennuksen alueen ja sen käyttäjien turvallisuuteen,
tai mikäli rakennuksella on ulkovalaistus, seuraavien ehtojen mukaan:
- Kaikki valaistus, pois lukien turvallisuutta parantava valaistus, voidaan automaattisesti kytkeä pois kello 23:00 ja 07:00 väliltä, paitsi jos tämä kuuluu rakennuksen käyttöaikaan.
- Turvallisuutta parantavat valaistukset (ei koske poistumisvaloja) voivat palaa himmeinä yöaikaan, CIE 150-2003-standardin (Ohje ulkovalaistusasennusten häiritsevien vaikutusten minimoimiseksi) mukaisesti himmentäen valoja klo 23:00-07:00 välisen ajan.
- Alle 10 m²:n valomainosten maksimiluminanssi ei saa ylittää kaupunkialueella 1000 cd/m², esikaupungissa 800 cd/m², eikä tätä isompien valomainosten 600 cd/m². (22.)

Turvallisuutta parantaville valaistuksille ei anneta BREEAM:in puolesta tarkkaa määritystä, joten se jää suunnittelijan perusteltavaksi ja arvioivan asiantuntijan päätettäväksi. Esimerkiksi kaatumisen, putoamisen ja rikollisuuden kannalta riskialttiiden paikkojen valaistukset voidaan nähdä turvallisuutta parantavina. Näiden valojen himmentämistä yöaikaan voidaan toteuttaa käytännössä aikaohjauksen avulla, jolloin VAK:ilta ohjataan kontaktorein himmentimiä tai ohjausjärjestelmien tapauksessa ohjelmoidaan valaisimet säätymään vaadittuun himmennysarvoon aikaohjauksen määrittelemäksi ajaksi. Aiheesta käsitellään myös ulkovalaistuksen luvussa 7.7.

4.2 LEED v4

Leadership in Energy and Environmental Design, eli LEED on yhdysvaltalaisjärjestö U.S. Green Building Council:in (USGBC) kehittämä ja hallinnoima ympäristöluokitusjärjestelmä, joka 272 luokitellulla tai luokiteltavana olevana rakennuskohteella on yleisin Suomessa. Se on myös laajimmin maailmassa käytetty järjestelmä yli 94 000 sertifikaatilla yli 165 maassa. (23.) BREEAMista poiketen projektitiimi voi laatia sertifikoitihakemuksen itsenäisesti ilman lisensoitua ulkopuolista asiantuntijaa, mutta hakemukset tarkastaa USGBC:n alainen GBCI-organisaatio, jonka

arvion perusteella luokitus myönnetään. LEED-luokitukset pisterajoihin ovat seuraavat:

- Platina (Platinum) Yli 80 pistettä
- Kulta (Gold) 60–79 pistettä
- Hopea (Silver) 50–59 pistettä
- Sertifioitu (Certified) 40–49 pistettä (24.)

Uuden toimistorakennuksen LEED-luokittelun pisteytykseen käytetään LEED BD+C: (Building Design and Construction) New Construction -arviointikriteerejä. Arviointikategorioiden osalta LEED on BREEAMiin verrattuna suppeampi, sillä LEEDissä rakennuksen ja rakentamisen hallintaa käsittelevät pisteet jakautuvat muihin kategorioihin. Pistepainotuksissa ja ehdoissa on paljon yhtenäisyyksiä, mutta valaistuksen ja ohjausratkaisujen ehdoilla on eroja, LEEDin tarjotessa pisteitä valaistuksen himmentämisen ohjausmahdollisuudesta. Uusimman LEED v4 New Construction -kriteeristön arviointikategorioiden suurin yhteenlaskettu pistemäärä toimistolle on 110 (25).

Sisävalaistus (2 pistettä)

Sisävalaistuksen ja sen ohjauksen osalta on tarjolla sekä piste valaistuksen ohjauksesta että valaistuksen laadusta. Kumpi tahansa tai molemmat pisteistä voidaan hankkia, eivätkä ne ole ennakkovaatimuksia, joten ne voidaan myös jättää hankkimatta.

Valaistuksen ohjauksen pisteen edellytyksenä on tarjota vähintään 90 prosentille yksilöllisen käytön tiloista, kuten työhuoneille tai avotoimiston yksityisille työpisteille henkilökohtainen valaistuksen ohjausmahdollisuus, jolla voidaan säätää valaistusta kolmeen eri tasoon: Päällä/pois/himmennys. Kaikissa yhteiskäytön tiloissa, joissa työskennellään ryhmässä ja/tai käytetään yhteisiä työskentelyvaloja, tulee voida ohjata yhdestä tai useammasta pisteestä tilan valaistusta ryhmän tarpeiden mukaan, samalla periaatteella himmennettäen. Himmennyksen tasoksi määritellään 30–70 % valaistuksen maksimitasosta. (25, s. 129.) Yksityisten työpisteiden ohjauksen toteutukseen voidaan käyttää esimerkiksi vetokytkimellä säädettäviä valaisimia, mutta yhteiskäytön tiloihin, joissa useampaa valaisinta tulee voida ohjata, tarvitaan valaistuksen ohjausjärjestelmää. Mikäli kohteelle kaavillaan LEED-luokitusta, on

DALI-järjestelmän tilannekutsupainikkeisto tai painonappi joustavampi ratkaisu, mutta suorapainikeohjaus on myös toimiva vaihtoehto.

Ohjauksen kriteerit vaativat myös, että esiintymisvalaistukset (esimerkiksi auditorioissa) ja projektioseinien valaistukset tulee olla erikseen ohjattavissa. Näille valaisimille tulee siis joko olla kaapeloituna erilliset kytkimet/napit tai valaisinten olla ohjelmoitavissa erillään ohjattaviksi ohjausjärjestelmän avulla. Viimeisenä ehtona sisävalaisimien manuaalisten ohjauslaitteiden tulee sijaita samassa tilassa kuin niiden ohjaamat valaisimet ja valaistusta ohjaavalla henkilöllä tulee olla näköyhteys ohjattaviin valaisimiin. Tällöin käyttäjät näkevät selkeästi ohjaustoimillaan tekemänsä muutokset, sekä monimutkaisinkin ohjausjärjestelmän käytön oppiminen on helpointa. (25, s. 129.)

Valaistuksen laadun pisteen edellytyksenä alla esitellyistä kahdeksasta vaihtoehdosta tulee valita ja toteuttaa neljä ratkaisua.

- A. Kaikissa säännöllisesti käytettävissä tiloissa tulee käyttää valaisimia, joista säteilee maksimissaan $2\ 500\ \text{cd/m}^2$ luminanssi 45 ja 90 asteen väliselle valonjaon vyöhykkeelle, kun tarkastelusuunta on valaisimesta alaspäin.
- B. Kaikissa valaisimissa tulee käyttää värintoistoltaan CRI 80 tai korkeampaa indeksiarvoa. Poikkeuksena tälle ovat rakentamisvaiheen valaisimet sekä erikoisvalaisimet, joilla on tarkoitus toteuttaa värikästä valaistusta.
- C. Kohteessa käytettävien valaisimien valonlähteistä vähintään 75 % tulee olla valovirran alenemaltaan luokiteltu L_{70} 24 000 h tai pidempään. Käytännössä valaisimien tulee siis säilyttää 70 % maksimivalovirrastaan vähintään 24 000 tunnin käytön ajan.
- D. Tasaisen valaistuksen aikaansaamiseksi, pelkän alavalokomponentin omaavia valaisimia saa olla enintään neljännes säännöllisesti käytettyjen tilojen valaisimista.
- E. Vähintään 90 % säännöllisen käytön lattiapinta-alasta tulee olla pintojen heijastuskertoimelta vähintään lattian osalta 0,25, seinien osalta 0,60 ja katon osalta 0,85.

- F. Huonekalujen heijastuskertoimien tulee olla alueittain keskiarvoihin jakaen vähintään työskentelypintojen osalta 0,45 ja liikuteltavien sermien osalta 0,50.
- G. Vähintään 75 %:lla säännöllisen käytön lattiapinta-alasta tulee seinän keskimääräisen pintaluminanssin suhde työtason tai –pinnan keskimääräiseen luminanssiin olla pienimmillään 1:10, jotta valaistus pysyy tasaisena. Ikkunoita ei lasketa osaksi seinän pintaluminanssia.
- H. Vähintään 75 %:lla säännöllisen käytön lattiapinta-alasta tulee kattoalueen keskimääräisen pintaluminanssin suhde työtason tai työskentelypinnan keskimääräiseen luminanssiin olla pienimmillään 1:10. Kattoikkunoita ei lasketa osaksi katon pintaluminanssia. (25, s. 129-130.)

Vaihtoehtojen G ja H lisäehtona joko toteutetaan myös vaihtoehdot E ja F tai todennetaan E:n tapauksessa seinille ja H:n tapauksessa katolle pinta-alan mukaan painottaen keskimääräiseksi heijastuskertoimeksi seinäpinoille 0,60 ja kattopinnoille 0,85 (25, s. 130).

Vaihtoehtojen G ja H koskiessa valaistuksen tasaisuutta tulee suunnittelijan huomioida G:n osalta, ettei seinän vierustan valaisimia kannata välttämättä sammuttaa automaattisella ohjauksella, varsinkaan ikkunattomien seinien kohdilta. Toimiva vaihtoehto näiden tapauksessa on esimerkiksi joko ohjelmoida valaisimet tai säätää tunnistimet siten, että ne himmenevät, ja valaistuksen tasaisuus säilyy.

Vaihtoehto H:n toteutuksessa tulee huomioida vakiovalo-ohjauksen toteutuksen vaikutus mahdollisiin valaisinten ylävalokomponentteihin. Riippuen päivänvalon tulokulmasta rakennukseen sekä ikkunoiden koosta ja korkeudesta, päivänvalo ei välttämättä valaise kattoa yhtä hyvin kuin työtasoja. Valaistuksen tasaisuus voi kärsiä, mikäli vakiovalo-ohjaus säätää valaisinten yläkomponentteja himmeämmiksi samaan aikaan, kun työtasot ovat auringon valaisemat.

4.3 WELL v2

Siinä missä BREEAM ja LEED ovat toisilleen joko-tai vaihtoehtoja, on vuonna 2014 niiden rinnalle tullut Yhdysvalloissa kehitetty, International WELL Building Instituten

hallinnoima (IWBI) WELL-standardi. Se erottautuu edellä mainituista luokitusjärjestelmistä mitaten rakennuksen käyttäjien hyvinvointia koskevia ominaisuuksia. WELLin perusideana on tarjota kiinteistöjen käyttäjille viihtyisät sekä terveyttä ja hyvinvointia edistävät olosuhteet, joiden nähdään tehostavan tuottavuutta ja tätä kautta nostaen kiinteistön arvoa. (26.) Valo ja valaistus on yksi luokituksen pääkategorioista, joka jakautuu edellytettyihin ja optimoiviin ominaisuuksiin. Näistä optimoivista ominaisuuksista seuraavat kaksi käsittelevät ohjausteknisiä ratkaisuja.

L03 Sirkadiaaninen valaistus (3 pistettä)

Myönnettävien pisteiden osalta antoisana, mutta suunnittelutyön kannalta työläänä optimointi-ominaisuutena WELL-valaistussuunnittelussa on sirkadiaanisen valaistuksen toteutus. Ominaisuuden ehtojen mukaisesti sirkadiaanista valaistusta tarkastellaan vastaavan melanooppisen luksiarvon, eli EML:n (Equivalent Melanopic Lux) mukaan (27). EML-arvo muodostuu samoin tavoin kuin luksit, muttei silmän tappisolujen havaitseman valon, vaan ipRGC-, eli gangliosolujen mukaan, jotka eivät liity näkemiseen vaan säätelevät vuorokausirytmiiä. Fotoreseptoreina gangliosolujen herkkyysalue poikkeaa tappisoluista ollen eri aallonpituudella, josta johtuen niille on laskettava oma kerroin. (18, s. 1-9.) EML-arvo lasketaan seuraavan yhtälön mukaan:

$$EML = E \times R$$

EML	vastaava melanooppinen luksiarvo EML
E	valaistusvoimakkuus lx
R	valonlähteen melanooppinen kerroin. (28.)

EML on siis käytännössä valaistusvoimakkuus kerrottuna melanooppisella kertoimella, eli toisin sanoen melanooppinen valaistusvoimakkuus. Sen laskentaa varten mitataan E valaistusvoimakkuusmittarilla säännöllisesti käytettävien tilojen käyttöpisteiltä, käyttäjän silmänkorkeudelta vertikaalisella tasolla (eli katselusuuntaan). Tarkka mittauskorkeus käyttötasoille on 45 cm niiden yläpuolelta. Säädettyjen työpöytien osalta mitataan arvot 115–125 cm ja 135–145 cm koroista. Tiloissa, joissa ei ole työpisteitä, mittakorkeus on 140 cm. (27.) Saatu luksiarvo pitää vain kertoa valonlähdekohtaisella kertoimella R, jotta saadaan tulokseksi EML.

Sirkadiaaninen valaistus koskee kaikkia säännöllisen käytön tiloja, joita käytetään päivittäin vähintään tunnin ajan. Pisteiden tarkistukseksi kohteen tiloissa suoritetaan mittauksia, mutta laskelmia ei tarvitse toimittaa. Toteutuksesta on saatavilla

- 1 piste, kun käyttöpisteiltä mitataan vähintään 150 EML, tai 120 EML mikäli kohteelle on myönnetty 2 tai enemmän pistettä ominaisuudesta L05: Tehostunut päivänvalon saanti
- 3 pistettä, kun käyttöpisteiltä mitataan vähintään 240 EML, tai 180 EML mikäli kohteelle on myönnetty 2 tai enemmän pistettä ominaisuudesta L05: Tehostunut päivänvalon saanti. (27.)

Vaadittujen EML-valaistustasojen tulee toteutua kello 09:00–13:00 (27). Valaistus voidaan myös pitää värilämmöltään samana pysyvästi, mutta illalla vaaditun tason valo alkaa jo viivyttämään unensaantia. Jos valot saadaan vain tavoiteajaksi vaaditulle EML-tasolle sekä valon virkistävät että rentouttavat vaikutukset korostuvat enemmän ja vuorokausirytmistö stimuloituu tehokkaammin. Paras tulos saadaan mahdollisimman portaattomalla, päivänvalon tavoin hitaasti muuttuvalla säädöllä, mitä kriteerit eivät kuitenkaan vaadi. Tämän lisäksi alempana esiteltävästä valaistusympäristöjen käyttäjäohjattavuutta koskevasta ominaisuudesta on saatavilla lisäpisteitä, jos valaistus toteutetaan värilämmöltään säädettäväksi. Esimerkiksi tunable white -valaisimilla ja värilämmön aikaohjauksella tai kuvan 3 tapaisilla sirkadiaaniseen ohjaukseen soveltuvilla tunnistimilla voidaan valaistus toteuttaa tavoitellulla dynaamisemmalla tavalla.



Kuva 3. Esimerkki sirkadiaanisen valaistuksen säätöön kehitellystä läsnäolotunnistimesta: Luxomat PD4-M-HCL. (29)

Liitteessä 1 on IWBI:n ilmoittamia suuntaa-antavia melanooppisen kertoimen R arvoja, joista voi saada käsityksen eri valonlähteiden R-kertoimista. Sitä ei kuitenkaan tule käyttää suunnittelutyökaluna.

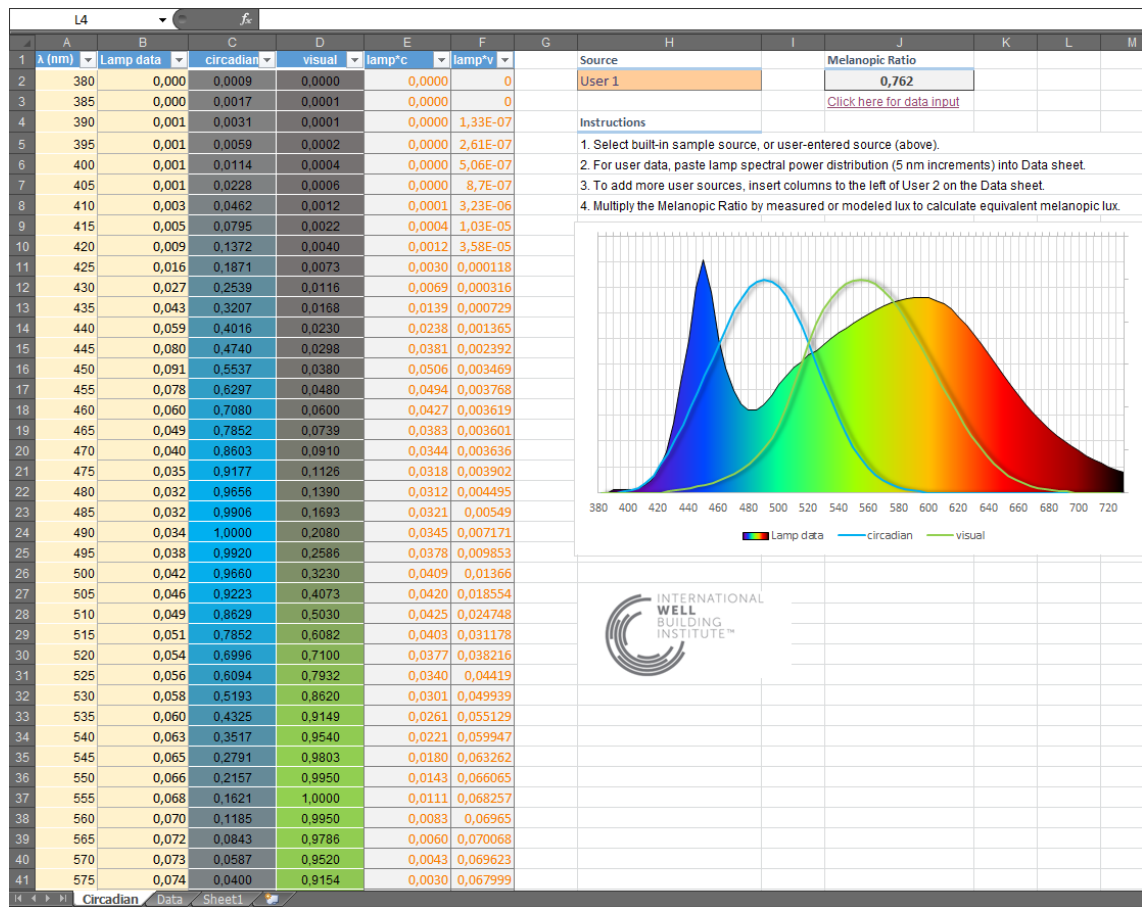
Suunnittelua varten IWBI:n sivustolla on excel-taulukko, jonka avulla melanooppinen kerroin R voidaan laskea valonlähteelle (28). Laskentaa varten valonlähteiden spektrijakaumat tulee selvittää viiden nanometrin välein, vähintään aallonpituusalueelta 380–660 nm, mikä on gangliosolujen herkkyysalue. Spektrijakaumat tulee joko hankkia valmistajalta tai mitata valaisimesta spektrofotometrillä. Valonlähteen spektrijakauma-arvot viedään excel-taulukkoon kuvassa 4 näkyvän Data-välilehden User-sarakkeelle, aallonpituuden sarakkeen mukaan järjestykseen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Wavelength	Sample LED 2700 K	Sample LED 4000 K	Sample Fluorescent 2950 K	Sample Fluorescent 4000 K	Sample Fluorescent 6500 K	Sample Overcast	User 2	User 1		Equal Energy Constant		
2	380	0	0	1,469086667	0,088942857	1,316893333	10,278336		0		1,218		
3	385	0	0	1,65856	0,08691429	1,70446	12,309024		0,000106				
4	390	0	0	1,87856875	0,086866667	2,20519375	12,035076		0,001243				
5	395	0	0	1,928986667	0,808844444	2,590986667	17,4267		0,001266				
6	400	0	0	7,646746316	2,477175	10,73393659	22,102764		0,001459				
7	405	0	0,001459025	14,32851284	1,068	14,23881	23,82654		0,002669				
8	410	0,0012778	0,0026689	4,943801961	0,848142857	4,8469	24,411852		0,004714				
9	415	0,002231086	0,004704371	1,92730625	1,448585714	4,9355125	23,859504		0,008961				
10	420	0,003787683	0,008960765	1,81836	2,37715	5,644473333	24,524412		0,016133				
11	425	0,006768392	0,016133333	1,790826667	11,75395652	6,331693333	23,035404		0,027225				
12	430	0,01137806	0,026225	11,25750127	22,86331753	21,26188296	23,283036		0,043314				
13	435	0,016858824	0,040314286	40,61630899	6,404441176	44,453298	24,656268		0,059347				
14	440	0,023319	0,059346552	19,96685856	4,28675	19,90576394	27,339216		0,080283				
15	445	0,030214286	0,080282692	2,28079375	4,121685714	9,580693333	28,90782		0,091295				
16	450	0,03485	0,091275	1,960486667	4,23	10,34961333	29,343588		0,078494				
17	455	0,030726923	0,078393548	1,9239125	3,900814286	11,0898	30,492504		0,060321				
18	460	0,022845	0,060321212	1,92348	3,571657143	11,76982	29,995632		0,048725				
19	465	0,017192308	0,048725	2,004453333	3,187814286	12,39346667	29,019576		0,039967				
20	470	0,0136	0,039966667	2,0921875	3,132028571	12,94182941	29,224596		0,034051				
21	475	0,0115	0,03405	2,256786667	6,116533333	13,35966667	29,588808		0,032333				
22	480	0,010728571	0,032333333	2,382973333	10,72654616	13,68372667	29,58318		0,032429				
23	485	0,010366667	0,032428571	2,5744125	9,5634455	13,9710625	28,334454		0,034471				
24	490	0,011316667	0,034471429	2,879453333	6,189957143	14,19598	29,2656		0,0381				
25	495	0,014446154	0,0381	3,177446667	3,3182	14,38378667	28,936764		0,042302				
26	500	0,019071429	0,04229	3,55624375	1,539942857	14,373225	28,39326		0,045533				
27	505	0,023692308	0,045542857	4,144153333	1,210757143	14,26049333	28,748628		0,0492				
28	510	0,028486667	0,0492	4,921406667	0,826914286	14,16479375	27,952668		0,051263				
29	515	0,032945455	0,0510625	5,88085	0,8258	14,02823333	27,040932		0,053825				
30	520	0,03652	0,053825	6,900866667	0,934114286	13,83470667	26,999124		0,055711				
31	525	0,0396125	0,055711111	7,89455625	5,608104545	13,63913125	27,13098		0,057933				
32	530	0,042185714	0,057933333	8,789933333	29,53066796	13,42994	27,003144		0,06026				
33	535	0,044428571	0,06026	9,621433333	75,41515328	13,27275333	26,66868		0,062838				
34	540	0,045714286	0,0628375	14,069025	61,27502029	17,82160549	26,394516		0,064533				
35	545	0,047433333	0,064533333	24,65848229	13,64250476	29,567098	26,54004		0,068257				
36	550	0,049357143	0,0664	21,1113713	3,532754545	18,44561818	25,797948		0,07002				
37	555	0,05208	0,068257143	13,12353684	1,391525	12,6899625	25,034952		0,0716				
38	560	0,0552	0,07	13,37198667	1,199028571	12,59653333	24,710136		0,0716				
39	565	0,058690991	0,0716	14,07691333	6,377933333	12,54113125	23,817696		0,0716				
40	570	0,062558333	0,073133333	14,91957059	15,62201143	12,42783333	24,458484		0,074283				
41	575	0,066666667	0,074283333	17,19122333	14,76690909	14,39069977	23,764632		0,07531				
42	580	0,07042	0,0753	18,82074	18,47862308	15,01757059	24,4215		0,076502				
43	585	0,0735125	0,0761	17,30793125	16,40222903	12,04747333	23,405048		0,076501				
44	590	0,076433333	0,0765	17,26683333	7,89120625	12,0537	23,262132		0,076501				
45	595	0,078933333	0,0765	17,64614375	4,030433333	12,0501375	22,712196		0,076297				
46	600	0,079971429	0,0763	18,06172667	18,64042625	11,93039333	22,613304		0,075271				
47	605	0,081114286	0,075271429	18,37778	34,09730719	11,86397333	21,982968		0,073817				
48	610	0,0812	0,073816667	18,8537375	9,68624	11,70473125	22,130904		0,071871				
49	615	0,0807	0,071871429	18,72960667	7,742375	11,49552	21,974928		0,06883				
50	620	0,0791	0,06883	18,77437333	8,486135714	11,33833333	21,017364		0,064533				

Kuva 4. Melanooppisen kertoimen laskentataulukon Data-välilehti. Taulukkoon on tuotu oikean reunan User-sarakkeeseen valonlähteen mitattu spektrijakauma. Vasemman reunan sarakkeessa ovat aallonpituudet ja muut sisältävät esimerkkivalaisimien arvoja.

Tämän jälkeen siirrytään kuvassa 5 näkyvälle Circadian-välilehdelle. Source-kenttää painamalla haetaan valikosta User-valonlähde, jolle spektrijakaumatiedot annettiin. Tämän jälkeen valonlähteen melanooppinen kerroin R näkyy tuloskentässä Melanopic

Ratio. Kertoimen R avulla voidaan nyt laskea EML-voimakkuutta ja alkaa suunnitella tavoiteltavan pistemäärän mukaista valaistusta.



Kuva 5. Melanooppisen kertoimen laskentataulukon Circadian-välilehti. Yläoikealla on valittu Source-valikosta käyttäjän valonlähde, ja sen viereisessä tuloskentässä näkyy valitun valonlähteen Melanooppinen kerroin R.

Kenttien alla olevan kuvaajan väritetty alue havainnollistaa valonlähteen spektrijakauman sekä sitä, kuinka se sijoittuu melanooppiselle ja näkyvälle herkkyysalueelle.

L08 Valaistusympäristöjen käyttäjäohjattavuus (2 pistettä)

Toisena valaistuksen ohjausta käsittelevänä ominaisuutena on valaistusympäristöjen käyttäjäohjattavuus. Ominaisuudessa on kaksi osaa, joista kummastakin voidaan yhdessä tai erikseen ansaita 1 piste/osa.

Käyttäjien ohjausmahdollisuuksien lisääminen on ominaisuuden ensimmäinen osa ja se koskee kaikkia säännöllisesti käytettäviä tiloja. Sen ensimmäisen ehdon toteuttamiseksi kohteen valaistus tulee olla ylempänä esitellyn sirkadiaanisen valaistustavan mukainen, mutta lisäksi valaisinten tulee olla värilämmöltään säädettäviä (tunable white) ja järjestelmän täytyy automaattisesti ohjata sirkadiaanista valaistusta – esimerkiksi edeltävän ominaisuuden kohdalla annettujen dynaamisten ohjaustapaehdotusten mukaisesti. (14.)

Ensimmäisen osan toisena ehtona on antaa tilan käyttäjille ohjausmahdollisuus heidän välittömässä läheisyydessä olevan valaistuksen säätöön. Valaisinten valaistusvoimakkuus ja värilämpötila tulee olla säädettävissä. Lisävaatimuksena käyttäjien tekemien ohjausten tulee voida ohittaa automatisoidut ohjaukset 30 % käyttötuntien ajasta. (14.) Koska ehto vaatii käytännössä, että kaikki henkilökohtaiset ja tilakohtaiset valaistukset ovat ohjattavissa, tarvitaan sen toteuttamiseksi suuri määrä ohjauslaitteita. Ohjauslaitteet voivat olla seinään asennettavia ohjauspaneeleita tai kuljetettavia kaukosäätimiä, mutta varsinkin suurten tilojen, kuten avotoimistojen kanssa ohjauslaitteiden määrä tulee kalliiksi. Matkapuhelinten liittäminen osaksi ohjausjärjestelmää ja valaistuksen ohjaus mobiilisovelluksen avulla on kustannustehokas ratkaisu ehdon täyttämiseksi. Esimerkiksi Helvarin DALI-reitittimiin (Wi-Fi) tai Illustris-ohjauspaneeleihin (Bluetooth) voidaan yhdistää puhelin, jolla SceneSet-sovellusta käyttäen valaistuksen voimakkuus ja värilämpötila ovat säädettävissä (30).

Toinen käyttäjäohjattavuuden ominaisuuden osa koskee täydentävää valaistusta. Myönnetyn pisteen ehtona kiinteistön käyttäjille on pyydettyä tarjottava täydentävää valaistusta, jonka avulla voidaan vähintään tuplata sisätyöpaikkojen valaistusstandardissa EN 12464-1 esitellyt työskentelytasojen valaistusvoimakkuudet. Lisäksi pyydetty täydentävät valaisimet on oltava toimitettavissa kahdeksassa viikossa sekä tarjottava veloituksetta. (14.) Huomioitavaa on, että standardiin EN 12464-1 ollaan kaavailemassa luvussa 2.2 kuvailun mukaista suositeltua ylempää valaistuvoimakkuusarvoa, jolla ehto voidaan toteuttaa.

