

Janne Huhtamäki

Opetustilojen valaistussuunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

9.5.2018

Tekijä Otsikko	Janne Huhtamäki Opetustilojen valaistussuunnittelu
Sivumäärä Aika	42 sivua + 4 liitettä 9.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää opetustilojen valaistussuunnitteluun vaikuttavia tekijöitä. Työssä pyrittiin löytämään olennaisimmat suunnitteluun vaikuttavat tekijät ja löydetyn tiedon pohjalta laadittiin esimerkkisuunnitelma luokkahuoneen valaistuksesta.</p> <p>Työ aloitettiin tarkastelemalla alan kirjallisuutta ja standardeja, joista löytyi suosituksia opetustilojen valaistuksen suunnitteluun. Tämän jälkeen tarkasteltiin Opetushallituksen vuonna 2014 julkaisemia opetussuunnitelman perusteita, jotka määrittävät uusien opetussuunnitelmien sisältöä ja vaikuttavat opetustilojen käyttöön. Työn alussa tarkasteltiin myös valon biologisia vaikutuksia ja käytiin läpi aiheeseen liittyviä tutkimuksia. Työssä esiteltiin erilaisia valaistuksen ohjaustapoja. Työn lopussa tehtiin esimerkkisuunnitelma luokkahuoneen valaistuksesta ja sen ohjauksesta, suunnitteluun vaikuttavat tekijät huomioon ottaen.</p> <p>Opetustilojen valaistussuunnitteluun liittyvää kirjallisuutta ja standardeja löytyi kohtalaisesti. Suurin haaste oli löytää suomalaista, ajantasaista valaistusalan kirjallisuutta, jossa olisi mainittu nykyaikaisia järjestelmiä ja laitteita. Kerätystä aineistosta saatiin kuitenkin koottua yhteen paljon opetustilojen valaistussuunnittelussa huomioon otettavia asioita.</p> <p>Luokkahuoneen valaistuksen esimerkkisuunnitelmaan löytyi nykyaikaisia valaisimia vertailemalla hyvä valaisin, jolla valaistus saatiin suunniteltua standardien ja ohjeiden mukaiseksi. Valaistuksen ohjaus suunniteltiin perustumaan läsnäoloon ja automaattiseen valaistuksen säätöön, joka huomioi luokkahuoneeseen tulevan luonnonvalon.</p>	
Avainsanat	opetustilojen valaistus, valaistuksen ohjaus, valaistussuunnittelu, DALI

Author Title	Janne Huhtamäki Lighting Design for Teaching Rooms
Number of Pages Date	42 pages + 4 appendices 9 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructor	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>The aim of this study was to find out the factors affecting the lighting design of teaching rooms. Another aim was to find the most important factors influencing the design and, according to them, an exemplary design of the classroom lighting was made.</p> <p>The work was started by examining literature and standards in the field, which included recommendations for the design of the lighting of the teaching rooms. The curriculum bases published by the Finnish National Board of Education in 2014, which define the content of new curricula and affect the use of teaching facilities, were reviewed. At the beginning of the study, the biological effects of light are introduced and also pertinent studies presented. The thesis also introduces various lighting control methods. At the end of the thesis, an exemplary design of the classroom lighting and its controlling is given, taking into account the factors affecting the lighting design of teaching rooms.</p> <p>Literature and standards related to the lighting design of teaching rooms were moderately found. The biggest challenge was to find Finnish, up-to-date literature on lighting, with modern systems and devices. The collected material, however, brought together the issues to be taken into consideration in the lighting design of the teaching rooms.</p> <p>In the lighting design example the luminaires were compared and then the best one for the actual plan selected. With selected luminaire, lighting could be designed according to standards and guidelines. The lighting control was designed to be based on attendance and automatic lighting control that takes into account the natural light coming into the classroom.</p>	
Keywords	Lighting in teaching rooms, lighting control, lighting design, DALI

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Opetustilojen valaistussuunnitteluun vaikuttavat tekijät	1
2.1	Standardi SFS-EN 12464-1	1
2.2	Kirjallisuus, sähkötietokortit ja muut ohjeet	4
2.3	Opetushallituksen ohjeet ja säädökset	5
2.4	Valon biologiset vaikutukset	6
3	Valaisimien valinnassa huomioitavat asiat	7
3.1	Valonjako	9
3.2	Valaisimista aiheutuva häikäisy	10
3.3	Väriämpötila	12
4	Valaistuksen ohjaus	12
4.1	Päälle-pois-ohjaus	12
4.2	Suora painikeohjaus	14
4.3	Läsnäolo-ohjaus	15
4.4	Vakiovalo-ohjaus	16
4.5	DALI-ohjaus	16
4.6	KNX-ohjaus	18
4.7	DSI-ohjaus	19
4.8	DMX-ohjaus	20
4.9	1-10 V -ohjaus	20
4.10	EnOcean-ohjaus	20
4.11	ZigBee-ohjaus	21
4.12	Bluetooth-ohjaus	21
4.13	Itseoppiva valaistus	21
4.14	Ihmiskeskeisen valaistuksen ohjaus	22
4.15	Valaistuksen ohjaus opetustiloissa	22
5	Erityyppisten opetustilojen valaistussuunnittelu	23

6	Esimerkkisuunnitelma	26
6.1	Luokkahuone	26
6.2	Valaisimet	27
6.3	Valaistuslaskelmat	29
6.4	Sähkösuunnitelmat ja valaistuksen ohjaus	34
7	Yhteenveto	37
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Esimerkkisuunnitelman tasopiirustus	
	Liite 2. Esimerkkisuunnitelman valaisinluettelo	
	Liite 3. Esimerkkisuunnitelman pääkaavio	
	Liite 4. Esimerkkisuunnitelman kytkentäkaavio	