Käytännössä riskeiksi ominaisuudessa muodostuvat sekä rahalliset että ajalliset resurssit. Tämä ongelma on käytännössä ratkaistavissa valitsemalla tuplaten enemmän valaistusvoimakkuutta tuottavat valaisimet tiloihin, joissa täydentävää valaistusta todennäköisimmin tarvitaan ja muihin tiloihin varalle vähintään 10 %

valaisimista. Ratkaisulle sopivia ohjaustapoja on useita: Vetokytkimellisiä valaisimia käyttäen valaistusvoimakkuutta voidaan säätää suoraan valaisimesta. DALI-järjestelmän valaisimille ohjaus voidaan toteuttaa ohjauspaneelilla tai painonapein. Suorapainikeohjaus painonappeja käyttäen toimii myös, mutta järjestelmä ei soveltune WELL-kohteeseen sen ollessa melko yksinkertainen. Vakiovalo-ohjausta käyttäen normaalitilanteessa valaisimet tuottavat himmennettynä vaaditun määrän valoa, mutta muuttamalla vakiovalo-ohjauksen asetusarvoa esimerkiksi kauko-ohjaimella kyetään tarpeen vaatiessa säätämään valaistusvoimakkuutta kaksinkerroin isommaksi.

4.4 RTS-ympäristöluokitus

Rakennustietosäätiön kehittämä RTS-ympäristöluokitus on uusi kotimainen vastine BREEAM- ja LEED-luokituksille. Loppuvuodesta 2018 RTS-arviointiprosessissa oli 76 rakennusta, mutta ensimmäistä sertifikaattia ei ole vielä myönnetty (31).

RTS-ympäristöluokitukset jakautuvat viiteen tähtitasoon, jotka myönnetään pistetason mukaan, maksimituloksen ollessa 110 pistettä. Kriteerit jakautuvat pääryhmiin, jotka käsittelevät prosessin ohjausta, talouspuolta, ympäristöä ja energiaa, sisäilmaa ja terveyttä sekä innovaatioita. Kriteereiden täyttämisen lisäksi luokitukseen kuuluu todistusainestovaatimuksia suunnittelu- rakentamis- ja käyttöönottovaiheelle. Todistusaineistot toimitetaan tarkastavalle taholle, eli ulkopuoliselle konsultille prosessivaiheen ajankohdan mukaisesti. Tässä luvussa esiteltävät vaatimukset ovat luokitusversion v1.11 mukaiset. (32, s. 1–3.) Arviointikriteeristö on saatavissa sähköpostilla tiedustellen RTS:n sivuilta, mutta täydet lisätiedot saa vain maksullisella RT-ympäristötyökalulla.

P1.3 Käytön opastus (2 pistettä)

Valaistuksen osuutena käytön opastuksen pistekriteereistä kiinteistön käyttäjäohjeita varten tulee laatia esittelyt valaistusolosuhteiden säädettävyydestä tilatyypeittäin sekä ohjauslaitteiden toiminnasta. Käyttäjäohjeeseen laaditaan lisäksi kuvalliset käyttöohjeet valaistuksen ohjauslaitteille. (32, s. 11.)

Ylläpidon perehdytysaineistoa varten valaisinluettelon lisäksi tulee laatia ja toimittaa yhteenveto valaisinohjauksista. Yhteenvetona voi olla esimerkiksi kirjallinen listaus

käytetyistä ohjaustavoista, tarkentaen niiden ohjausparametrejä ja vaikutusalueita. Esimerkiksi aikaohjauksista tulisi kertoa, mihin kellonaikaan valaistus sammuu ja mihin aikaan syttyy takaisin sisätiloista ja ulkotiloista sekä millä tavoin ohjaus voidaan tarpeen vaatiessa ohittaa manuaalisesti. (32, s. 11-12.)

Y2.4 Järjestelmien tehokkuus (2 pistettä)

Järjestelmien tehokkuus -kriteerin tavoite on parantaa merkittävien energiaa käyttävien järjestelmien energiatehokkuutta. Valaistussuunnittelun osalta kriteerissä on erikseen kohtansa ulko- ja julkisivuvalaistuksesta. (32, s. 51.)

Rakennuksen ulkovalaistus tulee ryhmittää niin, että yli 75 % valaistuksen tehosta on rakennuksen varsinaisen käyttöajan ulkopuolella joko sammutettavissa tai ohjattavissa tunnistimilla. Julkisivuvalaistusta tulee kriteerin mukaan ohjata hämäräkytkimellä ja sammuttaa se aikaohjauksella yön ajaksi. Sammutuksen aikataulua kriteerissä ei määrätä, mutta esimerkiajaksi siinä annetaan kello 23:00–06:00. Lisäksi kriteeri määrää, että ulkovalaistuksen valotehokkuuden (huomioi, ei valonlähteen teho) tulee ylittää 50 lm/W ja julkisivun valaistuksen valaisintehon ylittää 70 lm/W. Ulko- ja julkisivuvalaistuskokonaisuuden ylävalo-osuuden tulee olla alle 5 % valaistuksen valovirrasta. (32, s. 51–52.)

S1.3 Käyttäjän vaikutusmahdollisuudet (2 pistettä)

Valaistuksen ohjaus kattaa olosuhteisiin vaikuttamisen kriteereistä puolet, eli sen osalta saatavilla on yksi piste. Ensimmäisenä ehtona työtiloissa tulee voida toteuttaa henkilökohtaista valaistuksen ohjausta ja himmennuksen säätöä. Valaistustasoja tulee olla kolme: täysiteho, osateho sekä sammutus. Kriteeri hyväksyy myös työpistevalaisimen käytön säädettävyyden toteuttamiseksi niillä työpisteillä, jossa säädettävää perusvalaistusta ei käytetä. Suunnitteluvaiheessa todistusaineistoksi tulee toimittaa tilatyypeittäin jaettu yhteenveto valaistuksen ohjauksista sekä rakennusvaiheessa tarkastusmuistio ohjausten toteutuksesta. (32, s. 69–70.)

Päivänvalon määrän säädön ja häikäisyn eston toteuttaminen on toisena kriteerinä, mutta siitä vastaa usein arkkitehti, ellei järjestelmää toteuteta sähkötoimisesti. (32, s. 69–70.) Vaatimus täytetään useimmiten sälekaihtimia käyttäen.

Kolmas kriteeri koskee valaistuksen automaattista sammutusta käyttöajan jälkeen. Osalle valaistuksesta liike/läsnäolotunnistus hoitaa sammutuksen, mutta aikaohjausta käyttämällä saadaan sammutettua valaistusjärjestelmän loputkin valaisimet, sekä laitteiden lepokulutus, jota esimerkiksi järjestelmälaitteet ja tunnistimet kuluttavat. Suunnitteluvaiheen todistusaineistoksi vaaditaan rakennusautomaatioselostus valaistuksen ohjauksista, sekä rakennusvaiheessa ohjausten RAU-toteutusten tarkastusmuistio. Käyttööntöövaiheessa tulee toteuttaa tarkastus automaattisen sammutuksen toiminnan toteutukseksi ja toimittaa tarkastuksesta todistus. (32, s. 69–70.)

S2.2 Valaistuksen laatu (2 pistettä)

Valaistuksen laatua koskevat kriteerit käsittelevät työskentelytilojen valaistusvoimakkuuksia, valon tasaisuutta sekä häikäisyä (UGR-arvot). Mikäli kriteerit halutaan täyttää, tulee valaistuksen ohjausten osalta varmistaa, etteivät automaattiset ohjaukset laske työskentelytiloissa valaistusvoimakkuuden eivätkä valaistuksen tasaisuuden arvoja sisätyöpaikkojen valaistusstandardissa EN 12464-1 suositeltujen arvojen alle. (32, s. 76.)

5 Valaistuksen ohjaustavat ja ohjauslaitteet

Valaistuksen ohjauksella ja säädöllä tarkoitetaan kahta eri asiaa. Ohjaus käsittelee säädön ohjaukseen tarkoitettuja eri käyttölaitteita, kuten kytkimiä, painikkeita, tunnistimia jne. käytön kannalta. Sääto käsittelee itsessään valoteknistä manipulointia sekä teknisiä ratkaisuja kuorman ja sen kytkennän tai rajoittamisen näkökulmasta, esimerkiksi millä tekniikalla valaisimen liitäntälaitte himmentää sen syöttämän valaisimen tuottamaa valovirtaa tai sammutetaanko valaisimen valot virtapiiri katkaisemalla, (kytkin) vaiko digitaalisesti ohjaten (digitaalinen ohjausjärjestelmä), jolloin virtapiirissä on edelleen virtaa, kuitenkin ilman että valot palavat. (8, s. 2.)

Valaistuksen määrän ja käyttöajan ohjaamisen toteuttamiseksi voidaan käyttää useita eri ratkaisuja, mutta ne eivät välttämättä sovi jokaiselle lamppu- ja kuormatyypille. Vaikka erilaisia ohjauslaitteita ja säätötapoja on lukuisia määriä, eivät nämä välttämättä poissulje toisiaan. Monessa kohteessa on samanaikaisesti useampi ratkaisu käytössä, jotka täydentävät toisiaan. (8, s. 3.)

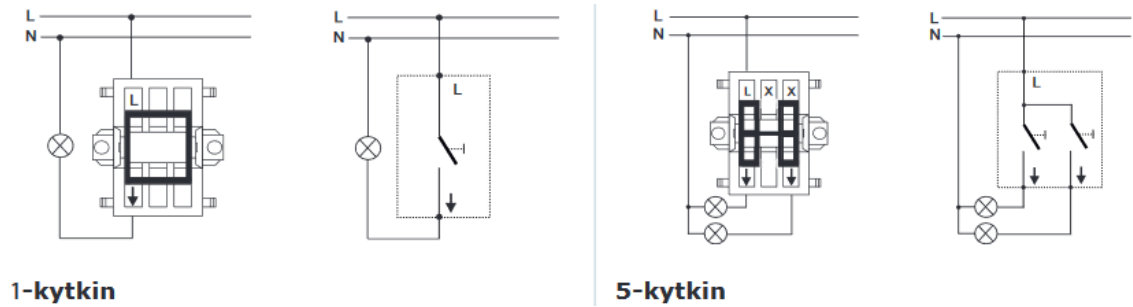
5.1 Manuaalinen ohjaus

5.1.1 Kytkinohjaus

Yleisin valaistuksen ohjauksen ratkaisu on päävirtapiiriin sijoitettava koskettimella vaihejohtinta ohjaava mekaaninen seinäkytkin. Kytkimen käyttö on toimintavarma mutta joustamaton ratkaisu, joten sen rinnalle kannattaa harkita muitakin käyttömiä.

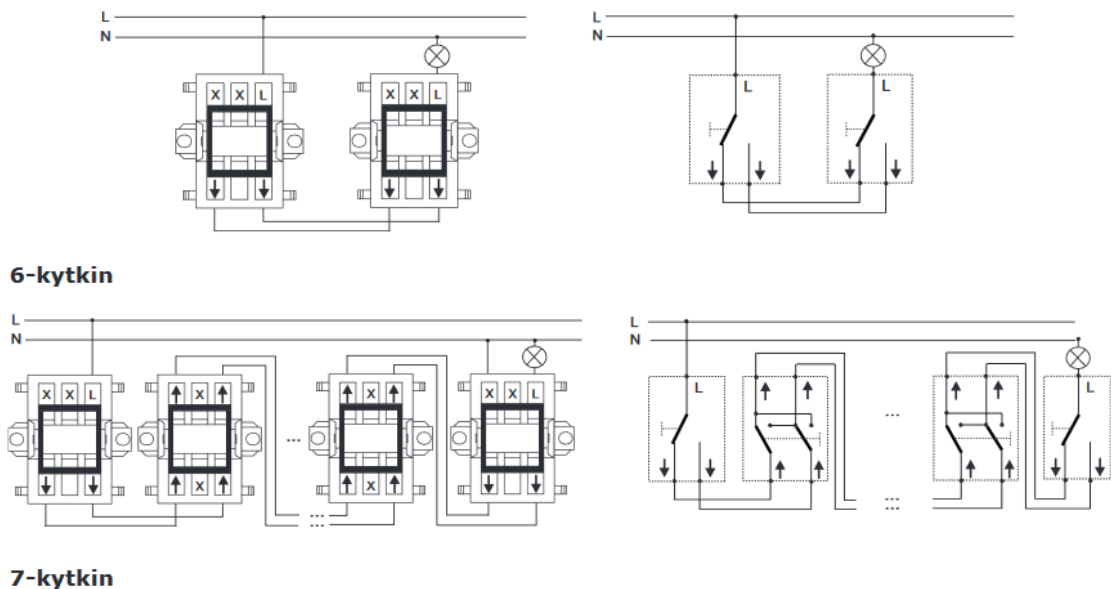
Yksinkertaisin kytkintyyppi on yksinapainen 1-kytkin, joka painiketta painettaessa katkaisee/palauttaa vaihejohtimen virransyötön valaisinryhmälle avaamalla/sulkemalla koskettimen. 1-kytkintä voidaan käyttää myös valaistuksen ohjauspiireissä, jolloin sillä ohjataan releitä ja kontakteja. (33.)

5-kytkin, eli sarjakytkin on kaksipainikkeinen kytkin, jolla voidaan 1-kytkimen tavoin katkaista vaihejohtimen syöttö, mutta kahdesta valaisimesta tai vaikkapa valaisimen kahdesta eri lamppuryhmästä. Tämän mukaisesti 5-kytkin tunnetaan myös nimellä ”kruunukytkin”. Kytkinten toimintaperiaatteita havainnollistetaan kuvassa 6. Kolmpainikkeinen versio samasta kytkinratkaisusta on 1+1+1-kytkin. (33.)



Kuva 6. 1- ja 5-kytkinten toimintaperiaatteet (33).

6-kytkintä, eli vaihtokytkintä käytetään, mikäli valaisinryhmää halutaan ohjata kahdesta paikasta, esimerkiksi portaiden ylä- ja alapäässä, tai huoneissa joissa on kaksi sisääntuloreittiä. Vaihtokytkimiä käytetään pareittain ja yksinään käytettäessä ne toimivat 1-kytkimen tavoin. Toiminta perustuu siihen, että virralla on kaksi mahdollista johdinreittiä ja valaisinryhmä saadaan syttymään ja sammumaan vaihejohtimen katkaisulla kumpaa tahansa kytkintä painamalla. Kun tarvitaan kolmea tai useampaa kytkintä esimerkiksi korkeissa porrashuoneissa, käytetään kahden 6-kytkimen välissä tarvittavaa määrää 7-kytkimiä. (33.) 7-kytkimet, eli ristikytkimet, ovat käytännössä 6-kytkinten laajennusosia, joita voidaan lisätä ryhmään rajattomasti (34). Kuva 7 havainnollistaa 6- ja 7-kytkimen toimintaa.



Kuva 7. 6- ja 7-kytkinten toimintaperiaatteet (33).

Perinteisten seinäkytkimien lisäksi kytkimiä löytyy myös osana valaisimia. Vetokytkimet, joilla matalan tilan toimitilakäyttöön ja usein varsinkin

toimistoympäristöön suunnitellut ripustusvalaisimet ovat varustettavissa, ovat käytännöllinen ratkaisu automaattisten ohjauksien rinnalle. Niillä tilankäyttäjät voivat ohittaa automaatti- ja tunnistinohjaukset vetämällä valaisimen kytkintä ohjaavaa narua. Vetokytkimet toimivat kuin 1-kytkimet, mutta niistä poiketen vetokytkimet hallitsevat yksittäisiä valaisimia valaisinryhmässä, eivätkä koko ryhmää kerralla. Tämän takia vetokytkimiä ei ole saatavilla ketjutettaviin valaisimiin.

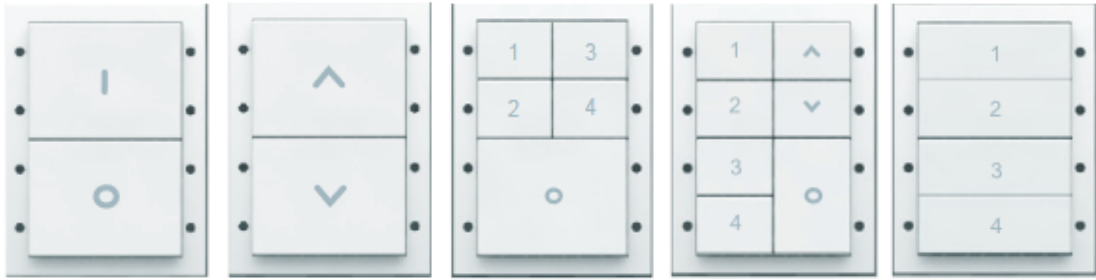
5.1.2 Painonapit

Painonappeja ja painikkeita käytetään ohjaamaan valaistuksen ohjausjärjestelmiä. Toisin kuin kytkimet, painonapit palautuvat painamisen jälkeen takaisin lähtöasentoonsa, useimmiten jousen avulla. Kytkimistä lisäksi poiketen painonapit eivät itsessään vuorottain estä ja salli virrankulkua, vaan ne lähettävät painalluksilla komentoja säätölaitteille, releille, kontaktoreille, tai vastaanottimille, jotka vuorostaan voivat kytkeä valaistusta (34, s. 143–144).

Suorapainikeohjauksessa painonapin painalluksella ohjataan verkkovirran välityksellä suorapainikeohjaukseen soveltuvia valaisinten liitäntälaitteita. Langattoman EnOcean-järjestelmän painikkeet lähettävät radiotaajuudella digitaalisia komentoja esimerkiksi DALI- tai KNX-järjestelmiin kytkettyihin gateway-vastaanottimiin, jolloin ohjausjärjestelmiä voidaan ohjata langattomasti painikkeilla. Luvussa 6 käsitellään eri ohjausjärjestelmiä ja niiden toimintaperiaatteita.

5.1.3 Tilanneohjaus

Tilanneohjauksella tarkoitetaan ennalta säädettyjen valaistuksen esiasetusten ohjausta, jota useimmiten käytetään muuttamaan tilan valaisimien valaistusvoimakkuuden himmennysarvoa. Ohjaustavassa valaistuksen ohjausjärjestelmään tai tilanneohjaukseen tarkoitettuun ohjainyksikköön ohjelmoidaan eri valaisinryhmille kutsuttavat tilanteet. Useimmiten ohjausta toteutetaan tietyssä tilassa, jossa käyttäjät ja toiminnot vaihtelevat, kuten toimistojen neuvotteluhuoneissa, auditorioissa ja edustustiloissa. Etenkin luokkahuoneet ovat soveltuvia tiloja tilanneohjaukseen. Tilanteiden kutsun ohjauslaitteena toimii usein samassa tilassa sijaitseva ohjauspaneeli (kuva 8). (8, s. 12.)



Kuva 8. Tilanneohjaukseen soveltuvia painikepaneeleja. Nuolipainikkeet ovat tarkoitettu kutsuttujen valaistustilanteiden hienosäätöön, jossa kaikkien valaisimien himmennys (tai värilämpö) säätty yhtenäisesti. (35, s. 1.)

Järjestelmä tulee suunnitella siten, että tilan käyttötarkoituksen mukaisesti eri valaisimille on valittavissa omat säätöarvonsa, kuten tilan etu-, keski- ja takarivien valaisimien sekä esimerkiksi neuvotteluhuoneen pöydän päällisen valaisimen tai auditorion kävelyteiden valaisimien omat kutsuttavat himmennysarvot, jolloin tilan eri osiin voidaan käyttötilanteen mukaan valaistuksella keskittää huomiota. (8, s. 12.) Mikäli ohjauslaitteen painikkeiden yhteyteen merkitään käyttäjien näkyville tilanteiden nimet, tulisi ne nimetä käyttötarkoituksen mukaisesti, kuten taulukossa 3 on havainnollistettu, eikä valaistukseen viittaavin nimin, kuten ”Täysi valaistus”, ”Normaali valaistus”, ”Etuosan valaistus”, ”Himmennys”, ja ”Valaistus pois”. Tilanneohjaus on sopiva ratkaisu myös esimerkiksi ravintoloihin, tapahtumatiloihin tai kevyemmille esiintymislavoille, joiden valaistusta ei ohjata teatteritason DMX 512 -järjestelmällä.

Taulukko 3. Esimerkki tilanneohjauksen esiasetuksista neuvotteluhuoneeseen. Mikäli tilassa on ohjattavissa erikseen ainoastaan pöydän päällinen valaistus ja muu kattovalaistus, niin voidaan muulle kattovalaistukselle käyttää ”Takarivi”-sarakkeen asetuksia. (8, s. 12.)

	Eturivi	Keskirivi	Takarivi	Neuvottelu- pöydän valo
Siivous	100 %	100 %	100 %	100 %
Kokous	50 %	50 %	50 %	80 %
Puhe-esitys	0 %	15 %	35 %	40 %
Videositys	0 %	0 %	5 %	0 %
Sammutus	0 %	0 %	0 %	0 %
Tilanteiden välinen säätöviive 3 sekuntia				

Tilanneohjauksen toteuttaminen vaatii suunnittelua sopivan ryhmityksen saamiseksi, ja asennuksen päätteeksi järjestelmä on ohjelmoitava sekä säädön asetusarvot

määriteltävä. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon käytettävästä järjestelmästä riippuva määriteltävien tilanteiden lukumäärä:

- Erillisissä tilanneohjausratkaisuissa riippuu käytetystä keskusyksiköstä.
- DSI – Vaatii erillisen keskusyksikön tilanneohjaukselle, standardoimaton, joten riippuu käytetystä keskusyksiköstä.
- DALI – 16 tilannetta väylää kohden.
- KNX – Ohjainyksiköiden määrästä riippuva, 14–16 tilannetta yksikköä kohden. (8 s. 12.)

5.1.4 Himmentäminen

LED-valaisimen himmentämisen toteutettavuus riippuu aina liitälaitteesta. Mikäli valaisinta halutaan himmentää, tulee aina tarkistaa, sopiiko sen liitälaitte himmennettäväksi. (34, s. 144.) Tarkastaessa tulee tietää, suoritetaanko himmennystä analogisella (1–10 V) vai digitaalisella (DALI, DSI, suorapainikeohjaus) tekniikalla.

Himmennyksen säätöä LED-valaistukselle voidaan toteuttaa liitälaitteesta riippuen eri tavoin, kuten virranalennussäädöllä tai pulssileveysmodulaation (PWM) avulla käyttöjännitettä katkoen. (36.) Vakiovirralla toimiville LED-valaisimille, eli joilla on tietty ohjausvirta, soveltuu hyvin virranalennussäätö. Esimerkiksi paneelit sekä uppo- ja pinta-asenteiset LED-valaisimet ovat vakiovirralla toimivia. LED-listat, -spotit ja -polttimot ovat useimmiten vakiojännitteisiä, joille vuorostaan soveltuu parhaiten PWM-säätö.

Himmennyksen ohjaukseen on markkinoilla lukuisia ratkaisuja. Seinäasenteisia ratkaisuja ovat perinteinen kierrettävä rasiahimmennin, joka kuluttaa valot pimeänäkin pitovirtaa sekä ulkoisesti samannäköinen potentiometri, jolla pitovirtakin saadaan katkaistua. Eri ohjausjärjestelmien painonapit ja pyöritettävät ohjaimet (kuva 9) toimivat myös himmennyksen ohjaukseen. Suoraan kattovalaisimeen integroidulla vetokytkimellä voidaan ohjata himmennystä. Julkisiin tiloihin, toimitiloihin, kauppoihin ja ravintoloihin soveltuvat DIN-valonsäätimet ovat kevyt ratkaisu isojen valaistuskuormien yksinkertaiseen himmentämiseen. DIN-valonsäätimien ohjaaminen on käytännöllisintä jousipalautteisten nappien avulla. Myös lukuisia automaattisia ratkaisuja himmennyksen säätöön on olemassa, kuten läsnäolotunnistimet, aikaohjaus ja vakiovalo-ohjaus. Näitä tapoja käsitellään luvussa 5.2.



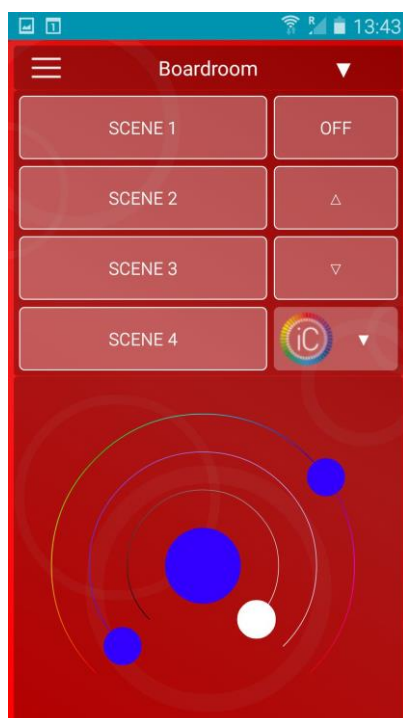
Kuva 9. Himmennyksen säätöön soveltuvia DALI-ohjauslaitteita Digidim-järjestelmään. Vasemmalta oikealle ylös/alas-painikkeet, liukuohjain ja pyöröohjain. (37, s. 12.)

5.1.5 Etäohjaus mobiililaitteilla

Mobiilisovelluspohjaisella ohjausjärjestelmän etäohjauksella voidaan ohjata ja säätää valaistusta esimerkiksi matkapuhelimen tai tabletin avulla. Toimistoissa mobiiliohjauksen etuna on, että ohjauslaitteen ollessa tilankäyttäjän oma puhelin (tai työpuhelin) se on erittäin edullinen tapa tarjota tilankäyttäjille monitoiminen ohjauslaite henkilökohtaiseen valonsäätöön. Tämän lisäksi käytettäessä puhelinta ohjauslaitteena siirrytään valaistuksen ohjauspisteestä käsitteeseen ohjausalue. Ohjausta voidaan toteuttaa suoraan työpisteellä, sinne saapuessa tai vaikka sieltä poistuttaessa, ja mikäli ohjaus toteutetaan radiotaajuuden sijasta verkkoyhteydellä, kasvaa ohjausalue merkittävästi.

Ohjaustavan heikkoutena sen toiminta riippuu laiteyhteyden lisäksi ennen kaikkea käyttäjän mobiililaitteen toiminnasta ja läsnäolosta, siinä missä painikkeet ruuvattuina seinään tai vetokytkin roikkumassa valaisimesta ovat käyttövarmuuden kannalta luotettavampia ratkaisuja. Mobiiliohjattavien valaisimien tulisikin aina olla lisäksi sytytettävissä ja sammutettavissa esimerkiksi edellä mainituilla tavoilla, jolloin himmennuksen ja värilämpötilan säädöt toteutetaan pelkästään mobiililaitteella. Myöskään jokainen käyttäjä ei välttämättä näe mobiiliohjausta käytännöllisyyden ja käyttömukavuuden kannalta parhaimpana ratkaisuna, jolloin vaihtoehtoisten ohjausmahdollisuuksien merkitys korostuu.

Kohteessa käytettävä mobiilisovellus riippuu aina käytetystä valaistuksen ohjausjärjestelmästä. DALI-ohjausjärjestelmään yhdistettävät Helvarin SceneSet ja Mount Kelvinin nimikkosovellus ovat esimerkkejä valaistuksen ohjaukseen ja hallintaan soveltuvista mobiilisovelluksista. Sovelluksia yhdistävänä piirteenä niitä voidaan käyttää ainoastaan kehittämiensä yritysten laitteistojen kanssa, tosin Mount Kelvin-järjestelmä rakennetaan DALI-järjestelmän päälle. SceneSet-sovelluksella voidaan ohjata ja muuttaa valaisinten sekä tilanneohjattavien valaisinryhmien valaistustiloja. Yhdistämällä sovellus Bluetooth-yhteydellä Illustris-ohjauspaneeliin saadaan kuvan 10 mukainen tilanneohjausnäkyvä käyttöön mobiililaitteelle, jolla voidaan etäohjata paneelia ja tätä kautta tilan valaistusta sekä muokata paneelin ohjausparametreja. (30.)



Kuva 10. SceneSet-sovelluksen tilanneohjausnäkyvä, jossa alla olevia ulompia säätimiä käytetään värilämmön säätöön, ja sisintä säädintä sekä ylempänä olevia nuolia himmennuksen tason säätöön (30).

5.2 Automaattiohjaus

5.2.1 Liike- ja läsnäolo-ohjaus

Liike- ja läsnäolotunnistimet ovat yleisimpiä automaattisia ohjauslaitteita. Tunnistimien toiminta perustuu eri tekniikoin erilaisia asioita havainnointiin antureihin. Anturin tekemät

havainnot kytkevät piirin kiinni tai lähettävät ohjausväylään komennon läsnäolon ja asetetun viiveen ajaksi, sallien virransyötön. Viimeisestä havainnosta kuluneen viiveajan jälkeen tunnistin joko sammuttaa valaistuksen tai himmentää sen, kunnes anturi tekee uuden havainnon. Himmennys voidaan toteuttaa himmentämällä valaistus välittömästi tietylle tasolle, kuten 20 % ja myös asteittain tai portaattomasti himmentäen. (38, s. 282.)

Tunnistimia on sekä erillisinä (kuva 11) että valaisimiin integroituina. PIR-tunnistimien anturit (Passive Infrared) tunnistavat ihmisen ruumiinlämmöstä johtuvan infrapunasäteilyn muutokset. US- (Ultraääni) ja HF-tunnistimet (suurtaajuus/mikroaalto) ovat käytännössä doppler-tutkia, joiden anturit havaitsevat pieniäkin liikkeitä ilman suoraa näköyhteyttä, lämpötilasta välittämättä. US-tunnistin havaitsee ihmisen kalusteiden, kuten sormien lävitse, mutta HF-tunnistimella voidaan havaita liike kevyen seinän takaa. PIR-tunnistimen havaintoetäisyyteen vaikuttaa tunnistettavan kohteen kulkusuunta. Infrapuna-anturit havaitsevat radiaalisen eli kohtisuoraan tunnistinta päin kulkevan liikkeen paremmin kuin tangentialisen eli sivuttaissuuntaisen liikkeen. US- ja HF-tunnistimille kohteen kulkusuunnalla ei ole väliä. (39, s. 308–313.)