Lyhenteet

DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i> . Digitaalinen valaistuksenohjaustapa.
DMX	<i>Digital Multiplex</i> . Esitystekniikassa käytetty digitaalinen valaistuksenohjaustapa.
DSI	<i>Digital Serial Interface</i> . Digitaalinen, osoitteeton valaistuksenohjaustapa.
E_{ka}	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus tarkastelutasolla.
E_m	Valaistusvoimakkuuden ylläpitoarvo tarkastelutasolla
E_{maks}	Suurin valaistusvoimakkuuden arvo tarkastelutasolla.
E_{min}	Pienin valaistusvoimakkuuden arvo tarkastelutasolla.
E_{task}	Työalueen valaistusvoimakkuus.
E_z	Sylinterivalaistusvoimakkuus.
E_{zka}	Sylinterivalaistusvoimakkuuden keskiarvo.
E_{zmaks}	Sylinterivalaistusvoimakkuuden suurin arvo.
E_{zmin}	Sylinterivalaistusvoimakkuuden pienin arvo.
HCL	<i>Human Centric Lighting</i> . Ihmiskeskeinen valaistus.
IP	<i>Ingress Protection</i> . Sähkölaitteiden suojausluokan ilmoittava merkintä.
K	Kelvin. Väriämpötilan mittayksikkö.
KNX	Digitaalinen rakennusautomaation ohjaustapa.

I_m	Luumen. Valovirran yksikkö, joka ilmaisee valon määrän.
U_0	Valaistusvoimakkuuden tasaisuus tarkastelutasolla.
U_{0min}	Valaistusvoimakkuuden tasaisuuden pienin arvo tarkastelutasolla.
UGR	<i>Unified Glare Rating</i> . Häikäisyindeksi.
UGR _L	<i>Unified Glare Rating Limit</i> . Häikäisyindeksin maksimiarvo.

1 Johdanto

Työn tavoitteena on tarkastella, millaisia asioita on syytä ottaa huomioon opetustilojen valaistussuunnittelussa. Opetusta pyritään kehittämään jatkuvasti, joten opetustilojen käyttö muuttuu ja se tuo uusia tarpeita valaistukselle ja sen ohjaukselle. Työssä tarkastellaan opetustiloihin sopivien LED-valaisimien ja ohjausjärjestelmien tekniikkaa, joka on myös kehittynyt viime vuosina.

Työn lopussa on esitelty esimerkkisuunnitelma luokkahuoneen valaistussuunnitelmasta, jossa on pyritty ottamaan huomioon tässä työssä esiteltyjä asioita. Esimerkkisuunnitelmaa varten luotiin kolmiulotteinen malli valaistuslaskelmia varten. Esimerkkisuunnitelmaan kuuluu valaisinten vertailua, valaistuslaskelmia ja sähkösuunnitteluun liittyvät suunnitelmat.

2 Opetustilojen valaistussuunnitteluun vaikuttavat tekijät

Tässä luvussa on tarkasteltu opetustilojen valaistussuunnittelun lähtökohtiin liittyviä asioita. Sisätilojen valaistussuunnittelua ohjaa suurelta osin standardi SFS-EN 12464-1 ”Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus”, jossa on määritelty valaistukselle erilaisia teknisiä tavoitearvoja. Opetustilojen valaistussuunnittelussa voidaan kuitenkin ottaa monia muitakin asioita huomioon, kuten opetustilojen monipuolistuneet käyttötarkoitukset ja valon biologiset vaikutukset oppilaisiin.

2.1 Standardi SFS-EN 12464-1

Standardi SFS-EN 12464-1 määrittelee valaistuksen määrällisiä ja laadullisia vaatimuksia sisätyöpaikoille [1, s. 10]. Standardi ei ole velvoittava, mutta siinä esitettyihin arvoihin on suositeltavaa pyrkiä suunnitelmissa. Standardista löytyy arvoja myös opetustilojen valaistukselle [1, s. 60]. Taulukossa 1 on esitetty erilaisten opetustilojen valaistusteknisiä arvoja, jotka tulisi saavuttaa. Taulukossa esitetty E_m on keskimääräinen valaistusvoimakkuuden ylläpitoarvo tarkastelutasolla [1, s. 16], esimerkiksi pulpetilla. Ylläpitoarvo tarkoittaa sitä että tarkastelutason keskimääräisen valaistusvoimakkuuden on pysyttävä koko valaistusjärjestelmän elinkaaren ajan vähintään taulukossa 1 esitetyllä tasolla [1, s. 16].

Taulukossa 1 esitetty UGR_L (Unified Glare Rating Limit) ilmaisee valaisimien UGR -häikäisyindeksin (Unified Glare Rating) maksimiarvon kyseisessä tilassa [1, s. 24]. Valaisinvalmistajat ilmoittavat usein, mikäli valaisimen häikäisyindeksi on 19 tai pienempi, jolloin se sopii lähes kaikkiin opetustiloihin.

Taulukossa 1 esitetty U_0 ilmaisee valaistusvoimakkuuden tasaisuuden vähimmäisarvon tarkasteltavalla alueella [1, s. 34]. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus tarkoittaa valaistusvoimakkuuden minimiarvon (E_{min}) suhdetta valaistusvoimakkuuden ylläpidettävään keskiarvoon (E_m) tarkasteltavalla alueella [2, s. 5].

Taulukko 1. Standardissa SFS-EN 12464-1 esitetty valaistusvaatimustaulukko. [1, s. 60].

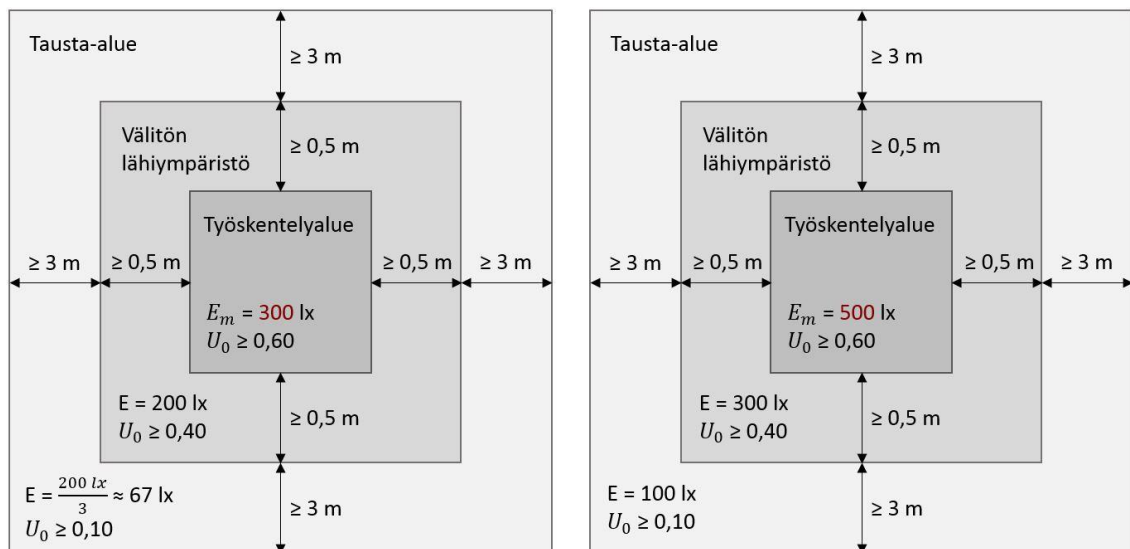
Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_0 –	R_a –	Erityisvaatimukset
5.36.1	Luokkahuoneet, opetustilat	300	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
5.36.2	Luokkahuoneet iltaikäytössä ja aikuisopiskelijoille	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
5.36.3	Auditorio, luentosali	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä erilaisiin A/V -tarpeisiin
5.36.4	Liitutaulut ja kirjoitustaulut	500	19	0,70	80	Suuntaheijastumisia on vältettävä Esiintyjä/opettaja on valaistava sopivalla pystysuoralla valaistusvoimakkuudella
5.36.5	Havaintopöytä	500	19	0,70	80	Luentosaleissa 750 lx
5.36.6	Piirustussalit	500	19	0,60	80	
5.36.7	Piirustussalit taidekoulussa	750	19	0,70	90	5 000 K < T_{CP} 6 500 K.
5.36.8	Teknisen piirustuksen salit	750	16	0,70	80	
5.36.9	Harjoitussalit ja laboratoriot	500	19	0,60	80	
5.36.10	Käsityöluokat	500	19	0,60	80	
5.36.11	Teknisen työn opetustilat	500	19	0,60	80	
5.36.12	Musiikkiluokat	300	19	0,60	80	
5.36.13	ATK-luokat (valikko-ohjaus)	300	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
5.36.14	Kielistudiot	300	19	0,60	80	

Tarkastelutason valaistusvoimakkuuden lisäksi myös välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen valaistusvoimakkuuksille on määritelty minimiarvot. Lähiympäristöllä tarkoitetaan vähintään 0,5 metrin aluetta työalueen ympärillä. Lähiympäristöllä tulisi olla vähintään taulukossa 2 esitetty valaistusvoimakkuus, joka määräytyy työalueen valaistusvoimakkuuden mukaan. Tausta-alueella tarkoitetaan vähintään kolmen metrin aluetta lähiympäristön ympärillä. Tausta-alueen valaistusvoimakkuuden tulisi olla 1/3 välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta. Valaistusvoimakkuuden tasaisuuden tulee olla lähiympäristössä vähintään 0,40 ja tausta-alueella 0,10. [1, s. 20–22.]

Taulukko 2. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde [1, s. 20].

Työalueen valaistusvoimakkuus E_{task} lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

Kuvassa 1 on esitetty valaistusvoimakkuudet ja tasaisuuksien minimiarvot eri alueilla, kun valaistusvoimakkuus työskentelyalueella on opetustiloille tyypillinen 300 ja 500 luksia. Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus voi olla kuvassa esitettyä suurempi, mutta tällöin myös tausta-alueen valaistusvoimakkuuden tulee olla suurempi.



Kuva 1. Valaistusvoimakkuudet ja tasaisuuksien minimiarvot eri alueilla, kun työskentelyalueen valaistusvoimakkuus on 300 tai 500 luksia.

Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan opetustilojen seinillä tulisi olla yli 75 luksin valaistusvoimakkuus ja valaistusvoimakkuuden tasaisuuden tulisi olla vähintään 0,10. Katossa valaistusvoimakkuuden tulisi olla 50 luksia ja tasaisuuden 0,10. [1, s. 16.]

Opetustilojen keskimääräisen sylinterivalaistusvoimakkuuden E_z tulisi olla vähintään 150 luksia ja vaakatason valaistusvoimakkuuden tasaisuuden U_0 vähintään 0,10. Sylinterivalaistusvoimakkuus mitataan 1,2 metrin korkeudelta istuvalle henkilölle ja 1,6 metrin korkeudelta seisovalle henkilölle. [1, s. 26.]

Standardissa SFS-EN 12464-1 on annettu ohjeet myös näyttöpäätetyötilojen valaistukseen. Tietokoneella suoritettavaan työhön sisältyy näytöltä lukemisen lisäksi myös painetun tekstin lukeminen, paperille kirjoittaminen ja näppäimistön käyttö. Näyttöpäätetyötilojen valaistustekniset arvot tulee valita standardissa esitettyjen tilavaatimusten mukaan. Taulukossa 3 on esitetty raja-arvot valaisimen keskimääräiselle luminanssille 65° :n ja sitä suuremmissa kulmissa luotilinjasta mitattuna tarkasteltaessa valaisinta kaikista suunnista valaisimen ympäriltä. [1, s. 30–32.]

Taulukko 3. Raja-arvot valaisimen keskimääräiselle luminanssille näyttöpäätetyötiloissa [1, s. 30–32].

Näytön kirkkaan tilan luminanssi	Suuriluminanssinen näyttö $L > 200 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Normaaliluminanssinen näyttö $L \leq 200 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$
Tapaus A (positiivinen polariteetti ja vaatimukset näytettävän informaation väreille ja yksityiskohdille tavanomaiset, kuten toimistokäytössä, opetuksessa jne.)	$\leq 3\,000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	$\leq 1\,500 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$
Tapaus B (negatiivinen polariteetti ja/tai korkeamat vaatimukset esitettävän informaation väreille ja etsityille yksityiskohdille, kuten CAD, värien tarkastelu jne.)	$\leq 1\,500 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	$\leq 1\,000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$

2.2 Kirjallisuus, sähkötietokortit ja muut ohjeet

Valaistussuunnittelun apuna voidaan käyttää Sähkötieto ry:n sähkötietokortteja eli ST-kortteja. Valaistukseen liittyviä ST-kortteja on päivitetty lähivuosina, joten kortteista löytyy nyt myös nykyaikaiseen tekniikkaan liittyvää tietoa. Taulukossa 4 on esitetty ST-kortteja, jotka voivat olla hyödyllisiä opetustilojen valaistussuunnittelussa.