Kuva 11. Upotettavia tunnistimia. Vasemmalla infrapunalähteiden liikkeitä seuraava PIR-tunnistin ja oikealla mikroaaltotaajuuksin luotaava HF-tunnistin. (37 s. 24.)

Liiketunnistimen anturi havaitsee tunnistusalueellaan olevat kohteet ainoastaan silloin kun ne liikkuvat riittävästi. Tämä tekee liiketunnistimesta riskialttiin ohjausratkaisun istumatyöpainotteisiin toimistotiloihin, mutta soveltuvia kohteita ovat varsinkin käytävät, porrashuoneet, vessat ja muut tilapäiskäytön tilat. (39, s. 316.)

Läsnäolotunnistimet ovat myös teknisesti liiketunnistimia, mutta ne reagoivat liikkeeseen paljon herkemmin. Niiden liikkeen valvonta-alue on aina suurempi kuin paikallaan olevan kohteen, eli pienen liikkeen valvonta-alue. Läsnäolotunnistimet soveltuvat erittäin hyvin toimistoihin yksittäisten työpisteiden ollessa ajoittain tyhjillään ja manuaalisen kytkinohjauksen käytön jäädessä melko passiiviseksi etenkin avotoimistoissa, missä sitä tavataan keskimäärin käyttää vain töiden alkaessa ja loppuessa (38, s. 277).

Läsnäolotunnistimilla voidaan toteuttaa kahdenlaista ohjausta: läsnäolo-ohjausta ja poissaolo-ohjausta (40). Läsnäolo-ohjauksessa tunnistin kytkee valot päälle ja pitää valaistuspiirin virransyötön kytkettynä, kunnes tunnistettavat kohteet katoavat näkökentästä ja viimeisestä havainnosta kulunut viivejakso on kulunut. Valojen sammutus voi säätötavasta riippuen tapahtua joko välittömästi viivejakson jälkeen, tai sitä voi edeltää valojen himmennys (38, s. 282). Poissaolo-ohjaus vuorostaan toimii siihen, että käyttäjä sytyttää valaisinryhmän painonapilla ja tunnistin vastaa valojen sammutuksesta (8, s. 13). Kun valojen sytytys jätetään manuaaliseksi ja siten käyttäjän päätettäväksi, on mahdollista säästää enemmän energiaa. Päivänvalon valaistessa poissaolo-ohjattua tilaa käyttäjä saattaa halutessaan jättää valaistuksen sytyttämättä, mutta läsnäoloperusteinen ohjaus sytyttää valot olosuhteista riippumatta, ellei järjestelmä suorita vakiovalo-ohjausta.

Erillisten langattomien tunnistimien ja valaistusta ohjaavien liike- ja läsnäolotunnistimien tilatietoja voidaan kerätä ja hyödyntää kiinteistön omistajan tai kiinteistön käytöstä ja ylläpidosta vastaavien tahojen eduksi. Kerätyllä informaatiolla voidaan seurata tilankäyttöä ja mitata, kuinka kauan ja kuinka moni ihminen mihinkin aikaan tiloja käyttää. (41.) Tätä tietoa voidaan käyttää tilojen siivoustarpeen määrittämisessä (42). Toimistoissa, joissa käytetään nimeämättömiä työpisteitä, voidaan tilatiedoista hyötyä enemmän. Toimistoissa, joissa ei ole henkilökohtaisia työpisteitä, voivat käyttäjät varata työpisteensä verkossa ja saatu tilankäyttötieto on hyödyksi esimerkiksi valittaessa työskentelypaikkaa. (41.) Tilankäyttötiedot voivat myös olla hyödyksi pelastustoimissa kertoen tyhjennettävän rakennuksen tiloista, joissa tunnistimet havaitsevat vielä liikettä.

5.2.2 Aikaohjaus

Aikaohjauksella tarkoitetaan valaistuspiirien ohjaamista säätölaitteisiin ohjelmoitujen tai asetettujen aikaparametrien mukaisesti. Ohjaustavalla pääsääntöisesti kytketään sisävalaistus pois päältä rakennuksen käyttöajan ulkopuolella ja ulkovalaistus kokonaan tai suurimmalta osin pois päältä yön ajaksi. Sisävalaistuksen syötöt kytketään takaisin päälle hetkeä (esimerkiksi 30 minuuttia) ennen käyttöajan alkua, tai ohjausjärjestelmää käyttäessä osa valaistuksesta voi kytkeytyä myös vasta saavuttaessa tilaan. Ulkovalaistus voidaan kytkeä takaisin päälle sisävalaistusta aikaisemmin, riippuen käyttöajasta. Laitteistosta riippuen valaistus voidaan myös sammuttaa ja sytyttää himmentäen tai pelkästään himmentää aikaohjatusti. Himmennykset voidaan tehdä asteittain tai portaattomasti.

Itse säätölaitteena voi toimia yksinkertainen DIN-kiskoon asennettava kellokytkin ryhmäkeskuksessa, valaistusryhmän lähdön kontaktori, jota valvonta-alakeskus ohjaa, tai valaistuksen ohjausjärjestelmään liitetty liitäntälaitte, joka siihen ohjelmoitujen aikataulujen mukaisesti ohjaa valaisimen sammuksiin. Ohjausjärjestelmän ohjauksen tapauksessa valot sammutetaan vähintään kerran yössä tapahtuvalla komennolla, joten valot eivät ole kytketty vaan ne ovat ohjattu pois päältä, jolloin niitä voidaan tarvittaessa käyttää esimerkiksi yölläkin. (43, s. 50.)

Rakennuksissa, joissa käyttöaika saatetaan tarvita lisää, tulee tarjota mahdollisuus aikaohjauksen viivästykselle, jolloin valoja voidaan tarpeen vaatiessa käyttää pidempään. Toimistoympäristössä myöhäisten vuorojen ja ylitöiden takia voidaan valaistusta tarvita myöhään. Käytännöllinen toteutustapa viivästykselle on käyttää painonappeja, joilta voidaan viedä signaali aikaohjauksen säätölaitteelle. VAK tai ohjausjärjestelmä ohjelmoidaan lykkäämään aikaohjauksen aloitusta esimerkiksi puoli tuntia painallusta kohden, jolloin käyttäjä saa tarvitsemalleen ajalle valaistusta. Suuremmissa rakennuksissa voi olla kannattavaa ohjelmoida ohjausviivästykset koskemaan vain tietyn siiven tai kerroksen valaistuksia sekä oleellisten poistumisteiden valaistuksia.

Aikaohjaus on keskeinen työkalu valaistuksen energiansäästöissä ja sen käyttö on tehokkainta kiinteistöissä, joissa on selkeä käyttöaika, minkä ulkopuolella valaistus voidaan kytkeä keskitetysti pois päältä. Täten se soveltuu hyvin osaksi toimistorakennusten valaistuksen ohjausta. (38, s. 281.)

5.2.3 Hämäräkytkimet ja hämäräohjaus

Hämäräohjaus perustuu valoantureiden tai astronomisten kytkinten toimintaan, ja niiden avulla useimmiten ohjataan ulkovalaistuspiirejä päälle pimeällä. Tällöin ulkovalaistus saadaan ohjattua automaattisesti päälle, kun sitä tarvitaan ja säästytään valojen turhalta päiväajan käytöltä. Valoanturi voi olla kytkettynä esimerkiksi VAK:iin tai hämäräkytkimeen (44, s. 17). Hämäräkytkimissä on sisäänrakennetut releet, joilla on vaihtelevia päälle- ja poiskytkentäviiveitä. Joissakin tapauksissa releen viiveaika on säädettävissä kytkimestä löytyvällä säätimellä. Valoanturien havainnoimaa valaistusvoimakkuuden kytkentätilan raja-arvoa voidaan muuttaa. Esimerkiksi eri hämäräkytkimillä on omat säätöalueensa, ja VAK-hämäräohjauksessa raja-arvot ja viiveet voidaan määrittää VAK:ilta ohjelmoiden.

Hämäräkytkimiä on varustettuina yksittäisen ryhmän ohjaustarpeeseen integroidulla valoanturilla, jolloin itse kytkinkin on ulkotiloissa. Pienen kiinteistön ulkovalaistuksen keskitettyyn hämäräohjaukseen voidaan käyttää ryhmäkeskuksen DIN-kiskoon asennettavaa moduulikytkintä, johon yhdistetty erillinen valoanturi viedään ulos. Rakennuksissa, joissa ulkovalaistusta syötetään mahdollisesti useammalta keskukselta, on VAK-hämäräohjaus kaikista käytännöllisin ratkaisu. VAK-ohjauksessa valoanturi (kuva 12) kytketään alakeskukseen, joka ohjelmoidaan ohjaamaan ryhmäkeskusten kontakteja, jotka vuorostaan ohjaavat ulkovalaistusryhmiä.



Kuva 12. Valvonta-alakeskukseen yhdistettävä ulkolämpötilaa ja valoisuutta mittaava anturi Ouman TMO-LUX (44, s. 17).

Mikäli ulkovalaistusta syötetään useammalta sähkökeskukselta, VAK-hämäräohjauksen etuna tarvitaan vain yksi valoanturi ja kaapeloinnissa säästetään,

sillä VAK:ilta kulkee joka tapauksessa kaapelit ryhmäkeskuksille, joilla kontaktoreita voidaan ohjata. Samassa tapauksessa keskukseen asennettavia hämäräkytkimiä käytettäessä kytkimiä tarvitaan useampia ja niille tarvitaan omat anturit ja kaapeloinnit. Ulosasennettava kytkin voi sopia ryhmäkohtaisesti valaisimille, jotka ovat heikosti päivänvaloa saavalla alueella, kuten sisäpihalla, katetulla alueella, tunnelissa tai rakennuksen/rakennuksien varjoissa.

Sopiva asennuspaikka valoanturille on pohjois-itä-suuntaisella ulkoseinällä siellä, missä se näkee auringonlaskun muttei vastaanota liikaa valoa muista rakennuksista tai pitkäaikaisista valonlähteistä, muutoin valot eivät syty. Anturia ei myöskään tule sijoittaa sen ohjaamien valaisimien näkyvyyteen – muutoin valot alkavat vilkkumaan.

5.2.4 Vakiovalo-ohjaus

Vaikka standardeissa ei määritellä kuinka valaistusta tulisi ohjata, sisätyöpaikkojen valaistusstandardissa kuitenkin todetaan, että työvalaistus voidaan toteuttaa kokonaan tai osin päivänvalon avulla (13, s. 34). Tämä tarkoittaa sitä, että energiaa voidaan säästää himmentämällä valaisimet ja antamalla auringon hoitaa valaistuksen.

Vakiovalo-ohjaus on ulkoisten valaistuslähteiden mukaan suoritettavaa automaattista valaisinten himmennuksen säätöä. Tätä kutsutaan myös päivänvalosäädöksi. Laitteiston toiminta perustuu liitäntälaitteelle tai erilliseen tunnistimeen asetettuun tavoiteltavaan valaistusvoimakkuuden tasoon ja yhteen tai useampaan valoanturiin jotka seuraavat tilaan saapuvaa ulkoista valaistusvoimakkuutta. Tunnistimet ohjaavat liitäntälaitteet säätämään valaistustasoa siten että mitattava valaistusvoimakkuus pysyy asetusarvossa, esimerkiksi himmentäen valaistusta päivänvalon lisääntyessä. (8, s. 12.) Jotkin järjestelmät kytkyvät valaisimet pois päältä, mikäli tarpeeksi valoa saapuu tilaan.

Tunnistimia voi olla valaisimissa integroituina tai erillisissä tunnistimissa, joihin asetusarvo syötetään. Erilliset tunnistimet voivat samalla toteuttaa esimerkiksi läsnäolo-ohjausta, jolloin ne ovat ns. multisensoreita (kuva 13). (45, s. 1.) Vakiovalo-ohjausta voidaan toteuttaa myös asentamalla erillisiä antureita ulkotilaan, mutta ratkaisu vaatii ohjausjärjestelmän väylän ohjaussignaalin kuljettamiseen (46). Liitäntälaitteiden välisenä ohjausväylänä toimii useimmissa ratkaisuissa DALI-väylä. Esimerkiksi Fagerhultin e-Sense Active-järjestelmässä tunnistimellinen master-

liitäntälaitte toimii (rajallisena) DALI-virtalähteenä, jolta ohjausjohtimin voidaan kuljettaa tunnistimen komennot slave-valaisimien liitäntälaitteille. Tällä tavoin keskusasetteisen laajemman järjestelmän sijaan voidaan toteuttaa kevyempi ja hajautettu ratkaisu. (47, s. 4.)



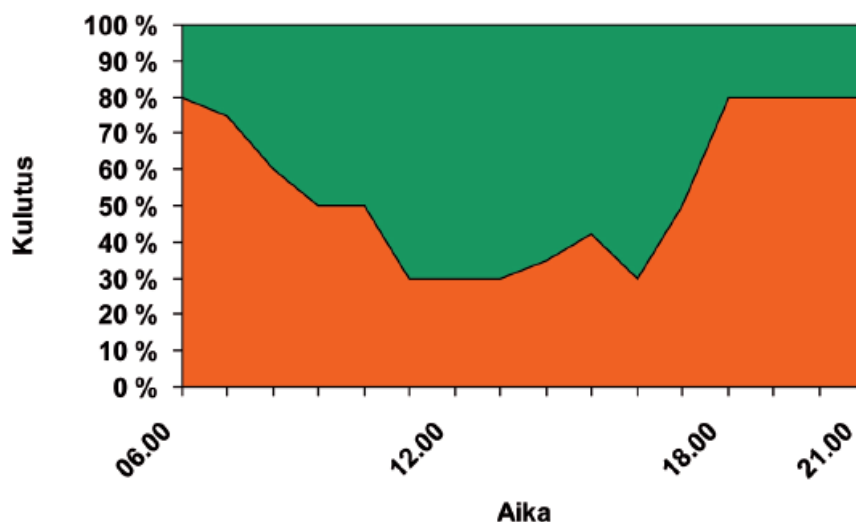
Kuva 13. Vakiovalo-ohjausta ja läsnäolo-ohjausta yhdistelevä erillinen DALI-multisensori. PIR-anturi on tunnistimen keskellä ja valoisuusanturi sen vieressä ulompana. (45, s. 1.)

Valaistussuunnittelijan tulee kiinnittää kyseisen ohjaustavan suunnittelussa seuraaviin asioihin huomiota: Toimistoissa ja muissa työskentely-ympäristöissä päivänvalosäätö tulee ohjelmoida hyvin hitaaksi ja mahdollisimman portaattomaksi, jotta nopeasti muuttuvat valaistustason muutokset eivät häiritse tilan käyttäjää. (8, s. 12.) Varsinkaan päälle/pois ohjaus ei sovellu työskentelytilaan, vaan paremmin esimerkiksi käytäville tai taukokuoneisiin (43, s. 86). Tasaisen säädön lisäksi tulee varmistaa ympäristöstä riippumatta, etteivät anturit reagoi toistensa himmentämiin valaisimiin vaan nimenomaan päivänvaloon. Toisten säätöryhmien valaistuksia seuraavat ryhmät aiheuttavat ketjureaktioita, jotka voivat huonosti suunnitellussa ja/tai asennetussa toteutuksessa levitä pitkälle rakennuksessa. Tunnistimet tulee sijoittaa suhteellisen hämärään paikkaan tilassa siten, että ne havaitsevat epäsuorasti päivänvaloa mutta ovat suojassa suoralta sähkövalaistukselta, kuten valaisinten ylävaloilta.

Toimistorakennuksessa vakiovalo-ohjaus on teoriassa tehokas tapa vähentää energiankulutusta, varsinkin useimpien toimistojen ollessa auki aamupäivän auringonnoususta iltapäivän loppuun asti, joten päivänvaloa riittää läpi vuoden. Vakiovalo-ohjauksessa kuitenkin piilee myös ongelmatekijöitä. Valaistustutkija ja kirjailija Peter R. Boyce esittelee kirjassaan *Human factors in lighting* (2014) neljä toimistoympäristön tekijää, jotka vaikeuttavat ohjaustavan toimintaa. Ensimmäisenä tekijänä ovat ihmiset, jotka haluavat eniten valoa. Boycen mukaan kiinteistö-omistajat

asettavat heidän valituksensa etusijalle, jolloin päivänvalosäädön asetusarvoa nostetaan ja valot palavat kirkkaammin. Toisena tekijänä ovat sälekaihtimet ja verhot, jotka estävät päivänvalon tuloa sisätiloihin heikentäen ohjauksen tehokkuutta. Kolmanneksi ongelmaksi muodostuu ohjauslaitteiston käyttöönotto, usein epäselvien ohjausperusteiden takia. Tähän liittyy myös edellisessä kappaleessa käsitelty anturien toisiinsa reagointi ja ketjureaktiot. Neljäs ongelmatekijä on vakiovalo-ohjauksen kallis hinta. Mitä tehokkaammaksi ohjauslaitteiden kokonaisuus menee, sitä vähemmän energiaa jää säästettäväksi ja sitä vaikeampaa on perustella järjestelmän kasvavaa hintaa. (38, s. 281–282.)

Vakiovalo-ohjauksen hyötynä on myös valonlähteen valovirran aleneman kompensointi. Valaisimen elinkaaren aikana sen valovirta alenee ja tätä huomioidaan suunnittelussa ylimitoittamalla valaisimia, mikä kuluttaa ylimääräistä energiaa. Vakiovalo-ohjaus pitää valaistustason asetetussa arvossa valaisimen elinkaaren loppuun asti, karsien myös valaistuksen ylimitoituksesta johtuvan ylimääräisen energiakulutuksen osuuden, joka voi olla 10–25 prosenttia. (48.) Kuvan 14 kuvaajassa vihreä väri havainnollistaa vakiovalo-ohjauksella aikaansaattua sähkönkulutuksen vähenemistä. Iltaa kohden tasoittuvasta käyrästä voidaan nähdä, kuinka ylimääräinen 20 prosentin valaisutehon ylimitoitus kompensoituu.



Kuva 14. Vakiovalo-ohjattavan valaistuksen sähkönkulutus oranssilla. Vihreä alue havainnollistaa, kuinka paljon kulutusta ohjaustavalla voidaan vähentää. (8 s. 13.)

Vakiovalo-ohjausta ei tule sekoittaa CLO-vakiovalojärjestelmään (Constant Light Output), joka perustuu valaisimen valovirran laskun kompensointiin pelkän

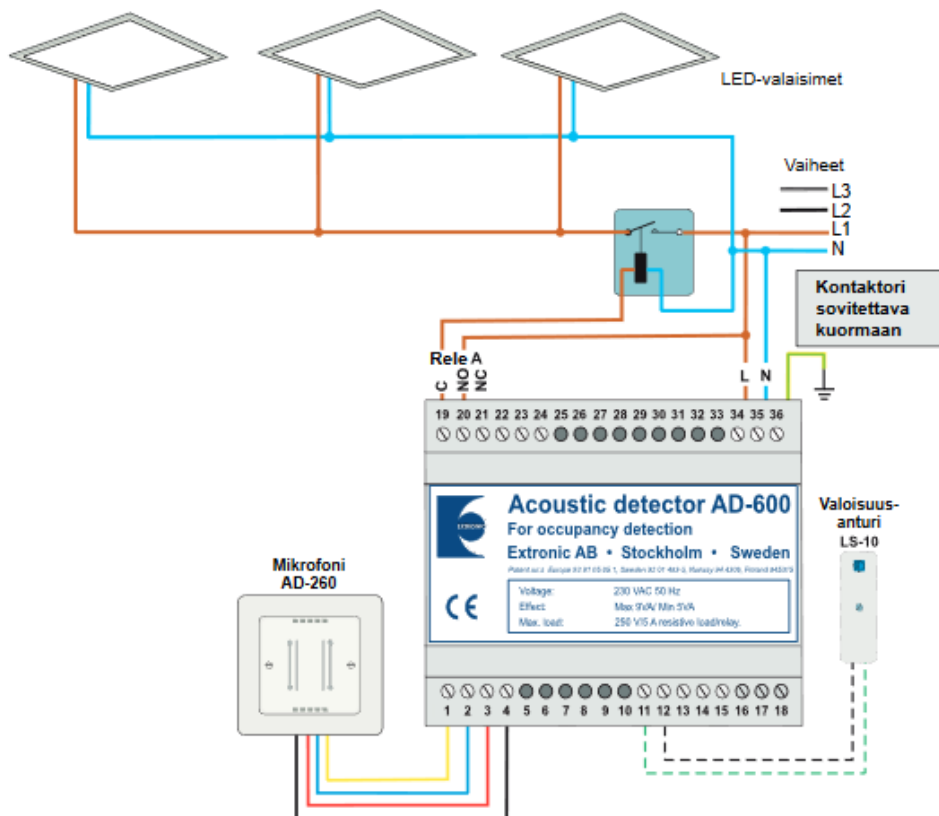
liitäntälaitteen ohjelmoinnin avulla. Liitäntälaitteen CLO-järjestelmä on ohjelmoitu nostamaan automaattisesti valaisimen tuottamaa valovirtaa sen elinkaaren edetessä. (49.)

5.2.5 Akustinen ohjaus

Akustinen tunnistin kuuntelee mikrofonien avulla erikseen matala- ja korkeataajuisia ääniä, joihin se reagoi sytyttämällä valot. Mikrofonit kuuntelevat eri taajuuksien ääniä, koska matalataajuiset äänet, kuten ovien avausäänet, sytyttävät valot ennen kuin tilaan edes astutaan ja korkeataajuiset äänet, kuten puheen ja liikkumisen äänet vuorostaan pitävät valot päällä, mikäli tilassa ollaan pidemmän aikaa. Korkeita taajuuksia seuraamalla saadaan siis myös läsnäoloa seurattua. (50.)

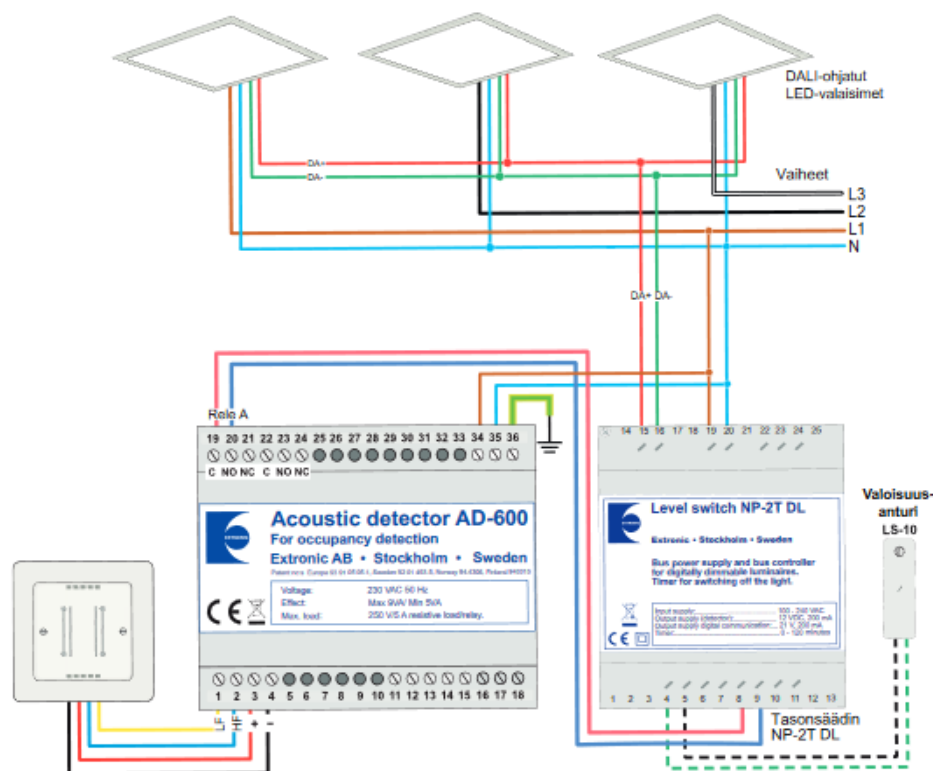
Sopivimpia käyttökohteita akustiselle tunnistukselle ovat suljetut tilat, kuten porrashuoneet, sekä sokkeloiset tilat, kuten pukuhuoneet (50). Ohjaustavan valttina onkin sen riippumattomuus näköyhteydestä käyttäjään, jolloin ohjauslaite, eli mikrofoni voi sijaita eri kerroksessa tai nurkan takana käyttäjästä ja silti toimia. Tämän ansiosta ohjauslaitteita tarvitaan vähemmän. Toimistorakennuksissa potentiaalisin käyttökohde akustiselle tunnistukselle on porrashuoneet, joita käsitellään eri ohjaustapojen suunnittelun kannalta luvussa 7.6.

Akustisia tunnistimia löytyy valaistavaan tilaan asennettavana hybridimallina (tunnistin ja mikrofoni yhdessä), ryhmäkeskuksen DIN-kiskoon asennettavan tunnistimen (ja erillisten valaistavaan tilaan asennettavien mikrofonien) ratkaisuna, sekä ohjausjärjestelmään liitettävänä ratkaisuna. Tunnistin ei toimi kytkimenä, vaan sen releellä ohjataan erillistä kontaktoria (kuva 15). (51, s. 3.)



Kuva 15. Akustisen tunnistinohjauksen toteutustapa, jossa akustisen tunnistimen rele ohjaa kontaktoria, joka ohjaa valaisinryhmän syöttöä (51, s. 3).

Tasonsäädintä voidaan käyttää ohjausjärjestelmän rajapintana ja sen avulla valaistus voidaan himmentää portaattomasti läsnäolon perusteella. Normaalin valontason ja himmennystason voimakkuudet ja himmennysviive voidaan määrittää tasonsäätimellä. Esimerkkiratkaisussa (kuva 16) DIN-asenteinen tunnistin on liitetty tasonsäätimellä DALI-väylään. Tunnistimeen on myös mahdollista liittää valoanturi estämään valojen syttymistä riittävässä päivänvalossa, tai liittämällä valoanturi sopivaan tasonsäädinmalliin voidaan toteuttaa vakiovalo-ohjausta. (51, s. 3.)



Kuva 16. Akustisen tunnistinohjauksen toteutustapa, jossa tunnistinlaite on yhdistetty tasonsäätimellä DALI-väylään (51, s. 3).

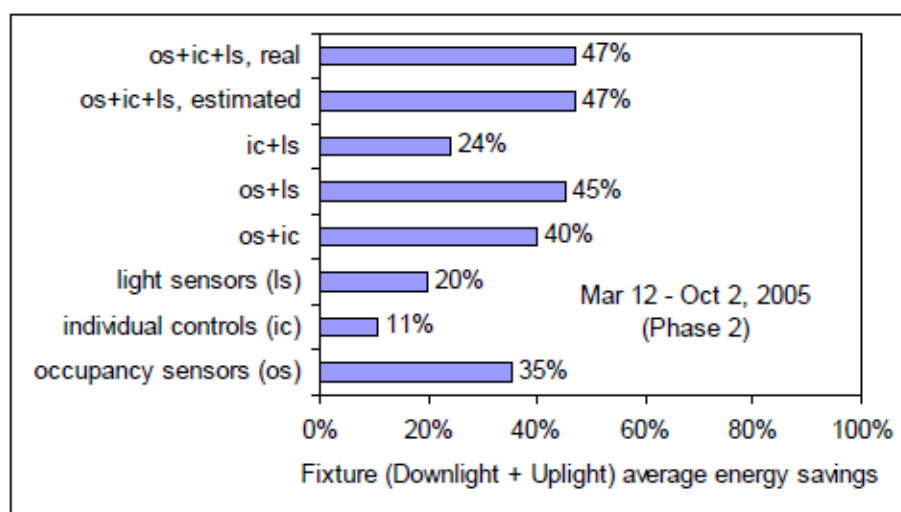
5.3 Ohjaustapojen vertailu ja valintaperusteet toimistoon

Kanadan kansallinen tutkimusvaltuusto tutki yli vuoden ajan vancouverilaisessa toimistorakennuksessa läsnäolotunnistimien, päivänvalotunnistimien ja henkilökohtaisen työalueen valaistuksen himmennysmahdollisuuden vaikutuksia avotoimistotilojen energiankulutukseen. Mittaukset tehtiin työpistekohtaisilta kattovalaisimilta, joissa oli integroidussa multisensorissa läsnäoloa ja päivänvaloa mittaavat anturit. Valaisimia pystyttiin himmentämään työpisteillä olevien tietokoneiden sovelluksen avulla. (52, s. 7–8.)

Ohjaustapoja vertailtiin yhdessä ja erikseen, jotta nähtiin, kuinka ne toimivat erilaisina yhdistelminä ja millaiset niiden vaikutukset olivat yksinään käytettäessä. Ratkaisujen mitattua energiansäästöä verrattiin tilanteeseen, jossa valaisimia pidettiin päällä täydellä teholla koko työpäivän ajan, eli täydet 11 tuntia. Tutkimuksessa liiketunnistimen poiskytkentä alkoi 12 minuutin päästä edellisestä liikehavainnosta

himentämään valaisimen valaistusta kolmen minuutin aikana pimeäksi, katkaisten virransyötön. Päivänvalotunnistimen tekemä vakiovalonsäätö, eli himmennys oltiin rajoitettu 50 prosenttiin maksimivalovirrasta valaistusolosuhteiden tasaamiseksi, joten sen täyttä säästöpotentiaalia ei hyödynnetty. Myöskään valaisimien ylävalokomponenttia ei asetettu säädettäväksi, jotta katon valaistus pysyisi tasaisena toimistossa. Kuvassa 17 näkyvistä lopullisista tuloksista todettiin, että yksittäistä ohjaustapaa käytettäessä työpisteen yllä oleva läsnäolotunnistin on tehokkain ratkaisu, mutta suurin energiansäästö aikaansaadaan yllämainittujen ohjausten yhdistelmällä. (52, s. 9–13.)