Taulukko 4. ST-kortteja opetustilojen valaistussuunnittelun avuksi.

ST-kortti	Nimi	Päivitysvuosi
ST 57.40	Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät	2017
ST 58.02	Valaistuksen toteutus standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti	2017
ST 58.03	Valaistuslaskennan lähtötiedot ja laskennan tulosten arviointi	2017
ST 58.04	Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen	2017
ST 58.07	Valaistuksen laadun arviointi ja mittaus	2017
ST 58.08	Valonlähteet	2018
ST 58.16	Opetustilojen valaistus	2017
ST 58.31	Valonlähteiden säätö ja ohjaus	2016

Yksi hyödyllisimmistä ST-korteista opetustilojen valaistussuunnittelussa on ST 58.16 Opetustilojen valaistus. Kortissa esitellään perusopetuksen opetustilojen valaistussuunnittelussa huomioon otettavia asioita. Toinen hyödyllinen ST-kortti on ST 58.31 Valonlähteiden säätö ja ohjaus, jossa esitellään valaistuksen ohjaustapoja. ST-korteissa esitetyt valaistustekniset tavoitearvot ovat yleensä viittauksia standardissa SFS-EN 12464-1 esitettyihin arvoihin.

Saatavilla oleva suomalainen valaistusalan kirjallisuus painottuu vahvasti edelliselle vuosituhannelle. Tekniikan ja erityisesti LED-tekniikan kehittyminen on ollut 2000-luvulla nopeaa, joten vanhemmassa kirjallisuudessa käsitellään yleensä vain sellaisia valonlähteitä ja ohjaustapoja, jotka vaikuttavat nykypäivänä vanhanaikaisilta opetustilojen valaistukseen. Valaistustekniikan perusteet ovat kuitenkin samat kuin ennenkin, joten kirjallisuudesta on hyötyä erityisesti perusteiden opiskelussa ja kertaamisessa. Tekniikan nopeasta kehitymisestä johtuen valaisinvalmistajien internetsivuilta löytyy usein ajantasaista tietoa, mutta sitä tulee tarkastella kuitenkin kriittisesti. Suunnittelussa on otettava huomioon myös mahdolliset kaupunkien ja kuntien laatimat suunnitteluohjeet.

2.3 Opetushallituksen ohjeet ja säädökset

Peruskoulutason opetusta tarjoavien koulujen opetusmenetelmät uudistuvat ja kehittyvät tällä hetkellä kaikissa kouluissa uuden opetussuunnitelman takia. Koulurakennuksista pyritään saamaan oppimisympäristöinä avoimia, joustavia ja muunneltavia. Oppilaitoksista pyritään tekemään kuntalaisten yhteisiä monitoimikeskuksia, joissa voi olla esimerkiksi kunnan kirjastotilat, liikuntatilat ym. kulttuuritoimen tilat. [3.]

Luokkahuoneista pyritään vähentämään pulpetteja ja lisäämään esimerkiksi sohvia ja nojatuoleja. Opiskelua pyritään siirtämään pois luokkahuoneista auloihin, käytäville, kirjastoon sekä ruokalatoihin, joissa oppilaat voivat opiskella yksin tai ryhmissä. Luokkahuoneista halutaan tehdä monikäyttöisiä ja siitä syystä samassa luokkahuoneessa saatetaan opettaa esimerkiksi historiaa, matematiikkaa ja kuvataidetta. [4, s. 5.]

Koulujen tiloja käytetään monipuolisesti ja niitä käyttävät kaiken ikäiset ihmiset. Tästä johtuen valaistuksessa on huomioitava tilojen käyttäjien erilaiset tarpeet, esimerkiksi valaistusvoimakkuuksien suhteen. Standardissa SFS-EN 12464-1 luokkahuoneiden työkentelyalueelle määritelty valaistusvoimakkuus, 300 luksia, ei välttämättä riitä, mikäli tiloja käytetään myös erityistä tarkkuutta vaativien aineiden opetuksessa, tai tilaa käyttävät aikuisopiskelijat. Aulojen, käytävien ja muiden opiskeluun sopivien tilojen valaistuksen tulisi myös olla riittävä opiskeluun.

2.4 Valon biologiset vaikutukset

Valo ei ole pelkästään näkemisen edellytys, vaan myös tärkeä osa ihmisen vuorokausirytmien ohjausta [5]. Ihmisen vuorokausirytmien on 23 h 41 min–24 h 35 min (naisilla noin 24 h 5 min ja miehillä noin 24 h 11 min), eli ihmisen sisäinen kuskello jätättää yleensä. Etenkin murrosikäisillä ja talvella jätätys voimistuu [6, s. 15].

Ihmisen keskuskelloon voidaan vaikuttaa silmissä olevien gangliosolujen kautta, jotka reagoivat vahvasti siniseen valoon (noin 460 nanometriä). Keskuskelloon voidaan vaikuttaa tehokkaimmin valonlähteillä, joiden valon värilämpötila on 8000 kelviniä tai enemmän. [7.] Lämminsävyinen valo vaikuttaa ihmiseen rentouttavasti. Valon vaikutus ihmiseen on voimakkainta, kun valo tulee ylhäältä ja laaja-alaisesti, kuten auringonvalo. [8.]

Valon biologisten vaikutusten ansiosta useat valaisinvalmistajat ovat kehittäneet erilaisia järjestelmiä, joilla voidaan esimerkiksi säätää valaistuksen värilämpötilaa ja näin vaikuttaa ihmisen vireystilaan. Biologiset vaikutukset huomioon ottavaa valaistusta kutsutaan yleensä ihmiskeskeiseksi tai ihmislähtöiseksi valaistukseksi. Englanninkielinen nimitys on *human centric lighting*, lyhennettynä HCL. Ihmiskeskeisessä valaistuksessa valaistuksen värilämpötilaa ja valaistusvoimakkuutta säädetään yleensä aikaperusteisesti niin että se tukee ihmisen vuorokausirytmien. Opetustiloissa ohjaus voidaan toteuttaa myös

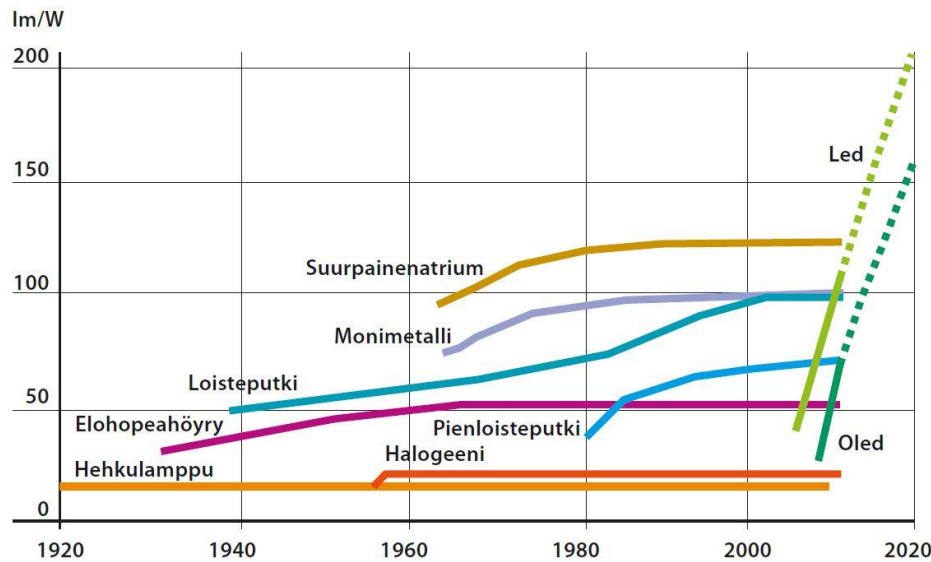
manuaalisesti, jolloin opettaja voi vaikuttaa oppilaiden vireystilaan väriämpötilaa ja valaistusvoimakkuutta säätämällä.

Valon vaikutusta oppimistuloksiin on tutkinut mm. Osram. Saksassa tehdyn tutkimuksen tulokset osoittavat luonnonmukaista valoa jäljittelevän keinovalaistuksen parantavan oppilaiden henkistä vireystilaa, muistia, suoritusnopeutta sekä keskittymiskykyä. Saksalaisessa koulussa toteutetussa tutkimuksessa luokkahuoneeseen asennettiin biologisesti optimoitu valaistus, jossa oli muun muassa epäsuoraa valoa, keinovaloksi huomattavan korkea väriämpötila ja luonnonvalon tapaan väriämpötilaa ja valaistusvoimakkuutta vaihtava säätöjärjestelmä. Positiivisia tuloksia selitti osaltaan valaistuksen vaikutus uni-rytmiin, jonka ansiosta oppilaat olivat tunneilla virkeämpiä. [7].

Fagerhult, Lundin yliopisto ja University College London toteuttivat yhdessä kokonaisen lukuvuoden kestäneen tutkimuksen ympäröivän valon vaikutuksista oppimiseen. Tutkimus toteutettiin Lontoossa sijaitsevalla ala-asteella vuosina 2009–2010. Kahteen testiluokkaan asennettiin uudet valaisimet, joilla saavutettiin seinä- ja kattopinnoille noin 300 luksin valaistusvoimakkuudet, kun kahdessa vertailuluokassa seinä- ja kattopinnojen valaistusvoimakkuudet olivat noin 120 luksia. Työskentelyalueiden valaistusvoimakkuudet olivat noin 500 luksia testiluokissa ja vertailuluokissa noin 300 luksia. Tutkimus osoitti että testiluokissa opiskelleet oppilaat voivat paremmin, työskentelivät tehokkaammin, olivat aamuisin virkeämpiä ja saavuttivat parempia tuloksia matematiikassa, lukemisessa ja kirjoittamisessa, etenkin vuoden pimeimpänä aikana. [9; 10, s. 2–3.]

3 Valaisimien valinnassa huomioitavat asiat

Tässä luvussa on kerrottu joitain seikkoja, joita voi ottaa huomioon luokkahuoneen valaisimia valitessa. Luokkahuoneiden yleisvalaistuksessa on perinteisesti käytetty loisteputkivalaisimia, mutta LED-valonlähteiden nopean kehittymisen ansiosta LED-valaisimet ovat vallanneet markkinat viime vuosien aikana. LED-valonlähteiden valotehokkuus (lm/W) on kohonnut jo loisteputkien valotehokkuuden yli ja kasvu tulee olemaan myös seuraavina vuosina erittäin nopeaa [11, s. 2]. Kuvassa 2 on esitetty eri valonlähteiden valotehokkuuden kehittyminen ja arvio LED-valonlähteiden tulevasta kehityksestä.



Kuva 2. Valonlähteiden valotehokkuuden kehittyminen [11, s. 1].