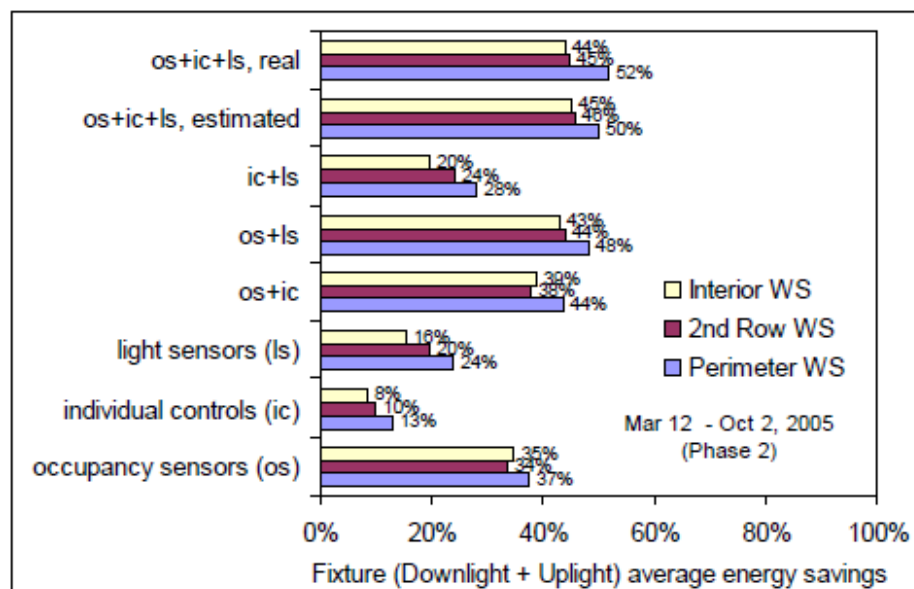
Kuten kuvasta 17 nähdään, ohjaustapojen yhdistelmäkäyttöjen säästöt eivät summaudu erilliskäytöllä saatujen mittaustuloksien mukaisesti. Tämä johtuu ohjaustapojen päällekkäisyyksistä, joilta ei voida välttyä. Esimerkiksi kun läsnäolotunnistimet sammuttavat valaistuksen, ei vakiovalo-ohjauksella tai käyttäjän himmennyksellä saada silloin säästöä aikaiseksi. Vastavuoroisesti, ei läsnäolo-ohjauskaan säästäisi yksinomaan sähköä, koska vakiovalo-ohjaus ja käyttäjien himmennykset voivat jo valmiiksi alentaa valaistustasoa.



Kuva 17. Päivänvalotunnistimien (ls), henkilökohtaisen työpistehimmennyksen (ic) ja läsnäolotunnistimien (oc) erikseen ja yhdistelminä käyttämisellä lasketut prosentuaaliset säästöt avotoimiston työpistevalaisimien energiankulutukseen (52, s. 16).

Mitä enemmän ikkunapinta-alaa avotoimistossa on, varsinkin suhteessa kerrosalaan, sitä enemmän korostuu himmennysten tehokkuus. Kuva 18 osoittaa päivänvalotunnistimien tuovan rakennuksen ulkoreunojen työpisteillä 50 prosenttia ja

yksittäisten himmennysten 63 prosenttia suurempaa energiansäästöä verrattuna kaksi riviä sisempänä oleviin, vähemmän päivänvaloa tavoittavien työpisteiden kulutukseen verrattuna.



Kuva 18. Taulukko, jonka mittauksen mukaisesti kuvassa 13 ilmoitetut energiansäästöprosentit laskettiin. Tulokset ovat jaettu ryhmiin työpisteiden etäisyyden mukaan ulkoseinästä. Työpisteet jaettiin ulkorivin, toisen rivin ja sisemmän alueen ryhmiin. (52, s. 17.)

Energiansäästön lisäksi tulee myös ottaa huomioon tilan käyttäjät ja antaa heille mahdollisuus hallita valaistusta. Vaikka käytettäisiin liiketunnistusta ohjaamaan työpisteiden valoa, tulisi kuitenkin olla mahdollisuus myös manuaaliohjaukseen vetokytkimen, seinäkytkimen, painikkeen, kauko-ohjaimen, puhelimen tai, kuten tutkimuksessa, vaikka tietokoneen avulla. Päälle-pois-ohjaus antaa jo jonkin verran ohjattavuutta, mutta valaistuksen himmennettävyydellä voidaan tuottaa aina käyttäjille mieluisimmat olosuhteet. Oman työpisteen valaisimen himmennys lisää jo huomattavasti käyttäjätyytyväisyyttä. Kanadalaistutkimuksessa arvioitiin yksilöllisen säädettävyyden olevan merkittävä tekijä käyttäjätyytyväisyyden paranemiseen (52, s. 24). Peter R. Boyce kirjoittaa myös omasta tutkimustyöstään, jonka tulosten perusteella himmennysmahdollisuus nosti toimistorakennuksen työntekijöiden mukavuuden kokemusta 71 prosentista työntekijöistä 91 prosenttiin asti (38, s. 281).

Aikaohjauksen vaikutus energiansäästöön riippuu erittäin paljon liike- ja läsnäoloperusteisesti ohjatun valaistuksen määrästä. Mitä vähemmän kyseisiä automaattikytkimiä ohjaa valaistusta kiinteistössä ja mitä enemmän on palamaan

unohdettavia pelkästään manuaaliohjattavia valaisimia, sitä enemmän säästöpotentiaalia aikaohjauksella on. On kuitenkin kannattavaa varustaa valaistusjärjestelmä aikaohjauksella manuaalikytkettävien valaistusryhmien osalta, sillä ohjausjärjestelmään kuuluvien valaisinten aikaohjauksen toteutus vaatii vain aikataulujen määrittämisen ohjelmointivaiheessa ja muilta valaisimilta pelkän kellokytkimen, joka on yötä myöten palavien valaistusryhmien sähkölaskuun verrattuna edullinen ratkaisu.

Toisiaan tukevat eri ohjaustavat voidaan yhdistää yhdeksi laitteeksi helpottaen suunnittelua ja asentamista. Useat laitevalmistajat (UTU, Helvar, Nylund) toimittavat esimerkiksi multisensori-läsnäolotunnistimia, jotka mittaavat myös valaistusvoimakkuutta ja toteuttavat vakiovalo-ohjausta. Tämänlaiset tunnistimet eivät reagoi ihmisiin ja sytytä valoja, mikäli valaistustason raja jo valmiiksi ylittyy. (8, s. 13.)

Ohjaustavan vaihtoehdot riippuvat myös pitkälti rakennuksen tilatyypistä, ja sopivin ohjausratkaisu valitaan lopuksi tilan ominaisuuksien ja tarpeiden perusteella. Toimistorakennuksen tilakohtaista ohjauslaitteen valintaa käsitellään luvussa 7.

6 Ohjausjärjestelmät

Valaistuksen ohjausjärjestelmät on kehitetty alustoiksi luoda ohjaustapojen ja säätötekniikan kannalta monipuolisemmin ohjattavia valaistuskokonaisuuksia, joiden suunnittelu ja asentaminen on selkeää ja laitevalikoima on yhtenäinen sekä laitevalmistajasta riippumatta yhteensopiva. Ohjausjärjestelmien kanssa yhteensopivia valaisimia yhdistää usein kaapeloinnin viisinaipainen liitäntä.

Ohjausjärjestelmiä voidaan jaotella monin perustein. Järjestelmiä on erikseen

- osoitteettomina ja osoitteellisina
- paikallisohjattavina ja rinnakkaisohjattavina
- analogisina ja digitaalisina
- paikallisina ja keskitettyinä.

Osoitteelliset ohjausjärjestelmät, kuten DALI ja KNX tarjoavat ohjelmitavuutensa ansiosta muuntojoustavuutta ohjaukseen ja ryhmyykseen, josta on hyötyä tilamuutoksissa (34, s. 144). Seuraavassa kappaleessa käsitellään lyhyesti paikallisohjausta ja esitellään analoginen 1–10 V -järjestelmä, mutta muutoin luvussa 6 keskitytään rinnakkaisohjaukseen sen ollessa toimistoon soveltuvampi ratkaisu, joka tarjoaa monipuolisempaa ohjattavuutta käyttäjälle ja enemmän joustavuutta suunnittelijalle.

Paikallisohjausta voidaan toteuttaa vain yhdellä ohjauslaitteella ainoastaan yhdestä pisteestä. Analoginen 1–10 V -järjestelmä on käytetyin paikallisohjattava ohjausjärjestelmä. Siinä sekä ohjaus- että säätölaitteena toimii useimmiten 1–10 V - ohjausjärjestelmän tasajännitettä säätävä kojeriasäädin, jolla valaistusryhmää himmennetään. Suuremmilla tehoilla säätölaite voi sijaita keskuksessa ja ohjaus toteutetaan valaistavassa tilassa erillisellä säätimellä. Valaisimia ei saada sammutettua pelkällä jännitesäädöllä, vaan (pienellä jännitealueella) verkkovirran syötön katkaisemiseksi tulee käyttää kytkintoiminnollisia säätimiä. Verkkovirta kytkeytyy pois päältä myös esimerkiksi asentamalla läsnäolotunnistin tai muu kytkin piiriin, jolloin teoriassa siirrytään rinnakkaisohjaukseen, mutta käytännössä säädin ei toimi rinnakkain ja riippumatta toisesta ohjauslaitteesta. Suuremmalla tehoalueella käytetään keskuksessa relettä tai kontaktoria. (8, s. 14.) 1–10 V -järjestelmä on yksinkertainen, edullinen ja toimiva ratkaisu, mutta sille on vastaava rinnakkaisohjattava vaihtoehto – Suorapainikeohjaus.

Rinnakkaisohjaus on kehittyneempi ohjaustapa, sillä siinä pystytään ohjaamaan säätöryhmää useamman rinnakkain toimivan ohjauslaitteen avulla. Se siis sallii säätöryhmän ohjauksen useasta pisteestä, ja ohjauslaitteet toimivat toisistaan riippumatta yhdessä. Ohjauslaitteina rinnakkaisohjattavassa järjestelmässä voidaan käyttää releohjauksen ja suorapainikeohjauksen palautuvia painikkeita ja ohjausjärjestelmäkohtaisia ohjauslaitteita, jotka voivat olla esimerkiksi hipaisusäätimiä, muita painikkeita, tai erilaisia tunnistimia. (8, s. 9–10.) Monipuolisuutensa ansiosta rinnakkaisohjaus soveltuu kohteeseen kuin kohteeseen, siinä missä paikallishajausta käytetään nykypäivänä lähinnä asuinrakennuksissa, joihin se hyvin soveltuukin.

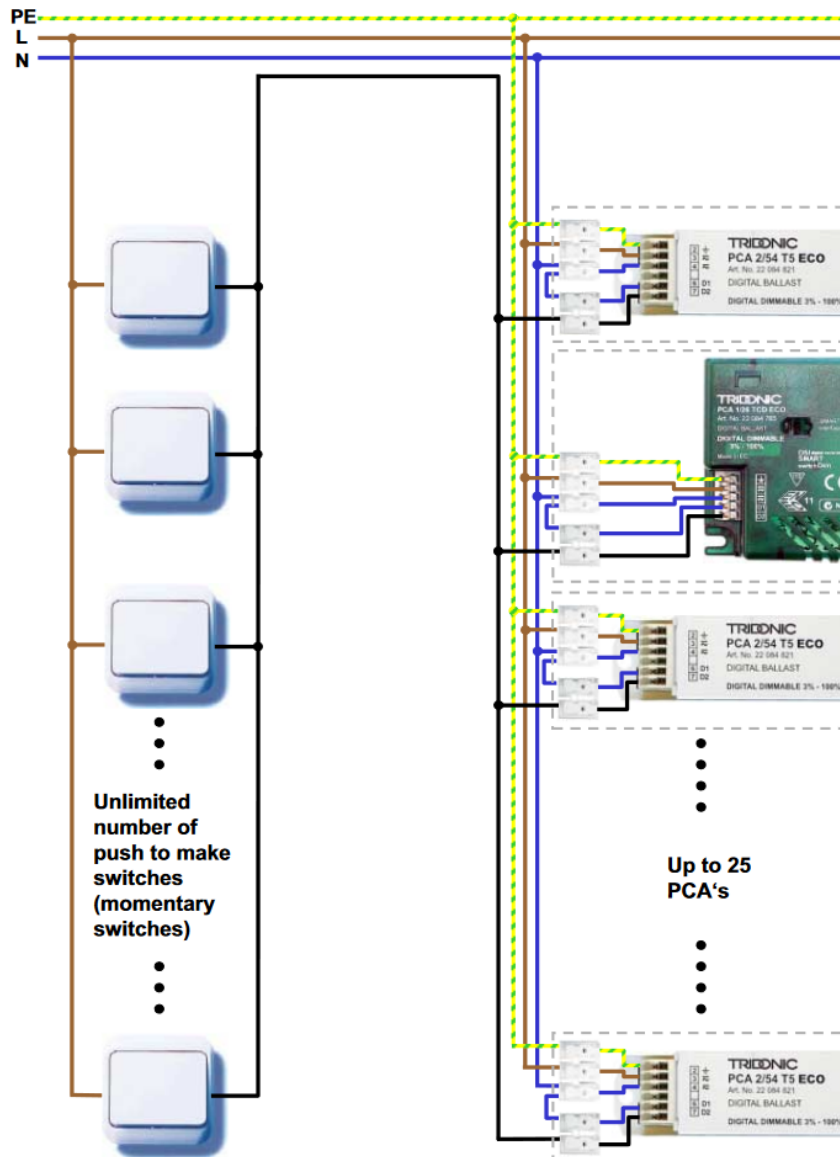
6.1 Suorapainikeohjaus

Suorapainike- eli painonappiohjauksella toteutetaan valaistuksen kytkentää ja usein lisäksi himmennystä. Toteutustavat vaihtelevat järjestelmän mukaan, mutta kaikki niistä perustuvat jousipalautteisiin kytkimiin, joilla voidaan antaa erilaisia käskyjä järjestelmän alaisille liitäntälaitteille painonapin painalluksen tai vetokytkimen vetäisyn kestoajan perusteella. Lyhyt painallus toimii päälle-pois ohjauksena ja pitkä painallus vuorotellen himmentää ja kirkastaa valoja. Ohjaustavassa suorapainikeohjausta tukevan liitäntälaitteen ohjausliittimeen kytketään painonappi, joka vuorostaan kytketään vaiheeseen. (8, s. 6, 18.) Ohjaus tapahtuu siis painonapin painalluksella, jolloin analoginen verkkovirta ohjaa digitaalista liitäntälaitetta. Järjestelmä erottuu edullisuudellaan, kun kalliita kehittyneempien ohjausjärjestelmien säätölaitteita ei tarvita, koska pelkkä painonappi riittää.

Suorapainikeohjausta voi olla pienessä mittakaavassa valaisinkohtaisesti esimerkiksi vetokytkimellisissä valaisimissa, joiden himmennystä ohjataan pitkäkestoisilla vetäisyillä ja päällä oloa nopeilla vetäisyillä. Tässä tapauksessa vetonarulla ohjataan palautuvaa kytkintä eikä päälle-pois-kytkintä. Etuna käyttäjälle on yksilöllinen ja erittäin joustava valaistuksen säädeltävyys.

Usean valaisimen ohjauksessa käytetään painikkeita, jotka kytketään kuvan 19 mukaisesti valaisinten liitäntälaitteiden ohjaus- ja vaihejohtimien väliin ja joilla voidaan ohjata pienemmän kokoisia valaistusryhmiä. Painonappiväylä tulee kuitenkin yhdistää jokaiseen valaisimen liitäntälaitteeseen, jota ryhmän sisällä tahdotaan painonapein ohjata. Lisäksi ohjaus toimii ainoastaan kyseisen valaistuslähdön sisällä, koska

järjestelmä kytketään samaan nollaan. Ohjaus siis toimii myös kolmivaihelähdön vaiheiden välillä.



Kuva 19. SwitchDIM-järjestelmässä valaisimelle tuodaan neljä johdinta: suora verkkovirta, ohjaussignaalin verkkovirta (D2), maa ja nolla, joka kytketään myös D1-liittimeen mikäli järjestelmää ei käytetä DALIn tai DSIn alaisuudessa. (53, s. 5.)

Painonappeja voi järjestelmässä olla suuret määrät rinnakkain, eli se on rinnakkaisohjattu järjestelmä. Kuitenkin valaisimien epälineaarisuudesta johtuvan mahdollisen vilkuntaongelman takia kannattaa pitää ryhmän valaisinmäärät hillittyinä. SwitchDIMille (kuva 19) suositellaan maksimissaan 25 valaisinta ryhmää kohden. (53, s. 2.) TouchDIMille rajaksi on ilmoitettu 20 valaisinta (54, s. 1). Liitäntälaitetoimittajalta voi tarvittaessa varmistaa kuormaa koskien, kykenevätkö liitäntälaitteet synkronoituun

himmennykseen. Suunnitellessa tulee myös tarkistaa toisistaan kauimpana olevien painonapin ja liitäntälaitteen suurin sallittu kaapelointietäisyys. Ohjausjärjestelmää ei ole standardoitu, joten eri liitäntälaitteiden käyttäytyminen myös vaihtelee, eikä niiden sekoittaminen ole suositeltavaa. Valaistussuunnittelijan tulisi valita valaistusryhmien painonapein ohjattaviksi valaisimiksi saman liitäntälaitteen omaavia valaisimia. Järjestelmiä on kotimaan markkinoilla vain muutaman tuotevalmistajan omia patentoimia ratkaisuja, mutta ulkomailla niiden käyttö on yleisempää.

6.2 DSI

DSI (Digital Serial Interface) on ensimmäinen digitaalinen valaistuksen ohjausjärjestelmä. Se on DALIn edeltäjä, josta puuttuu yksittäisten valaisimien osoitteellisuus. DSI kykenee ohjaamaan ja säätämään rajoittamatonta määrää valaisinryhmiä, mutta ryhmän sisäisiä valaisimia se ei kykene erottamaan toisistaan tai säätämään erikseen. DSI-väylä kulkee kahdessa johtimessa ja ohjaussignaalin digitaalisuuden ansiosta ohjausjohdinten maksimipituus on 250 metriä. Ohjausjohtimet voivat kulkea valaisimen syöttökaapelin yhteydessä tai erikseen ja ne voidaan kytkeä liitäntälaitteen ohjausliittimiin kummin päin tahansa. (8, s. 14.)

Kaapeloinnin jälkeen valaistusjärjestelmä on suoraan käyttövalmis, eikä sitä tarvitse ohjelmoida lainkaan, koska ryhmät muodostuvat kaapelointien mukaan. Toisaalta tämän vuoksi järjestelmä on joustamaton tilanteessa, jossa valaistavan tilan käyttötarkoitus tai tilaratkaisu muuttuu, sillä muutokset valaistusryhmiin tai ohjaukseen tulee tehdä kaapeloinnilla. Lisäksi jos valaistukselle halutaan paljon ohjausvaraa tai halutaan pienikokoiset valaistusryhmät, tarvitaan tähän monta DSI-ryhmää, joista jokaiselle on vedettävä oma väyläkaapelinsa erillisenä lähtönä keskuslaitteelta. Näistä syistä DSI ei ole suositeltava valaistusjärjestelmä toimistorakennuksille, niiden vaatiessa enemmän tilajoustavuutta ja tarkempaa ohjausta valaistukselle. Yksinkertaisuutensa vuoksi se soveltuu paremmin kohteisiin, joilla on sekä pysyvä käyttötarkoitus että valaistus ja lisäksi suuret valaisinten ryhmäkoot. Tämänlaisia kohteita ovat esimerkiksi urheilurakennukset, kirkot ja historialliset kohteet.

DSI on standardoimaton järjestelmä ja se on laitteistonsa kannalta sidottuna sen kehittäneeseen liitäntälaittevalmistajaan, Tridoniciin, jolle järjestelmän tavaramerkki kuuluu (8, s. 14). Sen laitevalikoima sekä järjestelmien välinen liitettävyyys ja

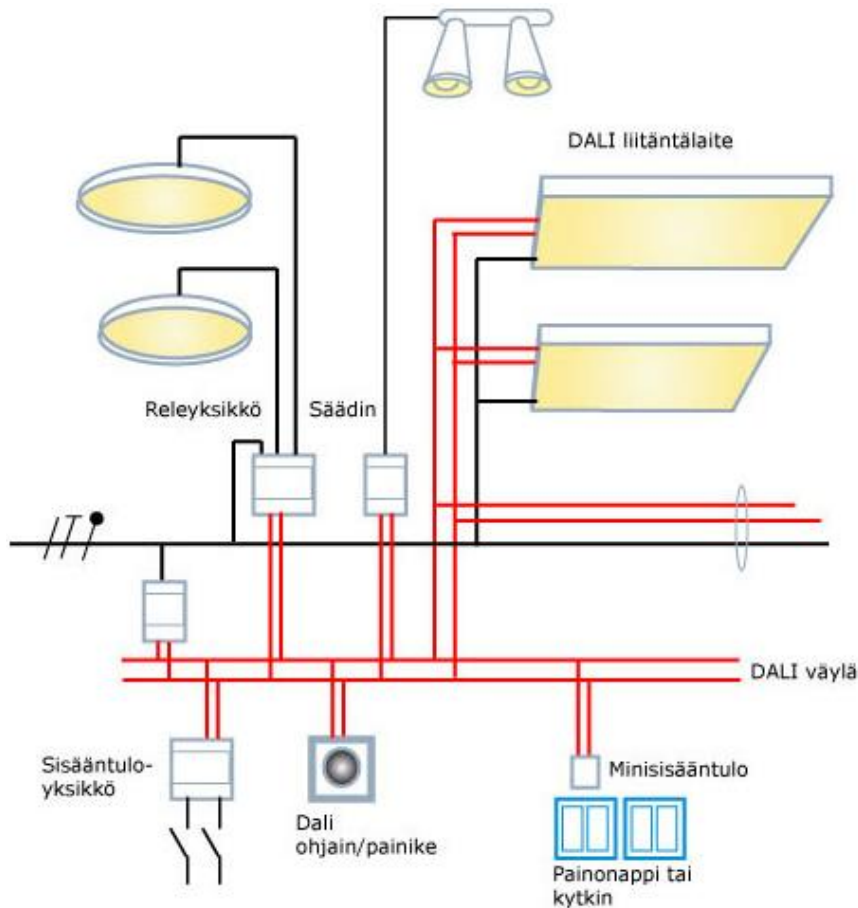
kommunikointikyky on uudemman polven järjestelmiin (DALI, KNX) verrattuna heikompi, mutta joillakin DALI-ohjauslaitteilla, kuten Nylundin läsnäolotunnistimilla, voidaan myös ohjata DSI-laitteistoa ja -valaistusta (55, s. 1). Rakennusprojekteista todennäköisimmin saneerauksissa tulee vastaan DSI-järjestelmiä, jolloin tilaajan kanssa voidaan joutua pohtimaan järjestelmäpäivityksen tarvetta, mikäli kohteen käyttötarkoitus muuttuu ja/tai kaapelointia ollaan uusimassa. Mikäli uusitaan DSI-järjestelmää, niin tulee kiinnittää huomiota, että uusien hankintojen liitälaitteet ja ohjauslaitteet ovat DSI-yhteensopivia, ja mahdollinen vanha keskuslaitteisto toimii kuten pitää. LED-valaistukselle tarkoitetuista liitälaitteista valmiiksi yhteensopivia DSI-käyttöön ovat lähinnä Tridonicin One4all-liitälaitteet.

6.3 DALI

Digital Adressable Lighting Interface, eli DALI on IEC 62386-standardin mukainen digitaalinen ja väyläpohjainen valaistuksen ohjausjärjestelmä. Järjestelmän väylään liitettäville DALI-yhteensopiville yksiköille, ohjauslaitteille ja valaisimille on omat osoitteensa, joten ne ovat yksilöitävissä ja niiden toimintaperiaatteet määriteltävissä, sekä valaisimien ryhmät ja ohjausparametrit muutettavissa ohjelmoinnilla. Ohjelmoinnilla voidaan muuttaa järjestelmän toimintaa ilman kaapeloinnin muutoksia, joten DALI on erittäin joustava tilojen ja rakennuksen muutosten ja saneerausten kannalta. (56, s. 4–5.) DALI-relekyksiköillä voidaan ohjata järjestelmän kautta myös kolmannen osapuolen laitteita ja himmentämättömiä valaisimia, sekä sisääntuloyksiköillä vuorostaan ohjata DALI-järjestelmää ulkopuolisilla laitteilla (37, s. 16, 18, 22).

DALI-väylä vaatii siihen liitettäviltä valaisimilta ja ohjauslaitteilta DALI-liitäntää, mikä tarkoittaa kahta ylimääräistä johdinta joissa digitaalinen ohjaussignaali kulkee sekä valaisimelle että valaisimelta järjestelmälle. Kytkenöissä ohjausjohtimien napaisuudella ei ole väliä. Kahdensuuntaisen tiedonkulun ansiosta järjestelmän laitteiden informaatiota, kuten vika- tai tilatietoja voidaan hyödyntää. (56, s. 5.) Ohjausväylän enimmäispituus on standardoidusti 300 metriä ja väylään syötettävä enimmäisvirta (DALI-OUT) 250 mA, mutta näitä ominaisuuksia voidaan parantaa DALI-toistimella, pidentäen väyläpituutta 600 metriin asti ja nostaa ohjausväylän virta 500 mA asti (37, s. 21). Ohjaussignaali-johtimien tulee olla 230 V vaihtojännitteelle tarkoitettuja, joten ne voidaan viedä samassa kaapelissa virransyötön kanssa, tai myös

erikseen. Ohjauskaapeloinnin muodolle eli väylätopologialle ei ole vaatimuksia, joten väylää voidaan vapaasti haaroittaa. (56, s. 61.) Ryhmäkaapeloinnin mukana haarautuva puu-verkko (kuva 20) on kaapeloinnin suunnittelun kannalta luonteva ratkaisu ja asentaessa vaatii vähiten kaapelointityötä ja kaapelia, jolloin väylän kaapelipituuskin pysyy helpommin sallituissa rajoissa.



Kuva 20. Yksittäisen DALI-piirin kaapeloinnin esimerkkikaavio. Moni ohjauslaite saa tarvitsemansa syöttövirran DALI-väylästä. (57)

Yhden DALI-väylän piirin ja sen ohjaussignaalin tarvitseman virran tuottamiseksi järjestelmä vaatii DALI-virtalähteen (kuva 18), jolla voidaan ohjata 64:ää laitetta/osoitetta (56, s. 58). Järjestelmää voidaan laajentaa reitittimillä, mutta niiden toimintaperiaatteilla on valmistajasta riippuvia eroavaisuuksia. Reitittimeen voidaan joko kytkeä virtalähteitä, josta esimerkkinä ovat Luxomat-mallit, tai reititin voi toimia virtalähteenä kuten Helvar-mallit toimivat. Virtalähteenä toimiva reititin (kuva 21) voi mallista riippuen sisältää yhden tai kaksi DALI-piiriä (64 tai 128 osoitetta) ja Ethernet-liitännän, jolla reitittimiä voidaan yhdistää. (37, s. 28–29.) Esimerkiksi monikerroksisen toimistorakennuksen tapauksessa voidaan jokaisen kerroksen ryhmäkeskustilaan

tuoda omat reitittimet ja yhdistää nämä Ethernet-kytkimellä yhdeksi kokonaisuudeksi. Myös DALI-piirin toiseen ohjausjärjestelmään integroinnissa käytettävät väylämuuntimet toimivat virtalähteinä.



Kuva 21. DALI-keskuslaitteita. Vasemmalla Digidim-virtalähde 402 sekä oikealla kahden väylän Imagine-reititin 910. (37, s. 21.)

Järjestelmän käyttöönottoon kuuluu usein ohjelmointi, mutta DALI toimii myös ilman ohjelmointia, jolloin se on käytännössä osoitteeton, kuten DSI-järjestelmä. Osoitteettomana DALI-piiri toimii broadcast-tilassa, eli kaikki valaisimet reagoivat jokaisen ohjauslaitteen oletuskomentoihin, esimerkiksi sammuen tai himmentyksen yhtenäisesti. (8, s. 15.) Yksinkertaista ohjelmointia voidaan tehdä säädinlaitteiden käyttöliittymillä, jolloin osoitteita saadaan määritettyä. Perusteellinen ohjelmointi tehdään laitetoimittajakohtaisella asennusohjelmistolla. Suomessa yleisesti käytettyjä ohjelmia ovat kotimaisen Helvarin Toolbox- ja Designer-ohjelmistot, joista edellistä käytetään Digidim-tuoteperheen ratkaisuihin ja jälkimmäistä monipuolisempiin Imagine-ratkaisuihin (37, s. 28). Designer-ohjelmiston käyttöön vaaditaan valmistajan järjestämää koulutusta.