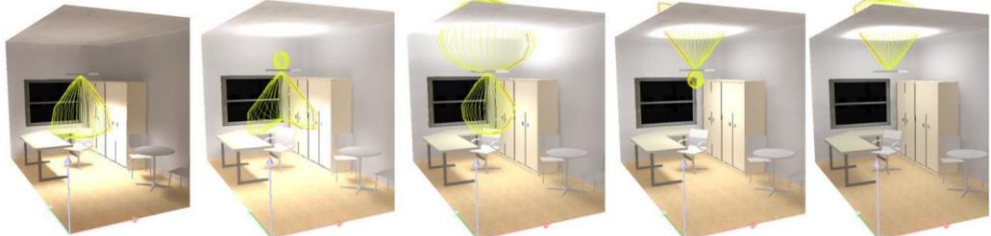
Taulukossa 5 on esitetty loiste- ja LED-lamppujen keskimääräisiä ominaisuuksia. LED-lamput eivät kuole, kuten loistelamput ja siitä syystä LED-lamppujen elinikä määritetään valovirran aleneman perusteella [11, s. 2]. Taulukossa 5 esitetyt polttoiät ovat LED-lampuilla keskimääräisiä polttoikiä ja loistelampuilla hyötypolttoikiä. LED-lamppujen valovirta alenee hitaasti käytön aikana ja se tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Alenema määritellään alenemakertoimen avulla, jossa on huomioitu lampun valovirran aleneman lisäksi elinikäkerroin, valaisimen alenemakerroin sekä huonepintojen alenemakerroin [12, s. 6]. Esimerkiksi DIALux Evo-valaistussuunnitteluohjelmassa alenemakerroin on valmiiksi oletusarvoisesti 0,8, mutta ohjelman asetuksista arvoa voidaan muuttaa ja laskelmissa käytettävä alenemakerroin voidaan määrittää myös tilan puhtaus ja puhdistusväli huomioiden.

Taulukko 5. Lamppujen keskimääräisiä ominaisuuksia [11, s. 9].

Lampputyyppi	Väriämpötila K	Värintoistoindeksi Ra	Valotehokkuus lm/W	Polttoikä h
T5-loistelamppu	2 700–6 500	80–95	90	24 000
T5-loistelamppu, long life	2 700–6 500	80–95	90	48 000
Lediputki	3 000–6 500	70–95	90–150	50 000–60 000
Ledimoduuli	2 000–6 500	80–95	130–150	30 000–100 000

3.1 Valonjako

Hyvin suunniteltu luminanssijakautuma helpottaa näkemistä ja luo tilavan tilavaikutelman. Luminanssijakautumaan voidaan vaikuttaa valaisimien valonjaolla, valaisimien sijoittelulla sekä pintamateriaalien heijastussuhteilla. [13, s. 30–31.] Kuvassa 3 on esitetty erilaisia valaisimien valonjakoa ja niiden ominaisuuksia. Kaikilla eri ratkaisuilla on omat hyvät ja huonot puolensa, joita tulee harkita valaisinta valitessa.



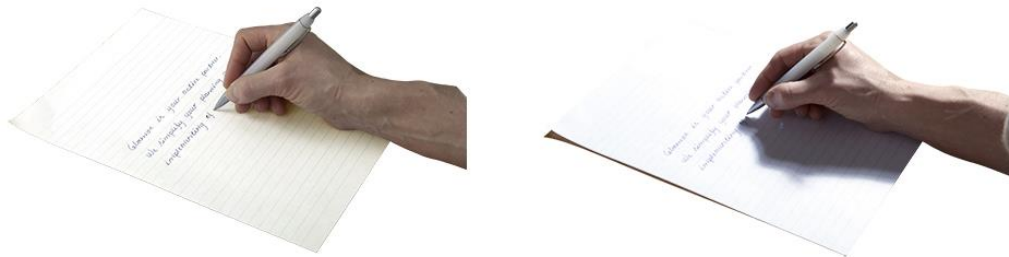
	Suora	Puolisuora	Suora/epäsuora	Puoliepäsuora	Epäsuora
W/m2	Hyvä	Erinomainen	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Välttävä
Valaisin	Huomaamaton	Sisustava	Sisustava	Sisustava	Sisustava
Näytöt	Max 15° kallistus	Max 15° kallistus	Max 15° kallistus	Max 15° kallistus	Myös vaakataso OK
Häikäisysoja	Kallis	Kallis	Vaihtoehtoja	Vaihtoehtoja	Ei häikäisysojaa
Kalusteet	Varjostaa	Varjostaa	Varjostaa	E varjosta	Ei varjosta
L tasaisuus	Huono	Tyydyttävä	Hyvä	Erinomainen	Hyvä
Joustavuus	Kohtuullinen	Kohtuullinen	Kohtuullinen	Heikko	Erinomainen
Kuvaus	Ahdas	Normaali	Ergonominen	Miellyttävä	Ulkotilamainen

Kuva 3. Valaisimen valonjaon vaikutus huonetilan valaistusolosuhteisiin [14, s. 10].

Epäsuoralla valaistuksella voidaan saavuttaa ulkotilamainen vaikutelma ja häikäisy on yleensä vähäistä, koska valonlähde ja valoaukko eivät ole nähtävissä. Näiden ominaisuuksien puolesta epäsuora valaistus sopisi hyvin nykyaikaiseen opetustilaan, jossa käytetään tietoteknisiä laitteita, joiden näytöistä heijastuu helposti korkealuminanssiset valonlähteet ja valoaukot. Täysin epäsuora valaistus tekee kuitenkin tilasta lattean ja mielenkiinnottoman sekä huonontaa muodonantoa [13, s. 48]. Täysin epäsuorasta valaistuksesta aiheutuva hajavalon huonontaa varjonmuodostusta ja muodonantoa, jonka seurauksena tilan ja esineiden kolmiulotteinen hahmottaminen heikkenee [13, s. 48].

Täysin suora valaistus voi aiheuttaa häikäisystä ja tila voi tuntua ahtaalta. Täysin suoraa valaistusta käytettäessä seinä- ja kattopinnat voivat jäädä pimeiksi. Kuvassa 4 on esitetty

suoran ja hajavalon ero paperille kirjoitettaessa. Hajavalo vähentää kädestä aiheutuvaa varjoa ja estää heijastumista [15].



Kuva 4. Suoran ja hajavalon vaikutus näköolosuhteisiin kirjoitettaessa. Vasemmalla hajavalo ja oikealla suora valo [15].

3.2 Valaisimista aiheutuva häikäisy

Opetustiloista on tullut monikäyttöisiä, joten suunnittelijan tulee huomioida että opetustiloissa opiskelijoiden katselusuunta vaihtelee, opetettavat aineet vaihtelevat ja opiskelijoiden työskentelyvälineinä ei välttämättä ole vain kynä ja paperia. Tietokoneiden ja muiden tietoteknisten laitteiden käyttö oppitunneilla lisääntyy, joten valaistus tulee suunnitella mahdollisimman häikäisemättömäksi kaikissa tiloissa. Häikäisyn kannalta kaikkia opetustiloja tulisi käsitellä standardin SFS-EN 12464-1 mukaisina näyttöpäätetyötiloina [4, s. 6]. Häikäisy on jaettu valaistustekniikassa usein eri häikäisytyyppeihin, joilla on omat määritelmänsä.