Ohjelmointia varten DALI-reitittimen Ethernet-väylään tai järjestelmään lisättävään USB-porttiin kytketään tietokone, jolla asennusohjelmistoa käytetään. Ohjelmoinnin alussa laitteille haetaan ohjelmasta osoitetiedot ja valaisimet ja ohjauslaitteet käydään tunnistamassa kentällä. Tämän jälkeen laiteryhmiä määritellään. Ryhmiä on maksimissaan 16 yhdessä DALI-piirissä ja yksittäinen laite voi kuulua moneen ryhmään. Tässä vaiheessa ohjelmoidaan valaistustilanteet, joita on myös maksimissaan 16 yhdessä piirissä. Seuraavaksi tilanteille luodaan ehdot, joiden

mukaisesti valaisimet ohjautuvat niihin, sekä priorisoidaan nämä ehdot. Tämän jälkeen voidaan suorittaa testaus ja käyttöönotto. (56, s. 76–81.)

Ohjausta itsessään toteutetaan DALI-yhteensopivien ohjauslaitteiden avulla, jotka voivat olla esimerkiksi erilaisia tunnistimia, valoantureita, hipaisusäätimiä tai painonappeja, joita voidaan lisätä piirin sallitun laitemäärän puitteissa. Suuri osa ohjauslaitteista saa käyttövirtansa DALI-väylästä. Toisaalta monet Luxomat-tunnistimet toimivat DALI-virtalähteinä, joilla voidaan toteuttaa broadcast-ohjausratkaisuja. Ohjauslaitteiden käytön lisäksi valaisimien toimintaa voidaan ohjelmoinnilla ajastaa sekä ehdollistaa. Ohjausta voidaan myös toteuttaa mobiilisovelluksilla, joista esimerkkinä on luvussa 5.1.5 käsitelty SceneSet.

Alkuperäisen standardin rinnalle on tullut DALI-2-standardi, jonka yhtenä tärkeimpänä lisäyksenä se koskee myös ohjauslaitteita komentoineen ja tapahtumaprioriteetteineen. DALI-2-laitteet jakautuvat input-(ohjaus)laitteisiin, joilla käyttäjät ohjaavat valaistusta (painonapit, säätimet, tunnistimet yms.) ja järjestelmän ohjaimiin jotka lopulta säätelevät valaistusta (keskuslaitteet). (58.) Versiosta riippumatta DALI-järjestelmä tarjoaa väyläpohjaisuuden ja ohjelmitavuuden ansiosta kattavaa muutosjoustavuutta ja standardointi tekee siitä luotettavan, taaten yhteensopivuuden eri laitevalmistajien välillä. Valmistajilla voi olla omia keskuslaitteiden tuoteperheitä, joita ei tule sekoittaa järjestelmän sisäisesti, mutta ohjauslaitteita voidaan yhdistellä vapaammin.

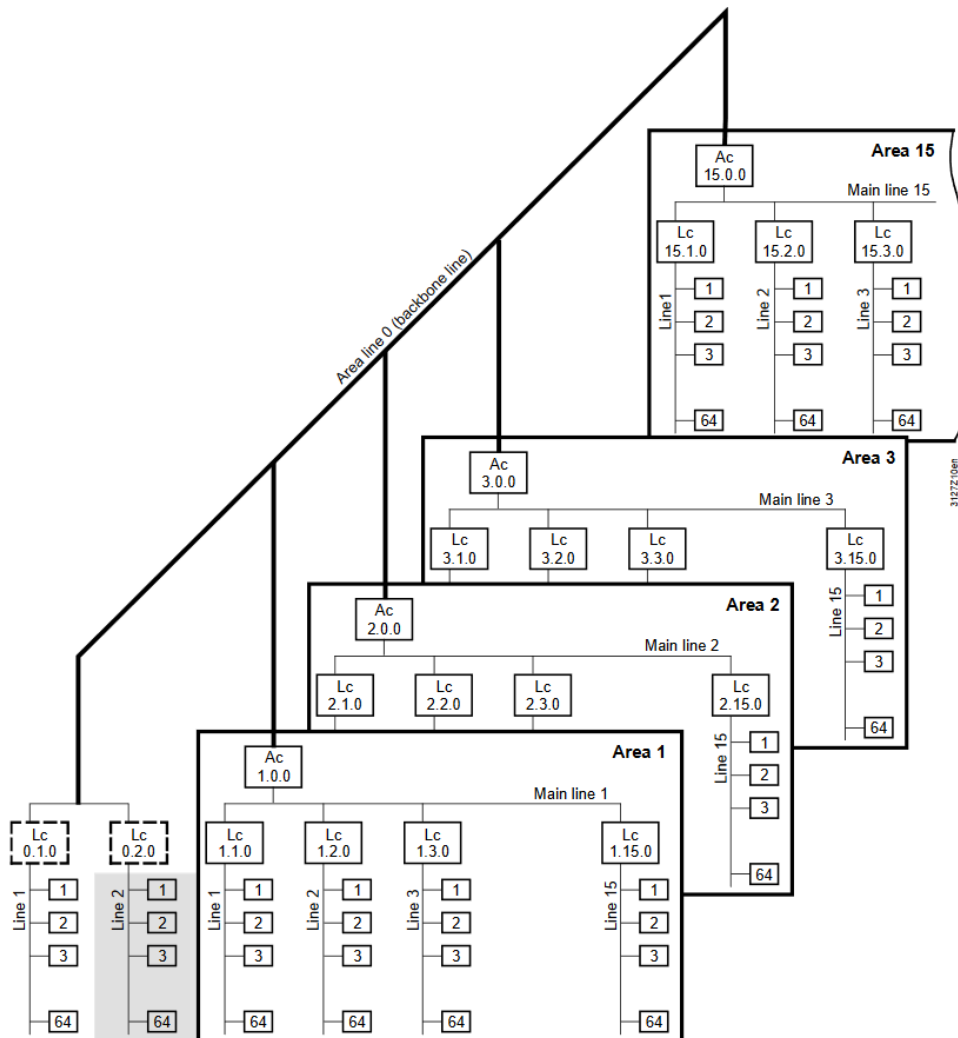
6.4 KNX ja KNX/DALI-integraatio

KNX on standardisoitu ja digitaalinen rakennusautomaatiojärjestelmä, jonka avulla voidaan hallita ja seurata kenttäväylään kytkettyjen LVIS-järjestelmien ja -laitteiden käyttöä, tilatietoja ja kommunikointia. Järjestelmä toimii myös valaistuksen ohjausjärjestelmänä, ja siihen on tarjolla valaistuksen säätö- ja ohjauslaitteita eri valmistajilta, mutta vähemmän verrattuna DALIin.

KNX on osoitteellinen järjestelmä ja se on monipuolisesti ohjelmitavissa ja mukautettavissa käyttäen ETS-ohjelmaa. Useita erillisiä järjestelmiä hallitsevalla KNX:llä voidaan käyttää ohjauspaneeleja, joilla voidaan säätää valaistuksen ohella esimerkiksi huonelämpötilaa. Ohjelmitavuus takaa järjestelmän muuntojoustavuuden, sillä kaapelointiin ei tarvitse tehdä muutoksia ryhmien tai ohjausparametrien

muokkaamiseksi. Ohjaussignaalit kulkevat KNX-väylässä parikaapelin kahdessa johtimessa, joten tieto kulkee kahteen suuntaan. Yleisesti asennuksissa käytetään J-H(ST) H tai KLMA-parikaapeleita. (59, s. 10-12.)

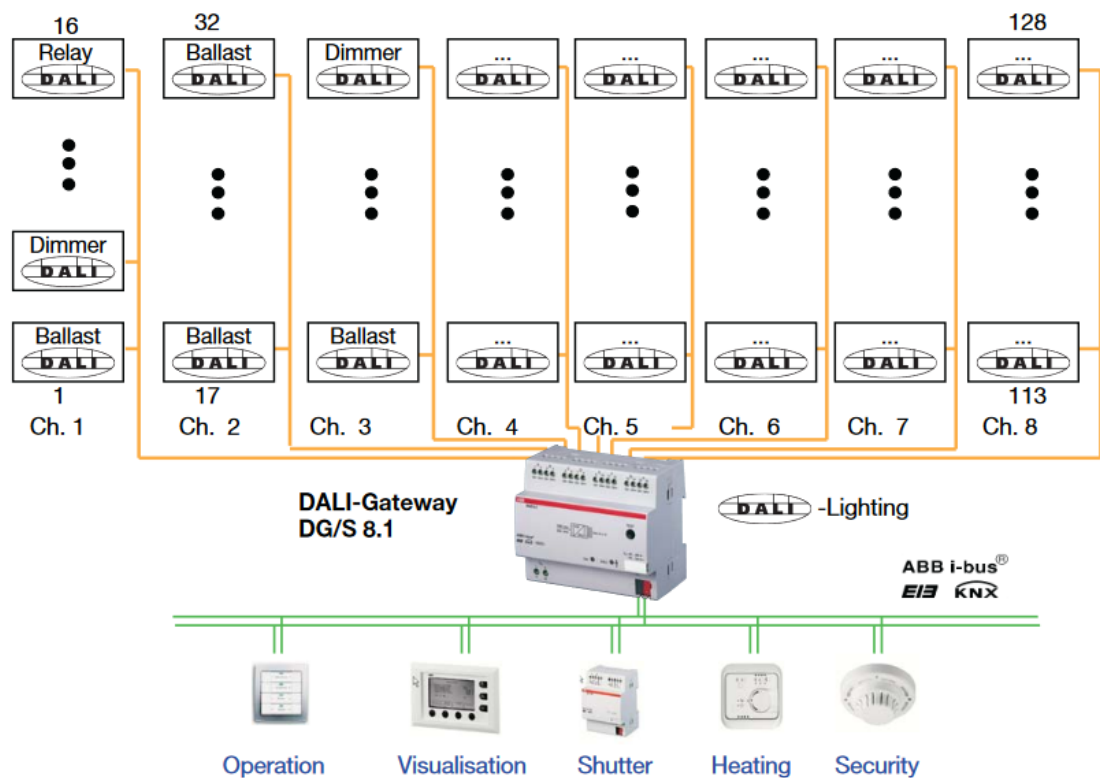
Rakenteeltaan KNX-järjestelmä (kuva 22) jakautuu (runkolinja mukaan lukien) 16 alueeseen (Area). Jokainen alue jakautuu edelleen (päälinja mukaan lukien) 16 linjaan (Line). Jokaiseen linjaan voidaan liittää 63 laitetta. Järjestelmä jaetaan alueisiin alueyhdistimillä, yksittäinen alue jaetaan linjoihin linjayhdistimillä ja linjan suurinta sallittua laitemäärää voidaan kolmea linjatoistinta käyttämällä nostaa 252 laitteeseen. Jokaisen alueen päälinjaankin voidaan yhdistää 63 laitetta, mutta määrästä tulee vähentää käytetyt linjayhdistimet, jotka myös luetaan mukaan. (60, s. 11–12.)



Kuva 22. KNX-järjestelmän rakenne (60, s. 11).

KNX toimii vaihtoehtona toisten valaistuksen ohjausjärjestelmien tilalle, mutta se myös tukee kattavasti muita järjestelmiä, joten toinen tai useampi ohjausjärjestelmä voidaan integroida osaksi KNX:ää. Hyvä esimerkki järjestelmäintegraation tarpeesta on KNX-kohde, jossa käytetään paljon säädettäviä valaisimia, sillä niiden liitännälaitteet ovat valtaosin 1–10 V- tai DALI-liitännäisiä. Tällöin esimerkiksi säädettävät DALI-valaistuspiirit yhdistetään osaksi KNX-väylää.

Järjestelmäintegraation toteuttamiseksi tarvitaan järjestelmien välille reititin. Esimerkiksi DALI-KNX-väylämuuntimella eli gatewayllä (kuva 23) saadaan KNX:n alaisuuteen erillään toimiva DALI-järjestelmä, jolloin sen tilaa voidaan ohjata ja seurata. Väylämuuntimella KNX-ohjauskomennot muutetaan DALI-muotoon ja valaistusta ohjataan KNX-väylään yhdistetyillä ohjauslaitteilla. (61.) Kaikilla väylämuuntimilla ei voida ohjata valaistusta valaisinkohtaisesti, vaan usein ohjausta toteutetaan ryhmä- tai kanavakohtaisesti. ABB valmistaa väylämuuntimia, joissa valaisinkohtainen ohjaus on mahdollista, mutta DALI-ohjelmointi tulee tehdä Ibus Tool-ohjelmistoa käyttäen. (62, s. 6.)



Kuva 23. KNX/DALI-väylämuunnin, jossa kaksi DALI-piiriä jakautuu kahdeksaan erilliseen kanavaan, joihin voidaan liittää 16 DALI-laitetta kanavaa kohden (63, s. 10).

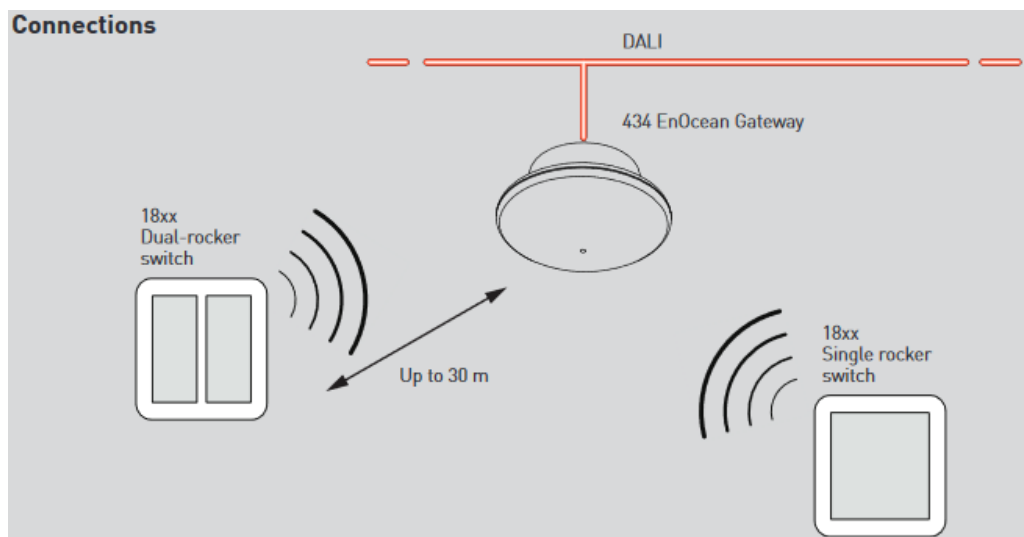
6.5 Langattomat ohjausprotokollat

Langattomiin ohjausprotokolleihin kuuluu IR- eli infrapunaohjaus ja erilaiset radio-ohjauksen standardijärjestelmät, kuten ZigBee, EnOcean, Bluetooth, Bluetooth LE ja Wi-Fi. Useat laitevalmistajien omat järjestelmät toimivat joillakin näistä protokollista, kuten Osram Lightify ja Philips Hue, jotka toimivat ZigBeellä, sekä Helvarin SceneSet ja Fagerhultin e-Sense Tune-mobiilisovellukset, jotka toimivat Bluetooth-yhteydellä. Suunnittelukohteessa tulisi välttää tällaisten järjestelmien yhdistelyä, ellei järjestelmien yhteensopivuudesta ole varmuutta. Tällaiset valmistajakohtaiset järjestelmät eivät välttämättä kommunikoi toistensa kanssa, vaikka käyttöprotokolla olisi yhteinen.

EnOceanilla voidaan tarkoittaa joko ohjausprotokollaa tai sen kehittänyttä yritystä, joka valmistaa järjestelmän tuotteita jälleenmyyjille. EnOcean-tekniikan erikoisuutena on, että langattomuuden lisäksi järjestelmän laitteet tuottavat oman käyttövirtansa muuntamalla liikkeen, lämmön tai valon energiaa sähköksi. Laitteet suunnitellaan kestävänsä täysin huoltovapaina vähintään 20 vuotta. (64, s. 1–5.)

Valaistusteknisiin EnOcean-lähetinlaitteisiin kuuluu liike-energialla toimivia kytkimiä, jotka ovat käytännössä painikkeita, sekä aurinkokennollisia läsnäolo- ja vakiovalotunnistimia. Lähettimillä annetaan radiotaajuudella käskyjä relevastaanottimille tai gateway-vastaanottimille. Signaalin kantomatka on sisätiloissa enintään 30 metriä, joka lyhenee riippuen väliseinistä ja niiden rakenteesta. (65, s. 1.) Relevastaanottimen käyttö on yksinkertainen tapa toteuttaa valaisinryhmäkohtaista ohjausta langattomasti. Vastaanotin täytyy kuitenkin kaapeloida, koska siihen kytketään kuormaa.

Gateway-vastaanottimilla voidaan ohjata valaistuksen ohjausjärjestelmien, kuten DALIn ja KNX:n laitteita langattomilla ohjauslaitteilla. Kuvassa 24 on esimerkki yksinkertaisen DALI-ohjauksen toteutuksesta. Painikkeet lähettävät myös toisen radiosignaalin palautuessaan, jolloin ne soveltuvat myös himmentämiseen. EnOcean-gatewayt eivät relevastaanottimien tavoin myöskään ole langattomia, koska ne vaativat väyläyhteyden toispuoleiseen ohjausjärjestelmään. Käyttövirtansa gatewayt saavat ohjausväylästä, johon ne kytketään. (66, s. 1–2.)



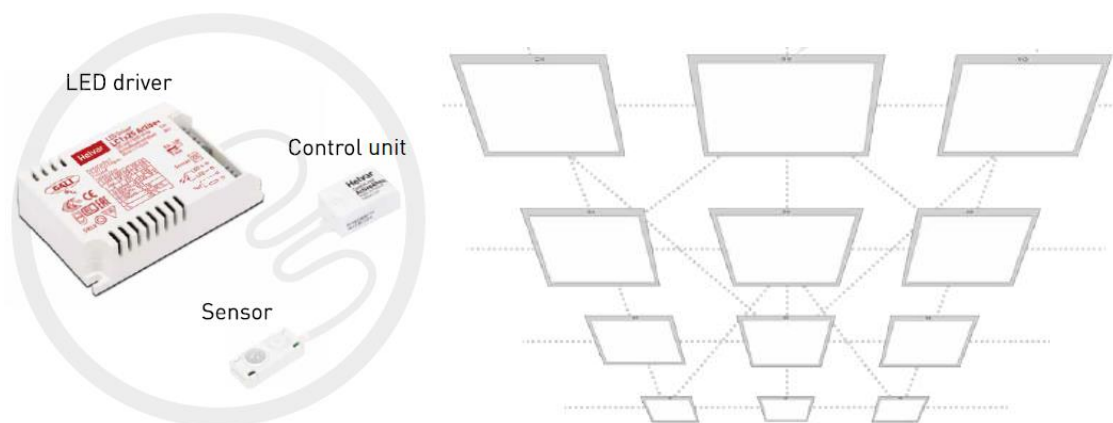
Kuva 24. DALI-järjestelmän ohjaus lähettämällä EnOcean-kytkimin signaaleja EnOcean/DALI-vastaanottimeen (66, s. 1).

Bluetooth LE (Low Energy) poikkeaa tavanomaisesta Bluetooth-yhteydestä lähettäen dataa pienissä paketeissa sysäyksittäin, siinä missä tavallisella Bluetooth-yhteydellä lähetetään jatkuvasti isompia datapaketteja. Valaistuksen ohjauksen kannalta tärkeimpänä erona Bluetooth LE sallii paljon enemmän yhteyksiä ja yhteyksiä voidaan tehdä eri laitteiden välille siten, että ne kommunikoivat autonomisesti keskenään. (67) Tätä Bluetooth mesh- eli verkko-ominaisuutta hyödynnetään kehittyneissä itseoppivissa valaistusjärjestelmissä, kuten ActiveAheadissa.

ActiveAhead-järjestelmässä valaisimet seuraavat valaisinkohtaisilla sensoreilla ihmisten kulkemista ja oppivat, miten tilankäyttäjät tapaavat liikkua rakennuksessa. Aluksi valaisimet seuraavat vain toteutuneita kulkureittejä ja valaistus käyttäytyy kuin liiketunnistimin ohjatessa. Muutamassa päivässä valaisimet alkavat ennakoida kulkusuuntien, reittien ja päätepisteiden perusteella, milloin tarpeeksi suurella todennäköisyydellä joku kulkee niitä kohti, jotta valaisin voi sytyttää itsensä. Järjestelmä mukautuu muutoksiin automaattisesti, esimerkiksi mukauttaen toimintaansa väliseinien siirtyessä ja reittitottumusten muuttuessa. (68, s. 2–5.)

Kaikki ActiveAhead-valaisimet oppivat ja opettavat toisiaan mesh-verkossa, jossa jokaisen valaisimen ohjausyksikkö toimii Bluetooth-reitittimenä. Yksittäisen valaisimen ActiveAhead-komponentteihin kuuluu ohjausyksikön lisäksi liitäntälaitte, jonka tulee olla varustettu ohjausyksikkö-liitännällä, erillinen PIR-tunnistin (kaapelilla) sekä kaapeli ohjausyksikön liittämiseksi liitäntälaitteeseen. Komponentit kaapeloidaan kuvassa 25

esitetyllä tavalla. Koska järjestelmä on ennalta ohjelmoitu täysin itseoppivaksi, on se täysin käyttövalmis heti kytkentöjen jälkeen. ActiveAhead-mobiilisovelluksella voidaan hallita valon tasoa, himmennysaikoja, aikakatkaisuja, ryhmiä ja päivänvalotoimintoa. (68, s. 6–7.)



Kuva 25. Vasemmalla yhden valaisimen ActiveAhead-komponentit sekä oikealla ActiveAhead-valaisinten mesh-yhteys havainnollistettuna (68, s. 7).

Langattomat ohjausratkaisut sopivat joustavan asennettavuuden ja vähäisen kaapeloinnin tarpeen ansiosta erittäin hyvin saneerauskohteisiin. Valaistusta ohjattaessa esitellyillä langattomilla järjestelmillä, ei valaisinten tarvitse olla samassa syöttöryhmässäkään. Käyttämällä esimerkiksi EnOcean-kytkimiä, pelkästään vastaanottimet tarvitsee kaapeloida, eikä kytkimien sijoituksessa tarvitse suunnitella kaapelointireittejä lainkaan. Suunnitelmapiirustuksiin tulee kuitenkin ohjelmointia varten merkata esimerkiksi kirjaimin ja/tai numeroin kytkinten ja valaisinten kohdille, mitä valaisinta tai valaisinryhmää kytkimellä halutaan ohjata. Sen sijaan ActiveAhead-järjestelmän suunnittelussa ohjauksia ja laiteyhteyksiä ei tarvitse merkata, sillä se ei vaadi sähkönsyötön ohella lainkaan käyttöönoton toimenpiteitä, kuten ohjelmointia.

6.6 Millainen ohjausjärjestelmä toimistoon?

Arvioidessa valaistuksen ohjausjärjestelmän tarvetta suunniteltavaan projektikohteeseen ja vertaillaessa sopivia ohjausjärjestelmiä on syytä tarkastella suunnittelu- ja rakentamisprosessiin sekä rakennukseen ja sen käyttäjiin liittyviä tekijöitä. Suunnittelun ja rakentamisen kannalta ohjausjärjestelmän valinnan päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä ovat

- tilaajan ja rakennuttajan näkemykset ja toiveet
- lähtötiedot tilankäytöstä
- projektin budjetti
- muut suunnitellut järjestelmät
- projektityyppi (uudis/muutos/saneeraus)
- tavoiteltava ympäristöluokitus ja sen taso.

Tilaaajalla tai rakennuttajalla voi olla ohjausjärjestelmistä omia positiivisia tai negatiivisia näkemyksiä ja kokemuksia, jotka voivat vaikuttaa valintaan tai valitsematta jättämiseen. Toivottu tai vaadittu tekninen varustelutaso voi olla itsessään käytettävän järjestelmän määrittelevä tai vastaavaan toteutukseen viittaava tekijä. Mikäli kohteeseen kaavaillaan KNX-järjestelmää ohjaamaan muita taloteknisiä järjestelmiä, on käytännöllistä suunnitella valaistuskin KNX:n alaisuuteen, jolloin tarpeen mukaan järjestelmää voidaan väylämuuntimilla laajentaa kattamaan eri valaistuskuormien ja laitevalintojen tarpeet. Yksinomaan valaistuksenohjaukseen KNX on kuitenkin melko raskas järjestelmä verrattuna esimerkiksi DALIin, jossa valaisimet voidaan sähköistää ja liittää ohjausväylään samalla kaapelilla.

Suunnitellessa uudisrakennusta, tai toimiston käyttäjän vaihtuessa esimerkiksi muutoshankkeessa, voi olla pitkään epäselvää, kuinka tilaa tullaan käyttämään ja miten valaistusta tulisi ohjata. Osoitteellinen järjestelmä mahdollistaa valaistussuunnittelun aloittamisen ennen kuin on määritelty millä, mistä ja miten ohjaus toteutetaan ja miten valaisimet ryhmitetään. Ohjauslaitteet voidaan sijoittaa tarvittaviin paikkoihin myöhempään selkeytyneiden tarpeiden mukaan ja niille haaroittaa omat väylät lähimmältä ohjauskaapelilta. Ohjelmoinnin suunnitteluun ja toteutukseen myöhäisillä muutoksilla ei ole viivästymisen ohella muuta haittaa.

Valaistuksen ohjausjärjestelmään panostaminen voi olla suuri investointi projektille, jolloin tiukalla budjetilla suunnitellessa sen karsiminen voidaan nähdä helppona tapana päästä kustannustavoitteisiin. Tehokkaan valaistuksen ohjauksen ollessa toimistorakennuksen energiansäästöille potentiaalisimpia keinoja ei budjetin pitäisi kuitenkaan olla ainoa ratkaiseva tekijä, sillä tarkoituksenmukainen ohjausjärjestelmä maksaa itsensä takaisin.

Rakennusprojektin tyyppi vaikuttaa ohjausjärjestelmän valintaan vain laajuutensa osalta. Vasta suunnitteluvaiheessa olevalle uudisrakennukselle ei ole itsessään mitään

estettä minkään järjestelmän käyttöönotolle. Saneeraus- ja muutosprojektien osalta, mikäli kohteen valaistus ollaan uusimassa, on silloin sopiva tilaisuus suunnitella uusi valaistus ohjausjärjestelmän alaisuuteen. Mikäli esimerkiksi vanha kolminapaliitäntäinen valaistus säilytetään, sitä voitaisiin ohjata lähinnä relelähdöin, jolloin ohjausjärjestelmä olisi epätarkoituksenmukainen ratkaisu.

Rakennuskohteelle tavoiteltava ympäristöluokituksen saamista voidaan kaikkien luvussa 4 esiteltyjen luokitusten osalta edesauttaa monipuolisesti valaistuksen ohjausjärjestelmien avulla, joista etenkin DALI erottuu edukseen. LEED, WELL sekä RTS myöntävät pisteitä käyttäjäkohtaisesta himmennysmahdollisuudesta, jonka toteuttamiseen DALI sopii valaistuksen laajan säädettävyyden ansiosta. DALI-järjestelmä tukee myös valon värilämpötilan säätöä sekä sirkadiaanisia valaistussensoreita, joilla WELL-luokituksen sirkadiaanisen valaistuksen ohjauksen kriteeri voidaan täyttää (29). Luokituksissa käsiteltyjen ulkovalojen aikaohjauksen osalta voidaan pärjätä valvonta-alakeskuksesta ohjatulla aikaohjauksella, jos DALI-järjestelmää ei kohteeseen valita. Valaistuksen ohjaukselle ei kuitenkaan ole mitään ennakkovaatimuksia ympäristöluokituksissa, eivätkä ne suoraan edellytä minkään ohjausjärjestelmän käyttöä.

Ohjausjärjestelmiä vertaillessa ja valitessa tulee kiinnittää rakennuksen kannalta huomiota toimiston

- käyttötarkoitukseen
- valaistuksen henkilökohtaisen säädön tarpeeseen
- muutosjoustavuuden tarpeeseen
- omistajuuteen
- sijaintiin
- kokoon ja käyttäjämäärään
- valaistuskuormaan.

Erilaisia työtehtäviä toimistorakennuksissa on näyttöpäätetyön lisäksi lukuisia, ja tehtävien vaihdellessa valaistusta tulee voida säätää näkövaatimusten mukaisesti. Mikäli vaihtelevia tehtäviä suoritetaan työntekijöiden henkilökohtaisilla työpisteillä, vaaditaan valaistuksen henkilökohtaista säädettävyyttä, jolloin osoitteellinen valaistusjärjestelmä on varteenotettava vaihtoehto ylimääräisten pöytä- tai työvalaisimien sijaan. Osoitteelliset ohjausjärjestelmät, kuten DALI ja KNX, tarjoavat valaistuksen henkilökohtaiseen säätöön parhaat ratkaisut, mutta myös

suorapainikeohjaus-periaatteella toimivat vetokytkimelliset työpistevalaisimet tarjoavat valaisinkohtaista himmennettävyyttä osoitteettoman järjestelmän jakautuessa valaisinkohtaisesti. Lähtökohtaisesti osoitteettomat järjestelmät, kuten DSI eivät sovellu toimistoympäristöön, sillä järjestelmillä suoritettavat ohjaukset vaikuttavat koko valaistusryhmään. Esimerkiksi valaisinkohtaista DSI-ohjausta ei olisi tarkoituksenmukaista toteuttaa jokaisen valaisimen vaatiessa erillisen ohjauskaapelointilähdön virtalähteeltä (8, s. 14).