Suora häikäisy aiheutuu näkökentässä olevasta valonlähteestä [16, s. 412–413]. Valaistuksen tulisi olla opetustiloissa mahdollisimman häikäisemätöntä kaikkiin suuntiin, koska opetus voidaan toteuttaa periaatteessa mistä suunnasta tilaa tahansa ja pulpetit voidaan asettaa muuhunkin järjestykseen, kuin perinteisiin suoriin riveihin. Peilimäisen pinnan kautta silmiin heijastuvan suuriluminanssisen valonlähteen aiheuttamaa häikäisyä kutsutaan *heijastushäikäisyksi* [16, s. 412–413].

Harsoheijastuminen tarkoittaa heijastumista, jossa valonlähde heijastuu näkökohteesta ja estää osittain tai kokonaan kohteen näkemisen alentamalla kontrastia. Esimerkiksi valkoiselle paperille lyijykynällä kirjoitettu teksti voi näkyä erittäin huonosti, koska harsoheijastumisessa tekstin luminanssi kasvaa suuremmaksi ja tästä johtuen kontrasti laskee [16, s. 412–414].

Kiusahäikäisyksi kutsutaan häikäisyä, joka häiritsee näkemistä ja aiheuttaa subjektiivista epä mukavuuden tunnetta. Kiusahäikäisy johtuu suurista luminansseista ja luminanssieroista. [16, s. 414.]

Sisätilojen kiusahäikäisyä arvioidaan UGR-kiusahäikäisyindeksin avulla. Häikäisy on sitä voimakkaampaa, mitä suurempi UGR-indeksi on. [17, s. 2.] UGR-indeksin mahdolliset arvot ovat välillä 10–28. Standardin SFS-EN 12464-1 taulukoissa esitetyt UGR-indeksin tilakohtaiset maksimiarvot on annettu kolmen yksikön portaissa (16, 19, 22, 25 ja 28) [18, s. 4]. Kiusahäikäisyn arviointi UGR-indeksin avulla ei kuitenkaan onnistu kaikissa tilanteissa. UGR-indeksi ei sovellu epäsuoran valaistuksen, valokattojen tai ikkunoista tulevan luonnonvalon aiheuttaman häikäisyn arvioimiseen. UGR-indeksiä ei voida käyttää myöskään silloin, kun valaisimen valoaukko on epätasaisesti valottunut, kuten joissain LED-valaisimissa. Epätasainen valoaukon valottuminen aiheuttaa UGR-indeksiä laskettaessa liian pienen häikäisyarvon. [ST 58.02, s. 3–4.]

Kiusahäikäisyä voidaan vähentää epäsuoralla valaistuksella ja käyttämällä valaisimia, joissa on hyvin toimivat häikäisy-suojat [4, s. 6]. LED-valaisimet ovat kehittyneet valotehokkuuden lisäksi myös valonjaon ja häikäisy-suojausratkaisujen suhteen [11, s. 5]. Tällä hetkellä LED-valaisimissa käytetään usein mikroprismahäikäisy-suojia, koska parhaimmillaan ne vähentävät häikäisyä tehokkaasti. Kaikkien valaisinvalmistajien tuotteet eivät kuitenkaan täytä häikäisyn rajoittamiseen liittyviä suositusarvoja [4, s. 6]. Mikroprismahäikäisy-suojia perustuu akryylilevyyn tehtyihin pieniin prismoihin, jotka ohjaavat valon valaisimesta ulos halutulla tavalla [46].

Kiusahäikäisy voi aiheutua myös väärin suunnatusta tai asennetusta valaisimesta. Opetustiloissa valaisimet tulee sijoittaa niin että ne eivät aiheuta suuria luminanssieroja näkökentässä oleville alueille. Esimerkiksi tumman liitutaulun yläpuolelle väärään korkeuteen asennettu tauluvalaisin voi aiheuttaa suuren luminanssieron, kun tauluvalaisimesta tuleva valo osuu myös vaalealle seinäpinnalle.

Estohäikäisy on häikäisyä, joka heikentää näkemistä tai estää sen kokonaan. Estohäikäisy aiheutuu silmän verkkokalvolle tulevan kuvan päälle syntyvästä harsoluminanssista, joka pienentää kuvan kontrasteja. [16, s. 414.] Opetustiloissa estohäikäisyä ei pitäisi aiheutua opetustilojen normaalissa käytössä ja siihen tulisi pyrkiä valaisinvalinnoilla ja valaisinten sijoittelulla. Liikuntasaleissa pelattavissa pallopeleissä katse kulkee usein

kohti kattoa, joten suunnittelussa on otettava huomioon myös muista opetustiloista poikkeava katselusuunta [4, s. 9]. LED-valaisimien myötä häikäisyä on usein hyödyllistä tarkastella mallivalaisimien tai malliasennuksien avulla [4, s. 6].

3.3 Värilämpötila

Värilämpötila ilmoittaa valon värisävyä. Valonlähteiden valon värilämpötila on yleensä 2700 ja 6500 kelvinin välillä. Alle 3300 kelvinin värilämpötilaa pidetään yleensä lämpimänä ja 3300–5300 kelvinin värilämpötilaa neutraalin valkoisena. Yli 5300 kelvinin värilämpötilaa pidetään yleensä kylmäsävyisenä. [18, s. 3.]

Suurin osa markkinoilla olevista LED-valaisimista on saatavilla 3000 ja 4000 kelvinin värilämpötilalla. Julkisissa tiloissa käytetään usein valaistuksen värilämpötilana 4000 kelviniä ja se on perusteltua kouluissa mm. sen piristävän vaikutuksen ansiosta verrattuna 3000 kelviniin. Nykyään markkinoilta löytyy myös valaisimia, joiden värilämpötilaa voidaan säätää. Värilämpötilan säädöllä varustetut valaisimet ovat usein LED-valaisimia, joissa on kahta eri värilämpötilaa olevia LED-komponentteja, joiden keskinäistä suhdetta säädetään [19, s. 3]. Valaisimia joiden värilämpötilaa voidaan säätää, hyödynnetään erityisesti ihmiskeskeisessä valaistuksessa, jossa pyritään vaikuttamaan ihmiseen eri värilämpötilojen vaikutuksia hyödyntämällä.