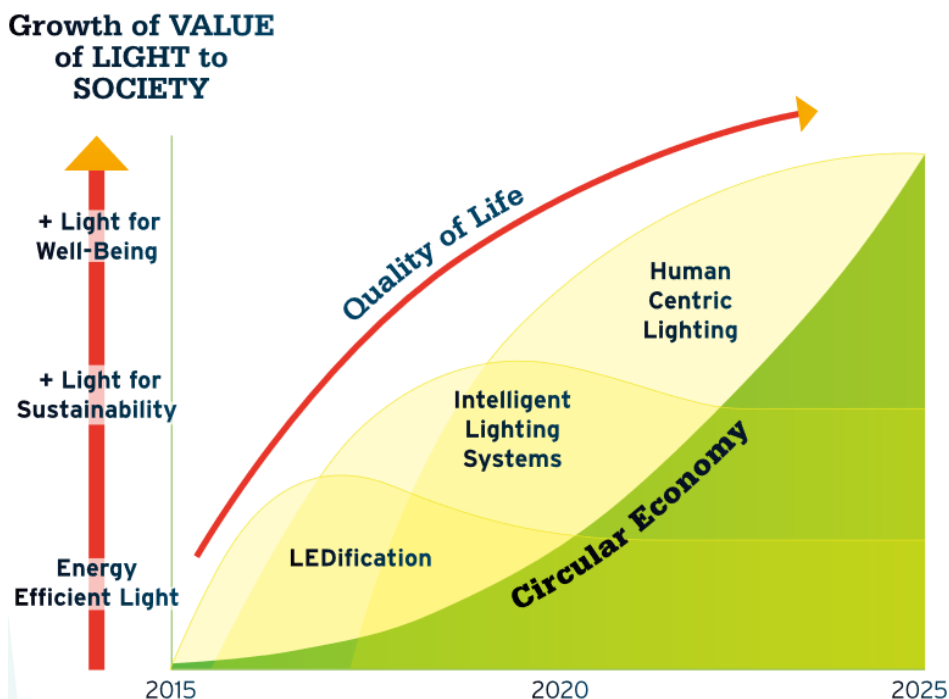
Osoitteellisten järjestelmien ohjelmoitavuuden tuoma muutosjoustavuus erottuu edukseen tilamuutoksissa. Esimerkiksi väliseinien lisäämisen, poistamisen tai siirtämisen vaatiessa muutoksia valaistuksen ohjaukseen voidaan parhaimmassa tapauksessa kaikki työ hoitaa ohjelmoinnilla ilman muutoksia kaapelointiin. Omistajuus ja sijainti vaikuttavat vuorostaan toimistorakennuksen muutosjoustavuuden tarpeeseen. Esimerkiksi keskeisellä kaupunkialueella ja hyvien kulkuyhteyksien ääressä olevalla yrityspuiston toimistorakennuksella, jonka tiloja vuokrataan käyttäjille, on vuokralaisten vaihtuvuuteen ja mahdollisiin tilamuutoksiin kannattavaa varautua ohjelmoitavalla ohjausjärjestelmällä. Sen sijaan taajama-alueen ulkopuolella sijaitsevan tehtaan tai kaivoksen yhteyteen rakennetulta yrityksen työntekijöiden käyttöön tarkoitelta toimistolta ei ole odotettavissa samanlaista vaihtuvuutta, tosin sisäiset muutokset saattavat aina vaatia tilamuutoksia.

Toimistorakennuksissa pyritään tilatehokkuuteen, jolloin käyttäjämäärä kasvaa huoneistoalan mukaan, sekä käyttäjämäärän noustessa kasvaa puolestaan valaistuskuorma. Mitä suurempi valaistuskuorma rakennuksessa on, sitä suurempi energiansäästöpotentiaali on, joka voidaan täyttää parhaiten hyödyntämällä ohjausjärjestelmää ja siihen liitettäviä ohjauslaitteita. Valaistuskuorman kasvaessa suuremmaksi, samalla sen hallinta ja seuranta vaikeutuu. Osoitteellisen ohjausjärjestelmän avulla valaistuksen tilaa voidaan seurata kokonaisuuksittain tarkastellen esimerkiksi energiankulutusta, ja valaisinkohtaisesti saaden ilmoitukset vikatilassa olevilta valaisimilta. Toimistoympäristö itsessään tarjoaa hyvät lähtökohdat dynaamiseen ja energiatehokkaaseen valaistuksen ohjaukseen, kuten rakennustyyppejä vertaillen luvussa 3.1. perusteltiin.

7 Valaistuksen ohjaus toimistorakennuksen eri tiloissa

Toimistojen kohdalla valaistuksen ohjauksen ja säädön oleellisia funktioita ovat käytännöllisyys ja energiansäästö. Tärkeää on tarjota tilan käyttäjille valaistusolosuhteet, jotka ovat viihtyisät ja tukevat työskentelyä. Hyvillä ohjausteknisillä ratkaisuilla tuodaan rakennuksen valaistukselle lisäarvoa ja tehostetaan sen eri ominaisuuksia. Säädeltävissä oleva valaistus helpottaa tilan muunneltavuutta eri käyttötarkoituksiin, tilanteisiin ja tehtäviin (69, s. 18).

Trendeinä toimistovalaistuksen puolella voidaan nähdä ledien korvaavan loistelamput valonlähteinä lähes täysin ja ohjauksikäytössä kasvavissa määrin hyödynnettävät automaattiset ratkaisut, kuten vakiovalo- ja läsnäoloanturit (8, s. 7, 12). Langaton ja älykäs ohjaustekniikka kehittyi vauhdilla, mistä toimistorakennukseen soveltuvana esimerkkinä on mesh-tekniikka. Sirkadiaaninen valaistus ei ole vielä lyönyt läpi toimistoympäristössä, mutta värilämpötilan automaattiseen säätöön on valmius teknologian kannalta. Euroopan unionin ja eurooppalaisen valaistusalan välistä kommunikaatiota edistämään pyrkivän yhdistyksen Lighting European visio valaistusalan kehityksestä vastaa näkemyksiä (kuva 26).



Kuva 26. Lighting European näkemys valaistustrendien kehityksestä (70, s. 4).

Rakennusten energiatehokkuus-standardin SFS EN 15193-1 taulukot E.2 ja B.7 havainnollistavat, kuinka paljon erilaiset ohjausratkaisut vaikuttavat valaistuksen energiankulutukseen toimistorakennuksen eri tiloissa. Taulukosta 4 saadaan toimistorakennukselle huonekohtaiset poissaolokertoimet. Mitä suurempi huoneen poissaolokerroin on, sitä harvemmin tilaa käytetään ja vähemmän valaistusta tarvitaan.

Taulukko 4. Toimistorakennuksen ja sen huonetyyppien poissaolokertoimet F_A . Osio standardin EN 15193-1 taulukosta E.2. (43, s. 42.)

Rakennustyypeittäin laskettuna		Laskettuna huone huoneelta		
Rakennustyyppi	F_A	Rakennustyyppi	Huonetyyppi	F_A
Toimisto	0,20	Toimisto	Yhden hengen toimistohuone	0,40
			2–6 hengen toimistohuone	0,30
			Yli kuuden hengen avotoimisto, liiketun- nistus/30 m ²	0,00
			Yli kuuden hengen avotoimisto, liiketun- nistus/10 m ²	0,20
			Käytävä (himmennettävä valaistus)	0,40
			Sisääntuloaula	0,00
			Näyttelytila	0,60
			Pesuhuone	0,90
			Sosiaalitila	0,50
			Vaatesäiliö	0,90
			Tekninen tila	0,98
			Kopiointi-/tietoliikennehuone	0,50
			Neuvotteluhuone	0,50
			Arkisto	0,98

Poissaolokerroinella voidaan taulukkoa 5 käyttäen vertailla eri valaistuksen ohjausratkaisulla aikaansaattavia energiansäästöjä.

Taulukko 5. Eri ohjausratkaisujen vaikutus tilan valaistuksen sähkönkulutukseen kertoimina riippuen poissaolokerroimista. Osio EN 15193-1 taulukosta B.7. (43, s. 43.)

Poissaolokerroin F_A	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Manuaalinen sytytys/ manuaalinen sammutus	1,000	1,000	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,000
Manuaalinen sytytys/ manuaalinen sammutus ja automaattinen liikeanturiin perustuva sammutus	1,000	0,975	0,950	0,850	0,750	0,650	0,550	0,450	0,350	0,250	0,000
Automaattinen sytytys/ himmennys	1,000	0,975	0,950	0,850	0,750	0,650	0,550	0,450	0,350	0,250	0,000
Automaattinen sytytys/ automaattinen sammutus	1,000	0,950	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,000
Manuaalinen sytytys/ himmennys	1,000	0,950	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,000
Manuaalinen sytytys/ automaattinen sammutus	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000

Taulukossa 5 on riveittäin eri sytytystapojen ja sammutus- tai himmennystapojen yhdistelmiä, joista poissaolokertoimen mukaan muodostuu LENI-luvun laskentaan käytettävä kerroin, joka kuvaa, kuinka suuri määrä sähköä kuluu verrattuna jatkuvaan valojen päällä pitämiseen. Taulukossa sähkönkulutuksen arvo 1,0 tarkoittaa, että valot sammutetaan keskimäärin vasta kun tilankäyttö päivän osalta loppuu.

Huomioitavaa on, etteivät esitellyt taulukot ota huomioon muita päällekkäisiä ohjauksia, kuten vakiovalo-ohjausta tai manuaalisia himmennyssäätöjä. Standardin luvussa F.5 käsitellään vakiovalo-ohjausjärjestelmiä, joiden toiminta on hyvin pitkälti olosuhderiippuvaista (43, s. 85). Taulukot eivät myöskään huomioi käyttöajan ulkopuolista aikaa. Manuaalisesti sammutettavat valaisimet sammuvat työpäivän päätteeksi varmimmin ja säännöllisimmin kun ne ovat aikaohjatut.

7.1 Avotoimisto

Avotoimistot voivat olla joko yksinkertainen osuus valaistuksen ohjauksen suunnittelun osalta tai varsinainen ”upottava suo”. Keskeinen tekijä avotoimiston valaistuksessa on ero yhteisen ja henkilökohtaisen valaistuksen välillä sekä yhteisen valaistuksen luoma sosiaalinen vaikutus käyttäjiin, joka vähentää ohjausastetta. Tutkimusten mukaan useampaa työpistettä valaisevaa eli yhteistä valaistusta ihmiset eivät säädä mielellään, koska he pelkäävät ärsyttävänsä työkavereitaan esimerkiksi sammuttamalla valot lähtiessä tauolle tai himmentämällä valaistusta. Sen sijaan jos valaistus palvelee ainoastaan yhtä käyttäjää ei sosiaalista estettä ohjaukselle ole. Yhteisen valaistuksen riskinä on että valot sytytetään töiden alkaessa ja sammutetaan vasta viimeisen työntekijän lähtiessä, tai ei lainkaan. Kyseisen ongelman välttäminen on yksi syy lisää, jonka vuoksi avotoimiston valaistuksessa tulisi olla mahdollisuus henkilökohtaiseen ohjaukseen. (38, s. 277.)

Yksinkertaisessa esimerkkiratkaisussa DALIn tai VAK:in kautta toteutetaan aikaohjaus, jolla katkaistaan valaistuksen syöttö käyttöajan ulkopuolella, jolloin saadaan säästettyä jo paljon sähköä poistamalla läpi yön palavien valaisimien mahdollisuus. Ohjaus toteutetaan säätämällä useampaa valaisinta samalla seinäkytkimellä tai himmentimellä. Henkilökohtaista valaistuksen ohjausta varten työpistevalaisimet voidaan varustaa vetokytkimin, joilla himmennys voidaan myös toteuttaa. Tämänkaltaisen ratkaisu säästää aikaa ja rahaa suunnittelussa, eikä kustanna paljoa hankinnassa, mutta tästä

pisteestä eteenpäin on vielä kehitettävää. Ratkaisu ottaa pintapuolisesti huomioon energiansäästön ja käytännöllisyyden sekä hyvinvointiin ja estetiikkaan sillä on hyvin vähän vaikutusta. Kirjoittajan omiin kokemuksiin perustuen vetokytkinten käyttö avotoimistossa rajautuu pitkälti vain työpäivän alkuun ja loppuun sekä niitä käyttää vain pieni osuus (noin viidennes) ihmisistä, joille vetokytkinten käyttö on muodostunut tavaksi.

Vertailun perusteella, valaistusta läsnäolotunnistimilla ohjaten saadaan aikaan suurin yksittäinen säästö, joka avotoimiston ohjausratkaisuun voidaan tehdä. Niiden avulla tarpeeton valo saadaan pois kaikista tehokkaimmin, eikä automaattisuuden ansiosta ohjauksen tarvitse riippua käyttäjistä. Manuaalisten ohjauslaitteiden sijaan läsnäolotunnistimia käyttäen ja järjestelmää päivänvaloanturein täydentäen saadaan hieman suuremmalla hinnalla ja vaativammalla suunnittelulla avotoimiston valaistuksen energiankulutuksesta karsittua kolmannes tai enemmän. (52, s. 16, 24.) Poiskytkentä/himmennysviiveeksi on sopiva asettaa 15 minuuttia (43, s. 50). Pienemmän kulutuksen lisäksi käytännöllisyys paranee ja ohjauksen esteettiset ominaisuudet korostuvat. Liiketunnistus ja vakiovalo-ohjaus voidaan myös toteuttaa multisensorien avulla, joissa ohjaustavat toimivat yhdistettyinä.

Mitä pienempää työpistemäärää tunnistimet saadaan rajattua valvomaan, sen tehokkaammin ohjaus säästää energiaa. Rajaamalla yhden tunnistimen valvontalueelle kahdesta neljään työpistettä ja suunnitellen valvontalueet sermien tai selkeiden pöytäryhmien mukaan jaotellen ovat parhaat tulokset saatavilla. Valvomalla jokaista työpistettä omalla tunnistimella nousevat investointikulut erittäin korkeiksi ja valvontalueiden rajaaminen hankaloituu, mistä tilankäytön joustavuus kärsii. Liian montaa työpistettä yhdellä tunnistimella valvoen eivät valot pääse sammumaan tarpeeksi usein jättäen saatavat energiansäästöt pitkälti riippumaan mahdollisesta vakiovalo-ohjauksesta.

Valaistuksen automaattiohjauksen suunnittelussa kompastuskiveksi voi osoittautua liika yleisvalaistuksen karsiminen. Varsinkin iltaa kohden tulisi valojen sammuttamisen sijaan himmentää valaisimia tyhjenneiltä keskeisiltä alueilta ja varsinkin ikkunattomien seinien läheisyydestä. Pimeässä konttorissa, jossa valaisematta jääneitä seinäpintoja on vaikeaa erottaa, ei ole viimeisille paikallaolijoille työskentely viihtyisää. Avotoimistoja leikkaavat käytävätkin kuuluvat toimistoalueen yleisvalaistukseen, joten niitä ei kannata päiväsaikaan himmentää kuten muita käytäviä, vaan pitää ne päällä.

Avotoimiston ja muidenkin työskentelytilojen ihmiskeskeisten valaistusolosuhteiden edistämiseksi voidaan tunable white-valonlähteitä käyttämällä valaistusta ohjata sirkadiaanisesti. Luku 3.3 esittelee sirkadiaanisen valaistuksen periaatteita ja luvussa 4.3 selostetaan järjestelmän suunnittelua.

7.2 Toimistohuone ja suljetut pysyvän käytön tilat

Erilliset ja suljetut toimistohuoneet palvelevat useimmiten yksittäistä henkilöä tai pientä työryhmää, eikä huoneen tyhjentyessä tilan pimentäminen tuota haittaa muille toimistokäyttäjille. Valaistuksen ohjaus läsnäolotunnistimin on käytännöllisin ratkaisu toimistohuoneeseen, jonka ulkopuolella ei ole läpinäkyvän seinän takana työpistettä (69, s. 18). PIR-läsnäolotunnistuksen käyttöalueen raja on toimistohuoneen kannalta erittäin helppoa, sillä vaikka seinä olisi läpinäkyvä tai siinä olisi ikkuna ei infrapuna-anturi havaitse lämpöä lasin lävitse.

Käytännöllisyyden ja käyttäjäviihtyvyyden kannalta kriittisintä on valita tunnistin, joka tunnistaa läsnäolon eikä pelkästään liikettä. Näyttöpäätetyössä sormenliikkeet näppäimistöllä eivät riitä liiketunnistukseen, joten valot alkavat sammua. Pahinta on, jos käyttäjä joutuu jatkuvasti keskittymään valaistuksen ylläpitämiseen vaikka tarkoituksena on, ettei ohjausta tarvitsisi miettiä lainkaan.

Erillisissä toimistohuoneissa valaistuksen säätöä voidaan tehdä henkilökohtaisemmin kuin missään muualla. Oma tila mahdollistaa paremmin tunable white -valaisimin tehtävää värilämpötilan säätöä myös manuaalisesti. Manuaalinen värilämpötilan säätö ei kuitenkaan vastaa esimerkiksi sirkadiaanista valaistusta, eikä varsinkaan päivänvaloa, mutta se tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden säätää ohjauspaneelin tai mobiilisovelluksen avulla valaistusta juuri omaan mieltymykseen ja tarpeeseen. Samoilla ohjaustavoilla voidaan samalla keskitetysti säätää myös valaisutehoa tai vaihtoehtoisesti, jos tilassa on vain yksi valaisin, voidaan käyttää vetokytkintä pelkän valaisutehon säätöön. Läsnäolotunnistus soveltuu edukseen myös useammankin henkilön toimistohuoneeseen, mutta useampi henkilö samassa tilassa tarkoittaa yhteistä valaistusta, jolloin suositeltavaa on, että värilämpötilan säätö on toteutettavissa ainoastaan automaattisena, sekä valaisutehon säätö valaisinkohtaisena.

Toimistohuoneessa läsnäolotunnistimista on mahdollista hyödyntää valaistuksen lisäksi muitakin ohjauksia. Laajemmilla ohjausliitännöillä varustetuilla tunnistimilla voidaan esimerkiksi ohjata tilan ilmanvaihdon määrää pienemmäksi samalla kun tunnistin kytkee valot sammuksiin tilan tyhjennyttyä (55).

7.3 Väliaikaisen käytön tilat

Väliaikaisen käytön tiloihin kuuluvat lyhyen käyttöajan tilat, joissa ei tapahdu pysyvää työskentelyä, kuten pienet varastotilat ja kopiohuoneet sekä WC:t. Näihin tiloihin valaistuksen ohjaukseen kelpaavat liiketunnistimet. Ohjauksen suunnittelussa tulee huomioida mahdolliset varastohyllyt, joten mikäli käytetään tunnistimia sijoitus kannattaa tehdä sisäänkäyntien edustalle. Muuntojoustavuuden takaamiseksi on kuitenkin suositeltavaa varata mahdollisille seinäohjauksille, kuten painikkeille ja kytkimille kojerasiat.

Käytävät kuuluvat myös väliaikaiskäytön tiloihin ja niihinkin voidaan hyödyntää liiketunnistusta. Erotuksena muihin tiloihin käytävien valaistusta ei kannata sammuttaa suoraan tunnistimen kytkennästä vaan himmentää valaistus joksikin aikaa 20 prosenttiin asetetusta valaistusvoimakkuudesta. Käytävien kohdalla tulee myös tarkastella niiden osuutta yleisvalaistuksessa. Mikäli käytävän valot himmennetään tai suljetaan, pimeneekö valaistus liikaa liian suurelta alueelta ja vaikuttaako tämä mukavuuteen? Avotoimiston kohdalta tai suljetun lasiovellisen toimiston viereltä kulkeva valaistu käytävä tai minkä tahansa jatkuvasti näkyvän avoimen käytävän pimentäminen voi olla huono ratkaisu, jolloin ohjaus on hyvä jättää aikaperusteiseksi.

Kehittyneempänä, mutta korkeampikustanteisena ratkaisuna käytävien tavanomaisen liiketunnistusohjauksen sijalle ovat käyttäjien kulkureittejä ennakoimaan oppivat valaistusjärjestelmät, kuten luvussa 6.5 tarkemmin käsitelty ActiveAhead, mikä vaatii jokaiselle valaisimelle oman tunnistimen. Itseoppivan järjestelmän suunnittelussa ei vaadita ohjausperusteiden määrittystä tai ohjelmointia, koska järjestelmä on valmiiksi ohjelmoitu määrittämään ohjausperusteensa itsenäisesti.

7.4 Neuvotteluhuoneet ja auditoriot

On suositeltavaa suunnitella isompien neuvotteluhuoneiden, auditorioiden ja vastaavien kokoontumistilojen valaistus himmennettäväksi tilanneohjauksella. Huoneen päätyyn, jossa pidetään esityksiä tai puheita on voitava keskittää huomiota valaistuksen avulla. Jos esityksiä pidetään videotykin avulla, päätyyn tulee olla saatavilla myös vähemmän valoa suhteessa muuhun tilaan. Tämä onnistuu esimerkiksi DALI- tai KNX-järjestelmään kytketyillä valaisimilla, jotka ovat ryhmittäin himmennettävissä huoneeseen sijoitettavan ohjauspaneelin avulla.

Tilanneohjauksessa tilan valaisimet jaetaan säätöryhmiin, neuvotteluhuoneessa etu-, keski- ja takaosan valaisimiin sekä auditoriossa esiintymisalueen, katsojien alueen ja kulkuteiden valaisimiin. Näille ryhmille määritellään ja ohjelmoidaan ohjausjärjestelmässä himmennysarvot, jotka tallennetaan omiksi valaistustilanteiksi. Näitä tilanteita voidaan vaihdella ohjauspaneelin painonapeilla, joilla kutsutaan asetetut tilanearvot valaisinryhmiltä. Tällä tavoin BREEAM-ympäristöluokituksessa saadaan tilakohtaiset ehdot täytettyä, vaikka neuvotteluhuoneen osalta riittääkin pelkkä yleisön ja esiintymisalueen valaistuksen erikseen ohjattavuus.

Pieniin koppimaisiin neuvotteluhuoneisiin, jotka palvelevat korkeintaan kuutta ihmistä, voi tilanneohjauksen tilalle soveltua paremmin seinään asennettava portaaton himmennin. DALI-valaistukselle on tarjolla käytännöllisiä pyörö- ja liukusäätimiä, joilla voidaan nopeasti ja tarkasti säätää valaistuksen kirkkautta. Valojen sytytys ja sammutus voidaan myös toteuttaa samoilla ohjaimilla tai jättää läsnäolotunnistimen ohjattavaksi. Suorapainikeohjaus soveltuu myös vastaavaan himmennykseen, mutta painalluksilla vuoroin kirkastuva ja himmentyvä valo sekä tavanomaisen seinäkytkimen ulkonäkö eivät tee siitä yhtä riipeäkäyttöistä ja selkeätoimista verrattuna edellä mainittuihin säätimiin varsinkaan, jos neuvotteluhuoneessa on ulkopuolinen henkilö esiintymässä.

7.5 Tauko- ja ruokailutilat

Taukotilan valaistuksessa vietetään lyhyitä aikoja, mutta tasaisin väliajoin. Tilat jäävät usein taukoaikojen ulkopuolisena aikana melko vähäiselle ja lyhytaikaiselle käytölle, jolloin sopivasti rajatuissa tiloissa voi olla potentiaalia läsnäoloperusteiseen

valaistuksen ohjaukseen. Läsnaöloperusteinen ohjaus soveltuu pienempiin taukokuoneisiin tai –nurkkauksiin, joissa tauot käytännössä vietetään, jos tilat ovat etäämpänä ruokailutilojen aktiivisesti käytetyiltä laitteilta, kuten vesihanoilta, jääkaapeilta ja kahvinkeitimiltä. Isommissa ja avoimissa taukotiloissa voi käyttöaste nousta niin korkeaksi, että aikaohjauksen ohella muut vaihtoehdot jäävät energiansäästön kannalta tehottomiksi. Perusohjattavuuden takaamiseksi on kuitenkin hyvä varustaa tilat seinäkytkimin tai painikkein.

Taukotilojen valaistus on käyttäjien yhteistä valaistusta, jossa valaistuksen manuaalista säätömahdollisuutta tulisi joko tarjota rajoitetusti tai ei ollenkaan. Joillakin ihmisillä voi olla hyvin vaihtelevia mieltymyksiä valaistuksen suhteen, eikä vaihtelevaan valaistukseen voi mukautua samalla tavoin kuin säädeltävään lämpötilaan vaatetuksella. Tauko- ja ruokailutilojen valaistusvoimakkuuden säädeltävyyden rajat tulee pitää standardin EN 12464-1 mukaisesti kahvihuoneelle vaaditussa 200 luksin alarajassa ja suositeltavasti olla ylittämättä 500 luksin voimakkuutta. Väriämpö tulisi pitää neutraaliksi määritellyissä rajoissa, eli 3 300–5 300 kelvinissä. Nämä valon ominaisuudet voivat säätyä vakiovalo-ohjauksen ja sirkadian ohjauksen välityksellä automaattisesti, jolloin väriämpötilaa voidaan liikuttaa valonlähteestä riippuen noin 2700–6500 kelvinin välillä.

7.6 Porrashuoneet

Tilankäytön keveyden ja rakenteellisen joustavuuden vuoksi toimistorakennuksia voidaan ja usein rakennetaankin pystysuunnassa tonttialan säästämiseksi, jolloin isommissa toimistorakennuksissa harvoin vältetään porrashuoneilta. Suunnittelun kannalta porrashuoneiden valaistuksen ohjaus on verrattain yksinkertainen toteuttaa ja siihen toimivia ohjaustapoja on kolme: painonapit, liiketunnistimet ja akustiset tunnistimet. Nämä ratkaisut pätevät rakennustyyppistä riippumatta kaikenlaisiin suljettuihin porrashuoneisiin. Tässä luvussa esitellään viisi ratkaisuvaihtoehtoa.

Valaistusta porrashuoneissa voidaan ohjata yhtenä ryhmänä, mutta kerrosmäärän kasvaessa voidaan sitä myös jakaa useampaan valaistusryhmään, joita ohjataan erikseen. Näin valot eivät pala jatkuvasti sekä energiaa saadaan säästettyä.

Painonapein toteutettavassa porrashjauksessa rapun jokaiseen kerrokseen asennetaan ovien läheisyyteen rinnakkaisohjattavat ohjauspainikkeet, joilla koko porrashuoneen valaistus kytketään päälle ja järjestelmän rele hoitaa poiskytkennän viiveellä. Painonapein useiden valaistusr ryhmien ohjaus ei ole hyvä ratkaisu porraskäytävään, sillä käyttäjän tulisi tarvita painaa nappia pelkästään astuessaan tilaan.

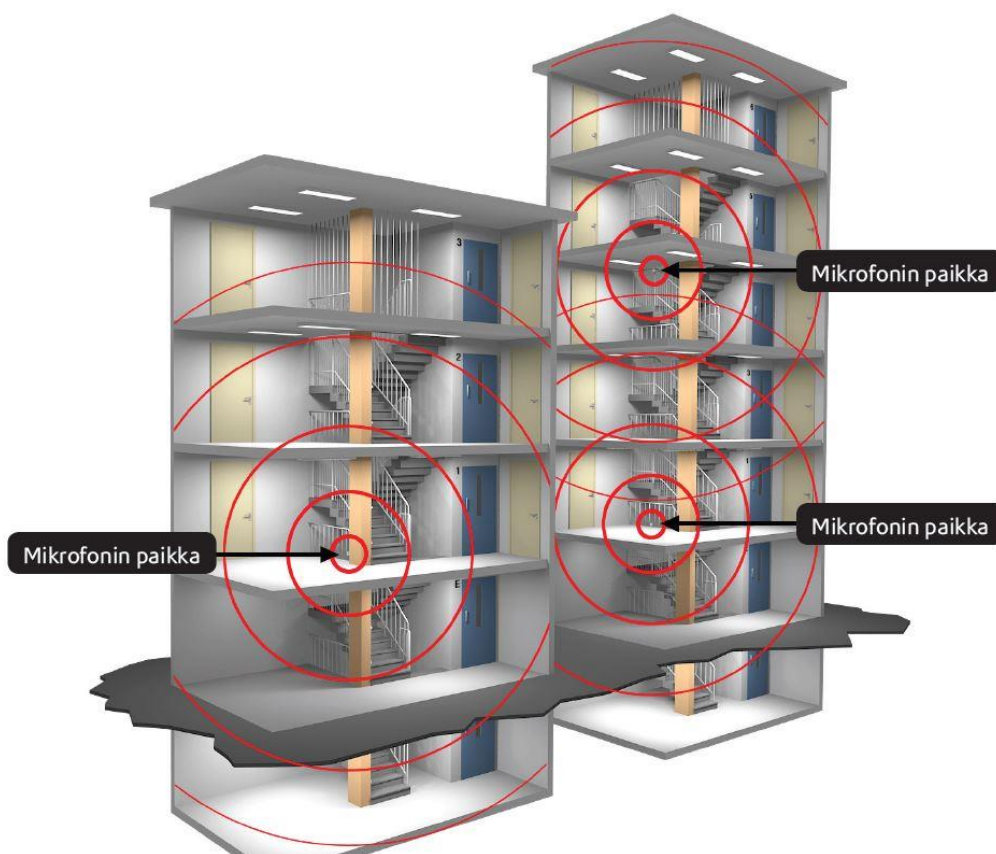
Liiketunnistimin toteutettavan porrashjauksen toteutukseen on monta tapaa. Kaikissa ratkaisuissa tunnistimet sijoitetaan siten, että sisäänkäynneistä astuessa valot kytkeytyvät mahdollisimman nopeasti päälle. Yksinkertaisin tapa on asentaa kaikki portaan valaisimet yhteen ryhmään ja kytkeä valot kerralla päälle, kun tunnistimen anturi havaitsee liikettä. Toinen tapa on jakaa portaan valaisimet pystysuunnassa kahteen tai useampaan ryhmään ja jakaa liiketunnistimet ohjaamaan vain samassa korkeudessa sijaitsevia valaisinryhmiä. Tässä ratkaisussa tulee huomioida ryhmien raja-alueet, joten toteuttamiseen tarvitaan ohjausjärjestelmää, jonka avulla ryhmien alueita rajaavien kerrosten liiketunnistimet saadaan ohjaamaan sekä ylemmän että alemman valaisinryhmän valot päälle. Kolmannessa ratkaisussa vaaditaan enemmän ohjelmointia. Ohjausjärjestelmän liiketunnistimet ohjelmoidaan ohjaamaan saman kerroksen valaisimien lisäksi ylemmän ja alemman kerroksen valaisimet päälle. Valaisimet ohjelmoidaan useampaan ryhmään, jolloin käytävään astuessa syttyvät kolmen kerroksen valot, sekä esimerkiksi kävellessä rappusia ylös valot syttyvät aina valmiiksi kerrosta ylempänä.

Neljäs liiketunnistuksen ratkaisu on käyttää ennakoivaa valaistusjärjestelmää, kuten eSense Movea tai ActiveAheadia. Näissä ennakoivissa järjestelmissä käytetään valaisinkohtaisia tunnistimia ja ohjausyksiköjä, joiden avulla valaisimet kommunikoivat keskenään langattomasti radiotaajuusyhteydellä. Move-järjestelmän valaisin lähettää signaaleja vain niille valaisimille, jotka on ohjelmoitu vastaanottamaan sen signaaleja. Mesh-yhteydellä viestivä ActiveAhead-järjestelmä oppii toimimaan itsenäisesti ilman käyttäjän ohjelmointia.

Kolmantena vaihtoehtona ovat akustiset tunnistimet, jotka kuuntelevat erikseen matalia ja korkeita äänitaajuuksia. Oikein asennettuna, eli mikrofonit asennusohjeen mukaisesti sijoitettuina sekä ylä- ja alataajuuksien herkkyudet säädettynä valot kytkeytyvät päälle oven avauksesta ja reagoivat myös puheen ja liikkeen ääniin. Akustinen tunnistus toimii tarkoituksenmukaisesti vain suljetuissa portaissa (porrashuone), joissa ääni

kaikuu ja kantautuu mikrofoneihin parhaiten. Tämä tarkoittaa myös, että porrashuoneen ovien tulee olla varustettu ovensulkimilla, jotta valot saadaan päälle käyttäjien jo astuessa tilaan. Akustista ohjausratkaisua kannattaa harkita varsinkin, kun tilaan vaaditaan useampaa kerroskohtaista tunnistinta tai painiketta esimerkiksi suuremmissa tai poikkeavan muotoisissa porrashuoneissa.

Mikrofoni tulee asentaa seinään porraskorokkeen kohdalle, jossa sopiva asennuskorkeus on kerrosten välissä. Mikäli porrashuoneessa on runsaasti tilavuutta (tai kerroksia), tulee käyttää kuvan 27 tavoin tilaa jakamalla useampaa mikrofonia. Mikrofoneja tulisi asentaa vähintään kolmen kerroksen välein toimintavarmuuden takaamiseksi. (51, s. 3.) Yksittäisen mikrofoniin suurinta sallittua valvonta-alueen tilavuutta ei tule kuitenkaan ylittää.



Kuva 27. Mikrofonien sijoitusperiaate porrashuoneisiin akustisessa tunnistuksessa (51, s. 2).

7.7 Ulkovalaistus

Ulkovalaistuksen ohjauksessa oleellisinta on minimoida turha valoisan ajan valaistus, joka saadaan rajattua pois automaattisesti hämäräohjauksen avulla, jolloin valot syttyvät vasta, kun niitä pimeään tullen tarvitaan. Jos rakennuksen ulkovalaistusta syötetään useammasta keskuksesta, on hämäräohjausta hyvä toteuttaa VAK:in kautta releellä tai kontaktorilla. Yksittäisen syöttävän ryhmäkeskuksen tapauksessa suoraan keskukseseen asennettava hämäräkytkin on käytännöllinen ratkaisu. Jos rakennuksen ulkoalueella on erityisen heikosti päivänvaloa saavia paikkoja, kuten sisäpihoja, katettuja alueita tai muita rakennuksen varjoon jääviä ja herkästi pimeneviä kohtia, voidaan kyseisten alueiden valaistusryhmien osalta ohjaukseen käyttää erillisiä ulosasennettavia hämäräkytkimiä, joissa valoanturi on sisäänrakennettuna.

Ellei yöaika ole rakennuksen käyttöaikaa, tulee myös pimeään ajan turha ulkovalaistus karsia pois, joten energiansäästön maksimoimiseksi ulkovalot on hyvä sammuttaa aikaohjauksella. Ennen kello kuutta suljettavan toimiston ulkovalot voidaan ohjata sammumaan esimerkiksi kaksi tuntia käyttöajan jälkeen sekä myöhäisemmän käyttöajan toimiston ulkovalot tunnin kuluttua käyttöajan päättymisestä. Jos jostain syystä ulkovalaistusta halutaan pitää päällä myöhään käyttöajan jälkeen, tulee välttää häiriövalaistusta. Mitä kauempana ollaan kaupungin keskustasta, sitä aikaisemmin on hyvä sammuttaa ulkovalaistus.

Jos ilkvallalle tai ryöstölle alttiiden paikkojen tai muun julkisivun valaistusta tai valologoja halutaan pitää päällä yöaikaan, voidaan ne syöttää erillisinä ryhminä, mutta himmentäminen on suositeltavaa energiakulutuksen vähentämiseksi. Esimerkiksi DALI- tai KNX-järjestelmän avulla tai VAK:in ohjaaman releen kautta himmentäminen voidaan toteuttaa aikaohjatusti.

7.8 Pysäköintihalli

Valaistuksen ehdottomasti tärkeimpänä toimintona pysäköintialueilla on turvallisen liikenteen takaaminen tarjoamalla riittävät näkemisen olosuhteet. Ajoneuvo- ja jalankululiikenteen tapahtuessa samassa tilassa valaistuksen ohjauksen ei pidä rajoittaa valaistusta liikaa esimerkiksi ohjaamalla valoja sammumaan tilan käyttöaikoina. Valojen sammuttaminen vaikeuttaa tilan hahmotettavuutta, jolloin

liikkuminen vaikeutuu ja keskittymiskyky heikkenee. Toisaalta tilavissa pysäköintihalleissa valaistuskuormat kasvavat suuriksi, jolloin kevyinkin ohjaustoimenpitein on mahdollista säästää energiaa.

Valaistuksen liike- tai läsnäoloperusteinen himmentäminen on tehokas tapa säästää energiaa pysäköintihallissa häiritsemättä tilan valaistusolosuhteita liikaa. Toteutus vaatii lukuisten tunnistimien sijoittamista tilaan siten, että riippumatta paikasta tunnistimet havaitsevat liikkuvat autot ja jalankulkijat. Tilojen valaistukset voidaan jakaa erikseen ohjautuviin ryhmiin kerroksittain sekä kerroksissa tilojenvälisen näköyhteyden puuttuessa edelleen lohkoittain. Etenkin risteyskohdissa on hyvä jakaa ryhmien alueita siten, että vasemmalle kääntyessä vain vasemman alueen valot syttyvät ja oikealle kääntyessä vain oikean puolen valot. Yksittäisen lohkon sopiva pinta-alan yläraja on noin 350 neliometriä. (71, s. 14.) Mikäli valaistusta jaetaan ohjausryhmiin, tulisi ohjaukseen käyttää osoitteellista ohjausjärjestelmää, kuten DALIa, jossa yksittäinen valaisin saadaan osaksi useampaa ohjausryhmää. Tällä tavoin lohkojen ja kerrosten välisillä raja-alueilla olevat valaisimet voidaan ohjelmoida kirkastumaan riippumatta miltä alueelta rajaa lähestytään.

Tunnistinohjauksessa valaistus voidaan himmentää kymmenen minuutin viiveellä tunnistimen havainnosta noin 20–25 prosenttiin valaistuksen tehosta lähtötehon valaistusvoimakkuuden täyttäessä EN 12464-1 mukaiset luksiarvot. Valaistusta ei ole tarkoitus päästää sammumaan päiväsaikaan varsinkaan, jos tilaan ei pääse mistään päivänvaloa, mutta valaistusalueen oltua vähintään tunnin ajan himmennettynä voidaan valaistus ohjata sammumaan. Jos koko pysäköintihallin valaistus on tällä tavoin tunnistimin ohjattuna, ei ole kannattavaa suunnitella erillistä aikaohjausta, ellei hallin sisäänkäynneille sijoiteta sen väliaikaiseen ohitukseen tarkoitettuja painikkeita. Tunnistimin valaistus saadaan helpoiten päälle tarpeen vaatiessa myös poikkeavina käyttöaikoina.

Vakiovalo-ohjausta voidaan toteuttaa pysäköintihallien päivänvaloa saavilla reuna-alueilla, mutta sisään- ja ulosajoramppien läheisyyteen se ei sovellu, sillä ohjaustapa suurentaa valaistuseroja hallin ja ulkopuolen välillä. Auringon paistaessa kirkkaalla ajokelillä olisi hyvä, että hallista poistuvan kuskin silmät tottuisivat kirkkaaseen valoon jo parkkihallissa ja vuorostaan halliin saapuvan kuskin olisi hyvä ajaa hieman kirkkaampaan valaistukseen. Kirkkaustasojen tasaamiseksi ja liikenneturvallisuuden parantamiseksi halliin pääsevän päivänvalon ei tulisi laskea

valaisimien kirkkautta ajorampilla, eikä sen läheisyydessä. Standardissa EN 12464-1 ajorampeille vaaditaan erillisiä valaistusvoimakkuuksia vuorokauden ajan mukaan (kuva 28).

Taulukko 5.34 Julkiset kokoontumistilat – Pysäköintihallit

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Erityisvaatimukset
5.34.1	Sisään-/ulosajorampit (päivällä)	300	25	0,40	40	1. Valaistusvoimakkuus lattiatasolla. 2. Turvavärien tulee olla tunnistettavissa
5.34.2	Sisään-/ulosajorampit (yöllä)	75	25	0,40	40	1. Valaistusvoimakkuus lattiatasolla 2. Turvavärien tulee olla tunnistettavissa

Kuva 28. Ote standardin EN 12464-1 pysäköintihallien valaistusvaatimustaulukosta 5.34 (13, s. 58).

Standardinmukainen ajorampin valaistus voidaan toteuttaa joko himmentäen tai käyttämällä ylimääräisiä valaisimia, jotka sammutetaan yön tullen. Himmentäminen voidaan ohjelmoida DALI- tai KNX-järjestelmän ohjausparametreihin, jolloin aikaperusteisesti säädetään rampin valaistuksen korkeinta valaistustehoa alemmas. Standarditoteutusta voidaan kehittää vielä liittämällä ohjausjärjestelmän sisääntuloon esimerkiksi VAK:ilta tuotava hämäräohjauksen komento ja ohjelmoimalla valaistusteho laskemaan aikaohjauksen sijaan juuri silloin, kun ulkona on pimeä. Talviaikaan kello 17:00 ei ole yöaikaa, mutta on kuitenkin niin pimeää, että ajorampin valaistus olisi hyvä olla jo himmeämpänä.

8 Valaistuksen ohjauksen suunnitteluprosessi VAL12-tehtäväluettelon mukaisesti

Rakennushankkeen valaistussuunnittelun tehtävälaajuuden määrittelyyn ja suunnittelun hallintaan on kehitetty VAL12-tehtäväluettelo, joka kuuluu Rakennustiedon (RT) julkaisemien suunnittelualakohtaisten tehtäväluetteloiden (kuten esimerkiksi TATE18) sarjaan. Niin kuin sarjan muutkin tehtäväluettelot, on VAL12 tarkoitettu liitettäväksi rakennushankkeen suunnittelusopimukseen, jolloin aikataulu saadaan sitovaksi, sekä myös tilaajaosapuoli voi tarkastella suunnittelun aikataulua tehtäväkohtaisesti. (72, s. 1.) Liittämisestä riippumatta VAL12:lla voidaan ohjata ja aikatauluttaa suunnittelun etenemistä sekä sen avulla voidaan esitellä suunnitteluprosessin vaiheita, tehtäviä ja laadittavia asiakirjoja ja niin myös tässä luvussa tehdään.

Muiden RT-tehtäväluetteloiden tavoin VAL12:ssa rakennushankkeen valaistussuunnittelua käsitellään tehtäväkokonaisuus kerrallaan läpi listaten, mitä tehtäviä kuhunkin kokonaisuuteen kuuluu, mitä dokumentteja kukin hankkeen osapuoli laatii ja voi laatia missäkin tehtävissä sekä mitkä ovat osapuolien vastuualueet. Laadittaviin dokumentteihin kuuluu luettelon vaatimia tehtäviä sekä erikseen tilattavia tehtäviä. Luetteloa sopimusasiakirjana käytettäessä, siitä yliviivataan suunnittelusta pois rajattavat tehtävät sekä erikseen sovittavat tehtävät merkataan rukseilla. Tarvittavia lähtötietoja voidaan tehtäväluettelon perusteella vaatia sopivassa vaiheessa hanketta. (72, s. 1.)

8.1 Tarveselvitys

Tarveselvitysvaiheessa, mikäli valaistussuunnittelija on jo osana projektia, voidaan häneltä erikseen sovittaessa tilata selvityksiä koskien valaistuksen laatua, vaatimuksia ja mahdollisuuksia. Selvityksiä voidaan laatia muistioiden muodossa, jotka käsittelevät, millaisia valaistusvaatimuksia asettavat

- omistajan toiminta ja tavoitteet
- rakennuksen käyttö ja käyttäjien toiminnot
- rakennuksen ympäristö ja esteettömyystavoitteet
- mahdollinen tavoiteltava ympäristöluokitus ja luokituksen taso. (72, s. 2.)

Selvitystyön kautta voidaan saada eri tekijöiden osalta käsitys rakennuksen valaistuksen ohjauksen tavoitteista ja ominaisuuksista, joita ohjauksella halutaan säätää ja korostaa. Selvitysten perusteella voidaan myöhemmin ehdottaa ohjausratkaisuja tilaajalle. (8, s. 23.)

Hankevaiheen tuloksena syntyvän tarveselvitysasiakirjan osuudeksi voidaan laatia raportti, joka asettaa rakennuksen valaistukselle vaatimuksia ja noudatettavan laatutason. Korjausrakennushankkeessa voidaan laatia selvitys siitä, voisiko nykyinen valaistus- ja kaapelitiejärjestelmä soveltua uuteen käyttöön. (72, s. 2.)

8.2 Hankesuunnittelu

Hankesuunnittelussa tarveselvityksen tietojen perusteella laaditaan tarpeita vastaavat tavoitteet rakennushankkeelle ja suunnittelutyölle. Valaistussuunnittelija ei välttämättä vielä tässä vaiheessa ole osana hanketta ja mahdolliset tehtävät hankesuunnittelussa ovat lähinnä avustavia tehtäviä, jotka ovat erikseen tilattavia. Tehtäviin kuuluu raportteja, kartoitusta, aikataulutusta ja kustannuslaskentaa. (72, s. 3.)

Rakennushankkeen laajuuden ja laadun selkiytyessä hankesuunnittelun edetessä valaistussuunnittelulle ja suunniteltaville olosuhteille laaditaan tavoitteet. Valaistukselle tarveselvityksessä määritellyt vaatimuksia ja laatutasoa voidaan hankesuunnitelmassa tarkentaa, tai jos niitä ei ole määritetty, olisi se tässä vaiheessa hyvä tehdä. Hankesuunnittelussa laaditaan myös tavoiteaikataulu, jota varten suunnittelijan osalta sellainen voidaan tilata ja mikäli ei, niin suunnittelijan on kuitenkin hyvä ilmoittaa aikataulua koskevista tarpeistaan tilaajalle. (72, s. 3.)

Koska valaistuksella on hintava osuus talotekniikan hankinnoissa ja ylläpitokuluissa, saatetaan suunnittelijalta tilata laskelma valaistuksen investointikustannuksista. VAL12 määrittää investointikustannuslaskelmalle vaihtoehdoiksi tasot a ja b. Taso a ei aseta erityisiä vaatimuksia laskennalle ja taso b vaatii sekä tila- että järjestelmäpohjaista tavoitehinnan laskentaa, jolloin valaistuksen ohjausjärjestelmälle voidaan laskea oma tavoite. (72, s. 3.)

Korjaushankkeen tapauksessa olemassa olevia valaistusjärjestelmiä ja kaapelireittejä voidaan kartoittaa tarkemmin ja laatia vanhojen järjestelmien kunnosta, sovellettavuudesta ja laajennuspotentiaalista raportti. (72, s. 3.)

8.3 Suunnittelun valmistelu

Valaistussuunnittelija liittyy osaksi rakennushanketta todennäköisemmin vasta suunnittelun valmisteluvaiheessa. Tällöin sopimusta laadittaessa sovitaan suunnittelutyön tavoitteista ja asioista, kuten järjestelmälaajuudesta eli esimerkiksi sisä-, ulko-, esitys- ja julkisivuvalaistusjärjestelmien suunnittelusta, laadittavista asiakirjoista sekä kokouksista ja palavereista suunnittelun ja rakentamisen ajalle, jotka voidaan sopia vaihekohtaisesti. Suunnittelun valmisteluvaiheessa järjestetään myös suunnittelun aloituskokous. Jos tilaajalle valaistuksen tarpeet ja tavoitteet ovat vielä epäselviä, tulisi niitä vaatia tarkennettaviksi jo ensimmäisten suunnittelukokousten aikana. (72, s. 4.)

Sopimuksen synnyttyä suunnittelun kannalta korkealla tärkeysjärjestyksessä tulisi olla lähtötietojen saaminen ja tarkistaminen. VAL12 nojaa peruslähtötietojen määrittelyn vastuun tilaajalle, mutta asiantuntijana toimivan valaistussuunnittelijan olisi hyvä projektiin tutustuttuaan keskustella tilaajan kanssa tarkentaakseen annettuja lähtötietoja (72, s. 4). Lähtötietojen ollessa puutteellisia tai ristiriitaisia on suunnittelijan vastuulla ilmoittaa asiasta tilaajalle, joka on suositeltavaa tehdä kirjallisesti. Valaistuksen ohjauksen suunnittelussa oleellisimpia lähtötietoja ovat jo tarveselvityksessäkin käsitellyt tiedot, kuten omistajan tarpeet sekä tilan ja sen käyttäjien tarpeet, mutta nämä tiedot tulee kohdentaa valaistuksen ohjauksen tavoitteiksi. Halutaanko ohjauksella painottaa energiansäästöä, käytön ja näkemisen mukavuutta, laajaa säädettävyyttä, hyvinvointia, vai esteettisiä puolia? Ohjauksen tavoitteisiin ja niiden tärkeysjärjestykseen pitäisi tilaajalta (tai pääsuunnittelijalta) saada mahdollisimman selkeä linjaus suunnittelun oppaaksi.

8.4 Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnittelussa määritetään suunniteltaville järjestelmille tekniset tavoitteet ja niiden toteuttamiseksi laaditaan suunnitelma tai vaihtoehtoisia suunnitelmia.

Suunnittelukokouksissa käsiteltäessä teknisten järjestelmien tavoitteita ja vaihtoehtoja tulisi yleisten valaistusvaihtoehtojen ohella myös käsitellä valaistuksen ohjausta tilaajan ja arkkitehdin sekä mahdollisesti LVIA-suunnittelijan kanssa. (72, s. 6.) Tällöin on mahdollista kehittää paremmin kohteeseen ja muuhun suunnitteluun soveltuvia ratkaisuja suunniteltaviksi ja rajata pois soveltumattomia ratkaisuja.

Kun valaistuksen tavoite ja ohjaustarpeet ovat selkeästi määritelty, voidaan niiden pohjalta teknisten tavoitteiden määrittämiseksi laatia toiminnan kuvaus, jonka avulla konkreettinen suunnittelutyö voidaan aloittaa. Kohteesta riippuen toiminnan kuvaus saatetaan laatia melko myöhään varsinkin muuntuvien tilojen tapauksessa, jolloin on mahdollista, että se jää vähemmän tarkaksi. Toiminnan kuvauksen tulee selventää ohjauksen tavoitteen lisäksi seuraavia peruseriaatteita:

- Millaista valaistusta käytetään? Millainen ohjattavuus liitäntälaitteilla on?
- Miten ohjausta toivotaan toteutettavan?
- Millaisin ohjaustavoin ohjausta voitaisiin toteuttaa?
- Tarvitaanko ohjaukseen ohjausjärjestelmää?
- Minkä tasoista muuntojoustavuutta valaistukselta odotetaan?
- Ohjataan valaistusta paikallisesti vai rinnakkain? (3, s. 23.)

Ohjaustapojen kohdalla tulisi tarkentaa niiden ominaisuuksia ja ohjausperusteita seuraavin tavoin:

- Tilanneohjaus
 - Valaisinten jaottelu tilanneohjausryhmiin.
 - Tarvittavat tilanteet (voidaan kirjata alustavat nimet).
 - Tilanteiden parametrit, kuten valaistustasot ohjausrytmittäin, värilämpötila.
 - Tilanteiden välinen siirtymäaika.
 - Ohjauslaite: ohjauspaneeli, mobiililaite, muu?
- Etäohjaus
 - Säätolaitte.
 - Ohjauslaite: kaukosäädin, mobiililaite, muu?
- Läsnäolotunnistus
 - Toteutetaanko läsnä- vai poissaolo-ohjausta?
 - Tunnistintekniikka: PIR, US vai HF?

- Himmennetäänkö valaistusta vai sammutetaanko se suoraan? Mikäli himmennetään, ilmoitetaan himmennysarvot.
- Ohjauksen viiveajat.
- Tilakohtaiset valvonta-alueiden koot.
- Yhdistäminen vakiovalo-ohjaukseen.
- Tunnistimien toiminta eri vuorokaudenaikoina.
- Aikaohjaus
 - Jaotellaan eri perustein aikaohjattavat valaistuskokonaisuudet.
 - Valaistuskokonaisuuksien päivä-, viikko-, vuosi-, ja erikoisajankohtaiset ohjausperusteet. (8 s. 23.)

Toiminnan kuvauksessa selkeä tapa esittää ohjauksen periaatteita on käydä tilatyypeittäin ohjausratkaisut läpi, jolloin voidaan esimerkiksi neuvotteluhuoneista kertoa, että ”lohkojen suurimmissa neuvotteluhuoneissa toteutetaan tilanneohjausta...” ja jatkaa tarkentaen ohjaustavan toteutustapaa yllä olevan luettelon mukaisesti. Mitä tarkemmin kuvaus saadaan esitettyä, sitä paremmin ohjauksen tavoitteeseen päästään.

Laadittavien ehdotussuunnitelmien ollessa tekniset tavoitteet täyttyviä ja kehitettävissä toteutuskelpoisiksi ei niiden esitysmuodolle ole vaatimuksia, ellei niitä ole sopimuksessa erikseen asetettu. Riittää, kun suunnitelmista selviävät toimintaperiaatteet, sekä tilatyypikohtaiset ratkaisut. Täten samanlaisia ratkaisuja ei tarvitse laatia useaan kertaan samanlaisille tilatyypeille ja säästetään aikaa. (72, s. 6.) Kaapeloinnin ja kaapeliteiden havainnollistamiseksi sekä tilantarpeen selvittämiseksi voidaan tarvittaessa tehdä laajempia suunnitelmia. Ajankäytön kannalta voi myös olla tilanteesta riippuen kannattavampaa laatia ehdotussuunnitelmia jo samassa formaatissa kuin missä toteutuspiirustuksetkin tulevat olemaan, jolloin hyväksytyt ehdotukset ovat heti valmiit kehitettäväksi toteutusta varten.

Valaistuksen teknistä ratkaisua käsitellessä voidaan päätyä valitsemaan joko valaisimet käytettävien ohjausratkaisujen ja -järjestelmän perusteella tai päinvastoin. Edeltävällä periaatteella aikaansaadaan aina ohjausteknisesti paras lopputulos, koska valitsemalla valaisimet ohjausratkaisujen ehdoilla voidaan varmistaa toiminnan kuvauksen asettamien tavoitteiden tekninen toteutettavuus. (8, s. 24.) Jos päädytään suunnittelemaan ohjausratkaisuja valmiiksi saneltujen valaisinten perusteella, tulee tarkastella valaisinten valonlähteitä ja liitäntälaitteita. Onko kyseessä Led-liitäntälaitte, joka on peruskytkentämalli (kolminapainen liitäntä) vai ohjattava malli (viisinapainen

liitäntä)? Onko ohjaus analogista vai digitaalista ja millä järjestelmällä se on toteutettavissa? Onko muunlainen säätö mahdollista (Tunable white)? Käytetäänkö jotain muuta valonlähdettä?

Ehdotussuunnittelun alkaessa valaistussuunnittelijalta voidaan sovittaessa tilata valaistuslaskelmia sekä visualisointeja tai kustannusarvioita. VAL12 määrittelee valaistuslaskennan tason b karkeaksi valaistuksen tulosta havainnollistavaksi visualisoinniksi ja tason c valokuvataseiseksi simuloinniksi, joka myös havainnollistaa, miltä tila tulee näyttämään suunnitellussa valaistuksessa. Tasoa a ei tehtäväluettelo määrittele, joten käytännössä se vastaa tavoitteet täyttävää ehdotussuunnitelmaa. Toinen tilattaessa toteutettava laskenta liittyy investoinnin kustannuksiin, jota varten laaditaan ja toimitetaan tilaajalle kokonaiskustannusarvio. Myös elinkaaren ajan kustannuksia koskevan laskennan dokumentiksi voidaan laatia elinkaarikustannusarvio. (72, s. 6–7.)

Mikäli rakennushankkeelle ollaan tavoittelemassa ympäristöluokitusta, on kannattavaa keskustella hankkeen luokitusasiantuntijan kanssa ja selvittää, mitä olisi tehtävissä valaistussuunnittelun osalta vaadittavien pisteiden saamiseksi. Erikseen sovittaessa luokitusasiantuntijan johdolla voidaan määritellä teknisiä lisävaatimuksia ohjaamaan suunnittelua tai kehittää uusia ratkaisuvaihtoehtoja, jotta tietty luokitusaso saavutetaan. Sovittaessa valaistussuunnittelija voi myös avustaa luokitusasiantuntijaa valaistuksen pisteytyksen kartoituksessa. (72, s. 7.)

8.5 Yleissuunnittelu

Kun ehdotussuunnitelma on hyväksytty, kehitetään sen pohjalta yleissuunnitelma, jossa esimerkiksi sijoitellaan ohjauslaitteita ja valaisimia paikoilleen ja määritellään teknisiä vaatimuksia. Piirustuksiin sijoitettavat symbolit esittävät vielä tässä vaiheessa tyypittämättömiä ja parametrittömiä laitteita, eli niin sanottuja tyhmiä objekteja.

Yleissuunnittelun käynnistyessä sovitaan järjestelmien yhteensovituksista ja integraatiosta (72, s. 8). Talotekniikan osalta voidaan esimerkiksi päätyä KNX-väyläjärjestelmän käyttöön, jolloin LVIA-suunnittelijan ja toimittajan löydyttyä laitetoimittajan kanssa on parasta aloittaa yhteistyö ajoissa, jotta

järjestelmäratkaisuista, kuten keskuslaitteista ja niiden sijainneista, kaapeloinnista ja väylän rakenteesta/topologiasta päästään yhteisymmärrykseen.

Yleissuunnitteluun siirryttäessä voidaan tarkentaa valaistuksen ohjausta koskevia suunnitelmia. Valaistussuunnittelijalta voidaan erikseen tilata dokumentteja, kuten ohjauksen periaatekaavioita tai luetteloita, jotka havainnollistavat yleissuunnitelman teknisiä vaatimuksia. (72, s. 9.)

Mikäli kohteeseen suunnitellaan valaistuksen ohjausjärjestelmä, voidaan tuotemäärittelyä edesauttaa laatimalla järjestelmätoimittajaa varten järjestelmää koskeva toimintakuvaus, jonka perusteella voidaan sopivaa järjestelmäratkaisua ja tuotteita tarjota. Ohjausjärjestelmän toimintakuvaus voi käytännössä olla esimerkiksi luettelo, periaatekaavio tai muu kirjallinen dokumentti, josta selviää järjestelmää koskevat tekniset vaatimukset sekä kaavailut ohjaustavat ja -laitteet. Ohjausjärjestelmän toimintakuvauksen lisäksi tilatyypikohtaiset vaatimukset ilmoitetaan, johon soveltuu aikaisemmin laadittu valaistuksen ohjauksen yleinen toiminnan kuvaus. (8, s. 23.) Yleissuunnitelman tasopiirustuksia voidaan arkkitehdin ja tilaajan luvalla toimittaa järjestelmätoimittajalle suunnittelun sitä vaatiessa.

Mikäli tilanneohjausta tullaan suorittamaan valaistuksen ohjausjärjestelmällä, riittää ohjelmoinnin lähtötiedoiksi tieto valaisinryhmistä ja taulukko tilanteista, josta selviää tilanteiden nimet ja säädöt, kuten himmennystasot. Mikäli toteutus tilataan erikseen, tilanneohjausten osalta on laadittava järjestelmän toimittavalle taholle seuraavat asiakirjat:

- Luettelo tai vastaava ohjauslaitteiston teknisistä vaatimuksista ja ohjattavan valaistuksen ohjattavuutta koskevista tiedoista.
- Piirustukset valaisinten sijainneista ja ryhmistä sekä ohjauslaitteiden sijainneista.
- Taulukko tilanteista, josta selviää himmennysarvot valaisinryhmittäin, muut ohjausparametrit sekä tilanteiden nimet.

Erikseen sovittaessa yleissuunnitteluvaiheessa voidaan tilata samoja laskelmia, kuin mitä ehdotussuunnitteluvaiheessa käsiteltiin, eli valaistus-, investointi- ja elinkaarikustannuslaskelmia (72, s. 9).

Yleissuunnittelusta siirrytään rakennuslupatehtäviin ja haetaan rakennuslupaa, joka voi tapahtua jo ennen yleissuunnitteluakin. Mikäli E-luvun raja-arvoa ei saada alitettua

voidaan tässä vaiheessa tarkastella, olisiko valaistuksen osalta toteutettavissa energiatehokkaampia suunnitteluratkaisuja. Rakennuslupatehtävillä ei ole kuitenkaan toimistokohteessa valaistussuunnittelijalle yhtä merkittävää vaikutusta kuin esimerkiksi toimiessa pääsuunnittelijana ulko- tai aluevalaistushankkeessa. Ohjauksen suunnittelun osalta vaihe ei aseta vaatimuksia tai tehtäviä. (72, s. 10.)

8.6 Toteutussuunnittelu

Valaistuksen ohjauslaitteiston ja -järjestelmän ollessa selvillä, tarkennetaan tiedot suunnitelmiin urakoitsijaa varten aluksi hankintaa sekä lopuksi toteutusta varten. Toteutussuunnittelussa ryhdyttäessä laatimaan hankintaa palvelevia suunnitelmia, kun tiedetään miten ohjaus tullaan toteuttamaan siirtyy suunnittelu nyt täyteen laajuuteensa, jolloin tasopiirustuksiin piirretään kaikki valaistus ja ohjauslaitteisto tyypitettyinä (kaikkiin tiloihin). Suunnitelmat laaditaan tarkkuuteen, jonka perusteella urakoitsija voi hankkia asennettavat tuotteet. (72, s. 11.) Hankintaa palvelevista suunnitelmista on ohjauksen osalta saatava selville

- ohjausjärjestelmän keskuslaitteiden mallit ja määrät
- ohjaus- ja säätölaitteiden mallit ja määrät
- käytettävät heikko- ja vahvavirran kaapelit
- arvio tarvittavasta kaapelimäärästä.

Valaisinten mallien ja määrien tulee myös olla tiedossa, mikä ilmenee valaisinluettelosta. Keskuslaitteiden ja ohjauslaitteiden mallit ja määrät voidaan selvittää suoraan piirustuksista tai sovittaessa ne voidaan listata erillisessä tuoteluettelossa. Tässä vaiheessa on sopivaa tarkastella vastaavatko ja täyttävätkö suunnitelmat alunperin asetettuja tavoitteita ja sovitella pistesijoituksia eri suunnittelualojen välillä, jotta voidaan tehdä mahdolliset muutokset ennen kuin suunnitelmat lähetetään eteenpäin. Toimistoissa tulee lisäksi huomioida alakattojen suunnittelu, mitä varten arkkitehdille tulee toimittaa alakattolaitteiden sijoituspiirustukset, joihin tulee valaisinten lisäksi sijoittaa tunnistimet. (72, s. 11–12.) Arkkitehti on myös voinut etukäteen laatia alakattopiirustukset, joiden päälle pistesijoitukset piirretään.

Kun hankintaa palvelevat suunnitelmat ovat lähetetty urakoitsijalle, täytyy suunnitelmat kehittää lopulliseen toteutusta palvelemaan tarkkuuteen, josta ilmenee tuote- ja

järjestelmäkohtaiset asennustavat kaapelointineen. Toteutusta palvelevia asiakirjoja ovat tasopiirustusten ja luetteloiden lisäksi periaatekaaviot ja detaljikuvat sekä asennustyön tukena voidaan hyödyntää esimerkiksi IFC-tiedostosta saatavaa 3D-tietomallia. Vaiheeseen voi kuulua myös järjestelmien ja laitteiden hankintaa koskevia kokouksia. Lopuksi toteutussuunnitelmat hyväksytetään ja lähetetään urakoitsijan käyttöön. (72, s. 4, 12.) Toteutusta palvelevista suunnitelmista on ohjauksen osalta saatava hankintasuunnitelmien tarjoaman tiedon lisäksi selville

- ohjauksjärjestelmän laite- ja kaapelointitopologia
- kaikkien ohjaus-, säätö- ja keskuslaitteiden sijainnit sekä asennustavat
- kaapeloinnit ja syöttöryhmät (ei ryhmänumeron tarkkuudella)
- piirustuksissa näkyvien kaapelien tyypit
- erityiset kytkentäperiaatteet
- ohjaukslaitteiden toimintaperiaatteet ja asetukset,
 - jossa voidaan hyödyntää valaistuksen ohjauksen toiminnan kuvausta
 - jotka voidaan selostaa tilatyypikohtaisesti
- tunnistinten valvonta-alue-rajaukset
- ohjelmointia varten
 - laiteosoitteiden laatimisperiaate
 - valaisinten ohjausryhmät
 - ohjausparametrit
- korjaushanketta varten nykyisten järjestelmien purkusuunnitelmat.

8.7 Rakentamisen valmistelu ja rakentaminen

Valaistussuunnittelijan tehtävät rakentamisen aikana ja sitä valmistellessa ovat luonteeltaan avustavia ja niiden pääasiallisena tavoitteena on saattaa toteutusta kohti suunnitelmien mukaista lopputulosta (72, s. 13–14). Aina rakentamisessa ei voida pysyä alkuperäisissä suunnitelmissa, joten ne voivat vaatia muutoksia tai saatetaan tarvita uusia suunnitelmia. Yleisten sopimusehtojen mukaan tulkitaan, minkä osapuolen kustannuksella lisäsuunnitelmat ja revisiot laaditaan. Suunnittelijalle määriteltyinä rakentamisen aikaisina tehtävinä on

- osallistua sovittuihin kokouksiin ja palavereihin
- (kokousten yhteydessä) tarkastaa tai ohjeistaa asennustöitä

- osallistua laitehankintojen hyväksyntään tarkastamalla tuotetoimittajien ja urakoitsijan suunnitelmia
- toimittaa huoltokirjaa varten dokumentteja, kuten laitetietoja, järjestelmäkaavioita ja huolto-ohjeita. (72, s. 13–14.)

Se kuinka moneen ja millaisiin kokouksiin ja palavereihin suunnittelija osallistuu, riippuu siitä, mitä suunnittelusopimuksessa on sovittu. Rakentamisvaiheen kokoukset koostuvat työmaa- ja vastaanottokokouksista sekä palaverit esimerkiksi hankinta- ja urakoitsijapalavereista. Näiden tehtävien lisäksi suurin osa tehtäväluettelossa luetelluista tehtävistä on erikseen tilattavissa. Näistä tehtävistä suunnittelija voi tilauksesta riippuen

- osallistua ohjausjärjestelmän ohjelmointiin
- avustaa urakoitsijaa valaistusta koskevissa hankinnoissa
- toimia valvontatehtävissä
- laskea/simuloida olosuhteita urakoitsijan ehdottamilla laitteilla ja vastata laitehyväksynnästä laatimalla hyväksyntäraportin urakoitsijan sijasta
- laatia huoltokirjaa varten huoltosuunnitelman
- suunnitella ja/tai toteuttaa valaistusjärjestelmien asennuksen ja toiminnan tarkastukset. (72, s. 13–14.)

Valaistusjärjestelmien toiminnan tarkastuksissa kiinnitetään valaistuksen ohjauksen osalta huomiota etenkin ohjauslaitteiden toimintaan. Tunnistinten valvonta-alueet ja niiden sopivat rajaukset tulee tarkistaa liike-, läsnäolo- sekä myös vakiovalo-antureilta. Eri ohjaustapojen oikeiden säätöaikojen toteutuminen tulee tarkastaa esimerkiksi seuraamalla himmentyvätkö/sammuvatko automaattisesti ohjatut valaisimet suunniteltujen aikojen tarkkuudella. Myös järjestelmien ohjelmointien osalta tulee tarkistaa ovatko valaisinryhmät ja laiteosoitteet ohjeiden mukaiset.

8.8 Käyttöönotto ja takuu aika

Rakentamisvaiheen valmistuttua toteutetaan käyttöönotto, jonka päätteeksi rakennus luovutetaan tilaajalle ja siirrytään takuu aikaan. Suunnittelun kannalta vaiheiden tehtävät koskevat luovutuspiirustuksia ja takuutarkastuksia.

Rakennuttajalle tulee rakentamisen loppuvaiheessa luovuttaa arkistoitavaksi lopullista toteutusta kuvaavat luovutuspiirustukset. Urakoitsija täydentää asennusten edetessä

suunnitelmapiirustuksia toteutustenmukaisiksi luovutuspiirustuksiksi, jotka suunnittelija sovittaessa tarkastaa ja muokkaa rakennuttajalle lähetettävään muotoon. Suunnitelmat lähetetään rakennuttajalle usein sekä sähköisesti että paperimuodossa. (72, s. 15.)

Riippuen suunnittelusopimuksen sisällöstä valaistussuunnittelija voi osallistua takuuaikana järjestettäviin takuutarkastuksia koskeviin kokouksiin ja myös tehdä takuutarkastuksia kohteen valaistusjärjestelmille (72, s. 16).

9 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli laatia uudelle suunnittelijalle opas valaistuksen ohjauksen suunnitteluun. Tarkoituksena oli yhdistää omaa oppia ja lähdetietoja tavoitteen toteuttamiseksi. Työtä tehdessä hyödynnettiin lähteinä lakimääräyksiä, standardeja, valaistussuunnittelukirjoja, tutkimustyötä, ympäristöluokituskriteeristöjä, yhdistysten ohjeita ja laitevalmistajien tuotetietoja. Toimistorakennuksen tilojen käytön ja käyttäjien toimintojen pohjalta työssä on käsitelty toimistoympäristön suunnitteluvaatimuksia ja ohjausratkaisujen valintaperusteita. Kirjoittajan omaa suunnittelukokemusta sekä lähdetietoa, joka käsittelee suunnittelumateriaalia, luokituskriteereitä sekä tilakohtaista ja prosessivaihekohtaista suunnittelua, on kohdennettu oppaaksi. Työssä on vertailtu ohjaustapoja ja ohjausjärjestelmiä ja niiden soveltuvuutta kohdeympäristöön on pohdittu oman analysoinnin ja muiden tahojen tutkimustyön pohjalta. Työn tavoitteeseen on siis päästy valmiin oppaan osalta, jonka avulla Vahanen Talotekniikka Oy:n uudet sähkö- ja valaistussuunnittelijat voivat perehtyä syvemmin valaistuksen ohjauksen suunnitteluun.

Projektin edetessä työn sisältö muuttui. Yhtenä alkuperäisenä tavoitteena oli laatia konkreettista suunnittelutyötä esittelevä luku, jossa olisi havainnollistettu kirjoittajan suorittamaa valaistuksen ohjauksen suunnittelua toimistorakennukseen. Kuten alkuperäisessä työnkuvauksessa epäiltiin, että työprojektin aikaisesta vaiheesta johtuen on sen pois jääminen mahdollista, niin myös kävikin. Kyseisen toimiston oltua ympäristöluokitusta tavoitteleva kohde päätettiin, että työssä sen sijaan käsiteltäisiin, miten valaistuksen ohjauksella voidaan vaikuttaa ympäristöluokitusten pisteytykseen. Näin pois rajatun osuuden tilalle saatiin koottua Vahasen kannalta hyödyllistä tietoa, jonka erikseen hakeminen olisi työlästä.

Valmis työ tarjoaa uutta tietoa myös kokeneemmalle suunnittelijalle. Työssä käsitellään uutta kotimaista RTS-ympäristöluokitusta ja sen mukaista suunnittelua. Luokitus on niin uusi, ettei siitä ole vielä ehditty ensimmäistäkään sertifikaattia myöntää. Tulevaa, vielä julkaisematonta valaistusstandardin muutosta esitellään työssä, ja perustellaan, miksi muutoksella tulee potentiaalisesti olemaan suuri vaikutus ohjauksen suunnitteluun ja sen tarpeeseen. Sen lisäksi, että työssä esitellään ihmiskeskeisen valaistuksen periaatteet, selostetaan myös, kuinka LEED-tasoinen sirkadiaaninen valaistus lasketaan ja toteutetaan. Käsiteltävänä ovat myös mobiililaitteohjaukset ja uudet langattomat järjestelmät, kuten Bluetooth mesh-teknologiaa hyödyntävä ActiveAhead.

Aiheet on käsitelty siten, että uuden suunnittelijan on helppo ymmärtää suunnitteluperiaatteet, mutta tekninen sisältö on pyritty luomaan ammattilaissuunnittelua tukevaksi.

Työtä laatiessa todettiin laskemalla, että vaikka standardoidut energiavaatimukset toimiston valaistuksen energiankulutuksesta ovat viidessä vuodessa tiukentuneet yli 40 prosenttia, ovat ne vielä melko kevyin ohjausratkaisuina toteutettavissa. Työstä opittiin myös, että sirkadiaanisen valaistuksen ohjauksen suunnittelun ja toteutuksen, sekä varsinkin sen vaikutusten osalta riittää vielä paljon tutkittavaa. Ihmiskeskeisen valaistuksen voi taustatyössä havaitun valaistusalan sekä -teollisuuden kehityksen perusteella odottaa kasvavan suureksi valaistuksen ohjauksen ilmiöksi, jolle varsinkin toimistoissa on soveltuvat olosuhteet.

Lähteet

- 1 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. 2017. Ympäristöministeriö. Luettu 3.4.2019
- 2 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. 2017. Ympäristöministeriö.
- 3 Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. 2016. Työ- ja elinkeinoministeriö.
- 4 Kallasjoki, Tapio. 2019. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Sähköpostikeskustelu. 11.3.2019.
- 5 SFS-/IEC-/EN-standardit. Verkkoaineisto. Sesko ry. <https://www.sesko.fi/standardit/sfs_iec_en-standardit>. Luettu 13.3.2019.
- 6 Sähkötieto ry. 2018. Verkkoaineisto. Sähkötieto ry. <<http://www.sahkotieto.fi/index.php?k=14938>>. Luettu 3.1.2019.
- 7 Tietoa seurasta. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Valoteknillinen Seura. <<https://valosto.com/seura/>>. Luettu 3.1.2019.
- 8 Valonlähteiden säätö ja ohjaus ST 58.31. 2016. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 9 Does dimming LEDs decrease their lamp life? 2003. Verkkoaineisto. Rensselaer Polytechnic Institute. <<https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/led/dimmingLampLife.asp>>. Luettu 13.3.2019.
- 10 Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0. 2016. Verkkoaineisto. Teknologiateollisuus ry. <https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/nain_vertaillet_ledivalaisimia_2.0_2016_final.pdf>. Päivitetty 14.11.2016. Luettu 13.3.2019.
- 11 Laki rakennuksen energiatodistuksesta. 2013. 18.1.2013/50.
- 12 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma/Energiatehokkuus>.
- 13 Sisätilojen työkohteiden valaistus SFS-EN 12464-1. 2011. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

- 14 L08 Occupant Control of Lighting Environments. Verkkoaineisto. International WELL Building Institute. <<https://v2.wellcertified.com/v/en/light/feature/8#>>. Luettu 8.3.2019.
- 15 Sisätilojen työkohteiden valaistus SFS-EN 12464-1. 2011. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 16 Hyvä valaistus työtilassa. 2018. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <<https://www.ttl.fi/tyoymparisto/sisaymparisto/hyva-valaistus-tyotilassa/>>. Päivitetty 11.6.2018. Luettu 3.1.2019.
- 17 Dai, Qi; Huang, Yingying. 2018. Spatial and spectral illumination design for energy-efficient circadian lighting. Julkaisussa Building and Environment, Osa 146, s. 216–225.
- 18 Lucas, Robert J; Peirson, Stuart N; Berson, David M. 2013. Measuring and using light in the melanopsin age. Julkaisussa Trends in Neurosciences, Osa 37: Cell Press, s. 1–2.
- 19 Kearney, A.T. 2015. Quantified benefits of Human Centric Lighting. Frankfurt: LightingEurope.
- 20 Ympäristöluokitukset. 2019. Verkkoaineisto. RT - Rakennusteollisuus. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/Ymparistoluokitukset/>>. Luettu 14.2.2019.
- 21 Certified BREEAM Assesments. GreenBookLive. 2019. BRE Global. Verkkoaineisto. <<http://www.greenbooklive.com/search/scheme.jsp?id=202>>. Päivitetty 12.2.2019. Luettu 12.2.2019.
- 22 BREEAM International New Construction 2016 Issue 2.0. 2017. Watford: BRE Global.
- 23 Projects. 2019. Verkkoaineisto. U.S. Green Building Council. <<https://www.usgbc.org/projects>>. Luettu 13.2.2019.
- 24 Guide to LEED Certification: Commercial. 2017. Verkkoaineisto. U.S. Green Building Council. <<https://new.usgbc.org/cert-guide/commercial>>. Päivitetty 25.9.2017. Luettu 23.3.2019.
- 25 LEED v4 for building design and construction. 2019. Verkkoaineisto. U.S Green Building Council. <<https://www.usgbc.org/resources/grid/leed>>. Päivitetty 11.1.2019. Luettu 12.2.2019.
- 26 About Us. 2019. Verkkoaineisto. International WELL Building Institute. <<https://www.wellcertified.com/en/about/mission>>. Luettu 7.3.2019.

- 27 L03 Circadian Lighting Design. Verkkoaineisto. International WELL Building Institute. <<https://v2.wellcertified.com/v/en/light/feature/3>>. Luettu 8.3.2019.
- 28 Table L1: Melanopic Ratio. Verkkoaineisto. International WELL Building Institute. <<https://standard.wellcertified.com/v7/tables#melanopicRatio>>. Luettu 15.3.2019.
- 29 Luxomat PD4-M-HCL. Verkkoaineisto. Nylund Oy. <<https://nylund.fi/tuotteet/valaistuksen-ohjaus/dali-lasnaolotunnistimet/pd4-m-hcl/>>. Luettu 3.8.2019.
- 30 SceneSet App. Verkkoaineisto. Helvar. <<https://www.helvar.com/fi/tuotteet/app-sceneset/>>. Luettu 8.3.2019.
- 31 Aktiivisia RT-ympäristötyökalua käyttäviä hankkeita on jo 76 kappaletta. 2018. Verkkoaineisto. Rakennustietosäätiö. <<http://glt.rts.fi/aktiivisia-rt-ymparistotyokalua-kayttavia-hankkeita-on-jo-76-kappaletta/>>. Luettu 12.3.2019.
- 32 RTS-Ympäristöluokitus v1.11 Toimitila- ja palvelurakennukset_versio_220219. 2019. PDF-dokumentti. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 33 Kytkimet ja painonapit. Ensto Pro valaistus. Verkkoaineisto. Ensto Building Technology. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228466781352/1231502301987/1231502676458.html>>. Päivitetty 15.1.2009. Luettu 30.11.2018.
- 34 Saastamoinen, Arto. 2009. Sähköasennukset 2. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 35 Modulaariset paneelit (13xx). Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170227/13xx_DATASHEET_FI.pdf>. Päivitetty 22.4.2013. Luettu 18.3.2019.
- 36 How are LEDs dimmed?. Verkkoaineisto. Philips. <<http://www.lighting.philips.com/main/support/support/faqs/dimming-with-leds/how-are-LEDs-dimmed>>. Luettu 2.4.2019.
- 37 Valonohjauskuvasto. 2018. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/filer_public/e1/50/e150ac19-846e-456f-aea4-153caad10230/helvar-lighting-intelligence-catalogue_2018.pdf>. Päivitetty 29.5.2018. Luettu 4.4.2019.
- 38 Boyce, Peter R. 2014. Human Factors in Lighting. Boca Raton: CRC Press.
- 39 Esitteet ja katalogit - Steinel tunnistintuotteet ammattilaisille 2015/2016. 2015. Verkkoaineisto. Hedtec. <<https://hedtec.fi/esitteet-ja-katalogit/>>. Luettu 11.12.2018.

- 40 Toimiston valonohjaus. 2018. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/Sovellukset/toimisto/toimiston-valonohjaus/>>. Luettu 3.12.2018.
- 41 Hyyppä, Pasi (Senaatti-kiinteistöt). 2018. Tilaaajan ja käyttäjän tarpeet valaistuksen säädön ja ohjauksen osalta. Esitys Suomen Valoteknillisen Seuran tilaisuudessa. Metropolia Albertinkatu, Helsinki.
- 42 Näin älyvalaistuksen tuottamaa tietoa voi hyödyntää. 2019. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/alykas-valaistus/nain-alyvalaistuksen-tuottamaa-tietoa-voi-hyodyntaa/>>. Luettu 20.2.2019.
- 43 Valaistuksen energiatehokkuus SFS-EN 15193-1:2017. 2017. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 44 Ouman rakennusautomaatio 2019-luettelo. 2019. Verkkoaineisto. Ouman. <https://ouman.fi/wp-content/uploads/2019/02/Hinnasto_2019_LQ.pdf>. Päivitetty 25.1.2019. Luettu 25.3.2019.
- 45 B.E.G Luxomat PD2-M-DALI/DSI. Verkkoaineisto. Nylund Oy. <<https://nylund.fi/tuotteet/valaistusratkaisut/valaistuksen-ohjaus/dali-lasnaolotunnistimet/pd2-m-dalidsi/>>. Luettu 9.12.2018.
- 46 DALI Ulkovaloanturi (329). 2017. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170602/329_INSTALLATION_EN.pdf>. Päivitetty 19.5.2017. Luettu 25.3.2019.
- 47 e-Sense Active Manual. 2018. Verkkoaineisto. Fagerhult Oy. <https://www.fagerhult.com/globalassets/global/lighting-control/e-sense/e-sense-active/manuals/manual_esense_active_eng.pdf>. Päivitetty 12.11.2018. Luettu 30.3.2019.
- 48 Valaistuksen ohjaus. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/valaistuksen-ohjaus/>>. Luettu 27.3.2019.
- 49 Vakiovalojärjestelmä (CLO). 2018. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/lighting-control/clovakiovalojarjestelma-constant-light-output/>>. Luettu 3.12.2018.
- 50 Extronic AD-36 DL akustinen tunnistin. Verkkoaineisto. Nylund Oy. <<https://nylund.fi/tuotteet/valaistuksen-ohjaus/dali-jarjestelma-komponentit/ad-36-dl-akustinen-tunnistin/>>. Luettu 25.3.2019.
- 51 Porrashuoneet DALI. 2015. Verkkoaineisto. Nylund Oy. <https://nylund.fi/wp-content/uploads/2017/03/Porrask%C3%A4yt%C3%A4v%C3%A4t-DALI_FI_1_LR-1.pdf>. Luettu 18.3.2019.

- 52 Galasiu, Anca D; ym. 2007. Energy saving lighting control systems for open-plan offices: A field study. Taylor & Francis, LEUKOS The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, Osa 4.
- 53 SwitchDIM. 2001. Verkkoaineisto. Tridonic.
<https://www.tridonic.com/com/en/download/switchDIM_en.pdf>. Päivitetty 10.9.2002. Luettu 15.2.2019.
- 54 Touch DIM ja Corridor Function-ohje. 2014. Verkkoaineisto. Osram.
<<http://www.m-light.fi/fi/lataa-tiedostoja/kayttoohjeet-ja-muut-tiedot>>. Päivitetty 7.7.2014. Luettu 15.2.2019.
- 55 Luxomat PD2-M-DALI/DSI-HVAC. Verkkoaineisto. Nylund Oy.
<<https://nylund.fi/tuotteet/valaistuksen-ohjaus/dali-lasnaolotunnistimet/pd2-m-dali-dsi-hvac/>>. Luettu 15.2.2019.
- 56 DALI manual 3.0. 2013. Verkkoaineisto. Tridonic.
<https://www.tridonic.se/se/download/technical/DALI-manual_en.pdf>. Luettu 14.3.2019.
- 57 DALI. Verkkoaineisto. Ensto Oy.
<<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228466781352/1231503046191/1231503057256.html>>. Päivitetty 29.4.2009. Luettu 28.3.2019.
- 58 DALI-2: The new version of the DALI standard. 2017. Verkkoaineisto. Digital Illumination Interface Alliance.
<https://www.digitalilluminationinterface.org/data/downloadables/5/4/1711_technical-note-dali-2-the-new-standard.pdf>. Päivitetty 21.11.2017. Luettu 9.12.2018.
- 59 KNX Järjestelmäopas. 2012. Verkkoaineisto. ABB Oy.
<http://asennustuotteet.fi/documents/Esitteet/KNX_Jarjestelmaopas_62012.pdf>. Päivitetty 12.6.2012. Luettu 5.4.2019.
- 60 Synco KNX bus communications - Basic documentation. 2013. Verkkoaineisto. Siemens.
<https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/relatedcontentblock/Documents/KNX_CE1P3127_en.pdf>. Päivitetty 8.4.2013. Luettu 28.3.2019.
- 61 KNX-tunnistimet valaistuksen ohjauksessa. Verkkoaineisto. Nylund Oy.
<<https://nylund.fi/yritys/ajankohtaista/blog/asiantuntija-artikkelit/knx-tunnistimet-valaistuksen-ohjauksessa/>>. Päivitetty 14.6.2012. Luettu 28.3.2019.
- 62 ABB i-bus KNX DALI-Gateway Basic - Product Manual. 2018. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/products/2CDG110198R0011/dg-s1-64-1-1-dali-gateway-basic-1-fold-mdrc>>. Päivitetty 25.9.2018. Luettu 27.3.2019.

- 63 KNX/DALI-Gateway käyttöohje. 2015. Verkkoaineisto. ABB Oy.
<<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC507050D0202&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Päivitetty 30.11.2015. Luettu 27.3.2019.
- 64 The World of Energy Harvesting Wireless Technology. 2016. Verkkoaineisto. EnOcean. <<https://www.enocean.com/technology/energy-harvesting/>>. Luettu 16.3.2019.
- 65 6401/RF Asennusohje. 2010. Verkkoaineisto. ABB Oy.
<http://www.asennustuotteet.fi/catalog/21663/product/21241/6401/RF_FIN1.html>. Luettu 26.3.2019.
- 66 EnOcean Switches (18xx). 2017. Verkkoaineisto. Helvar.
<https://www.helvar.com/media/pd/2017/20171121/18xx_DATASHEET_EN.pdf>. Luettu 26.3.2019.
- 67 Topology Options. Verkkoaineisto. Bluetooth SIG.
<<https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/topology-options>>. Luettu 2.4.2019.
- 68 ActiveAhead-esite. 2016. Verkkoaineisto. Helvar.
<<https://www.helvar.com/fi/ratkaisut/idim/activeahead/>>. Luettu 17.3.2019.
- 69 ST-raportti 3 - Tuottava toimisto. 2007. Valaistus. Espoo : Sähköinfo Oy.
- 70 2018 Annual Report. 2019. Verkkoaineisto. LightingEurope.
<https://www.lightingeurope.org/images/publications/ar/LightingEurope_Annual_Report_2018.pdf>. Luettu 31.3.2019.
- 71 Exterior Lighting Guidance. 2013. Verkkoaineisto. Yhdysvaltain energiaministeriö.
<<https://betterbuildingsolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/exterior-lighting-control-guidance.pdf>>. Luettu 8.4.2019.
- 72 Valaistussuunnittelun tehtäväluettelo VAL12 (ST 41.06). 2015. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Valonlähdekohtaiset melanooppiset kertoimet (R)

Liitteen avulla voidaan saada käsitys valonlähteiden R-kertoimista sirkadiaanisen valaistuksen suunnitteluun. Alla olevassa kuvassa olevat kertoimet ovat suuntaa-antavia IWBI:n ilmoittamia melanooppisen kertoimen R arvoja, joista voidaan saada käsitys, millaisia EML-arvoja milläkin valonlähteellä voidaan saada aikaiseksi. Esimerkiksi mittaustasolla 4 000 K ledivaloin valaisten, 1 000:ta luksia kohden syntyy suuntaa-antavasti 760 vastaavaa melanooppista luksia.

CCT(K)	Light Source	Ratio
2700	LED	0.45
3000	Fluorescent	0.45
2800	Incandescent	0.54
4000	Fluorescent	0.58
4000	LED	0.76
5450	CIE E (Equal Energy)	1.00
6500	Fluorescent	1.02
6500	Daylight	1.10
7500	Fluorescent	1.11

Kuva. Suuntaa-antavat melanooppiset kertoimet (R) eri valonlähteille (28).

Yllä olevien kertoimien avulla laskettujen arvojen perusteella ei tule suunnitella WELL-tason sirkadiaanista valaistusta, koska tällä perusteella kriteerin toteutumista ei tarkasteta. Tarkastuksessa mitataan mittaustasolla valon jakautumista aallonpituuksille, jonka tulos riippuu valonlähteestä. Lisäksi valonlähteestä riippumatta saman värilämmön valaisimilla on valmistajakohtaisia eroja.