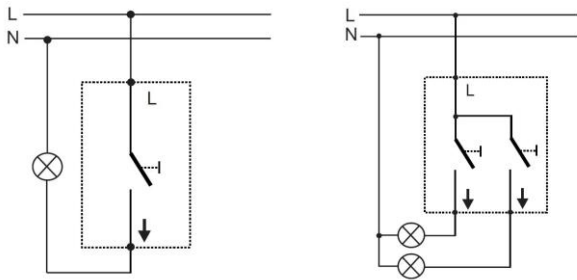
4 Valaistuksen ohjaus

4.1 Päälle-pois-ohjaus

Perinteisesti valaistusta on ohjattu kytkimillä ja painonapeilla yksinkertaisesti päälle ja pois. Ohjaustapa on yksinkertainen ja investointikustannuksiltaan halpa ratkaisu, joka ei vaadi välttämättä kytkimen lisäksi ohjauskomponentteja, erillisiä ohjauskaapelointeja valaisimille tai ohjausjärjestelmän ohjelmointia. Tekniikan kehittyessä ja energiatehokkuusvaatimusten tiukentuessa uudemmilla ohjaustavoilla voidaan kuitenkin päästä ympäristöystävällisempiin ja kokonaiskustannuksiltaan alhaisempiin ratkaisuihin.

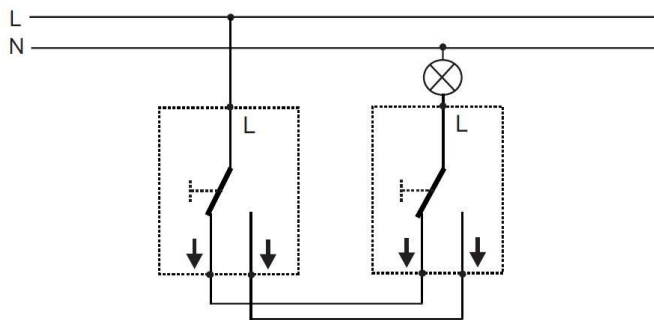
Kuvissa 5, 6 ja 7 on esitetty yleisimpiä valaistuksen ohjauskytkentöjä. Kuvassa 1 on esitetty ohjaus 1- ja 5-kytkimellä. 1-kytkimellä toteutetulla ohjauksella (vasemmalla) voidaan

ohjata yhtä valaistusryhmää päälle ja pois. 5-kytkimellä toteutetulla ohjauksella voidaan ohjata kahta valaistusryhmää päälle ja pois.



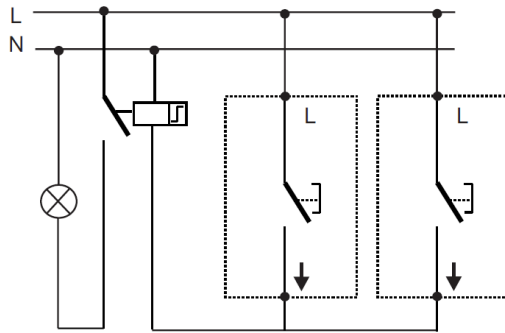
Kuva 5. Valaistuksen ohjaus 1-kytkimellä vasemmalla ja 5-kytkimellä oikealla [20].

Kuvassa 6 on esitetty ohjauskytkentä käyttäen kahta 6-kytkintä. Ohjauksella voidaan ohjata yhtä valaistusryhmää kahdesta eri paikasta päälle ja pois. Tätä ohjaustapaa voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun halutaan ohjata luokan etuosan valaistusta päälle ja pois sekä oven luota että liitutaulun vierestä.



Kuva 6. Valaistuksen ohjauskytkentä kahdella 6-kytkimellä [20].

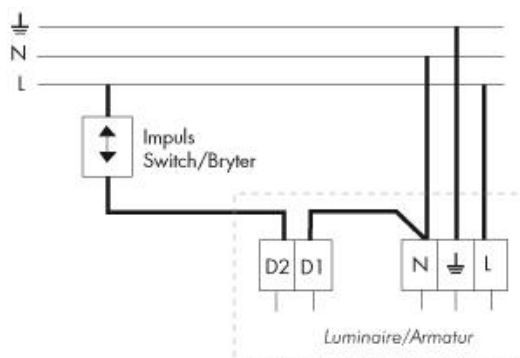
Kuvassa 7 on esitetty valaistuksen painonappiohjaus. Painonappiohjauksessa painonapeilla ohjataan sähkökeskukseen asennettua sysäysrelettä, joka ohjaa valaistusta. Painonappiohjaus sopii hyvin isoihin tiloihin, joissa halutaan ohjata valaistusta monesta eri paikasta. Painonapeissa on usein myös merkkivalo, joka auttaa painikkeen löytämistä pimeässä.



Kuva 7. Valaistuksen ohjaus painonapeilla [21].

4.2 Suora painikeohjaus

Suora painikeohjaus on yksinkertainen ja edullinen tapa ohjata elektronisia liitännälaitteita. Ohjaus tapahtuu painonapilla, josta lähtee valaisimelle yksi tai kaksi johdinta, valmistajasta riippuen [22, s. 501]. Valaistus sytytetään ja sammutetaan nopealla painalluksella. Pidemmällä painalluksella valaistusta voidaan säätää. Painonappeja voi olla rajaton määrä rinnakkain. Suoraa painikeohjausta käytettäessä liitännälaitteiden tulee olla saman valmistajan tuotteita, koska eri valmistajien liitännälaitteiden yhteensopivuutta ei ole tutkittu [19, s. 8]. Kuvassa 8 on esitetty Fagerhultin käyttämän switchDIM-suorapainikeohjauksen periaatekuva.

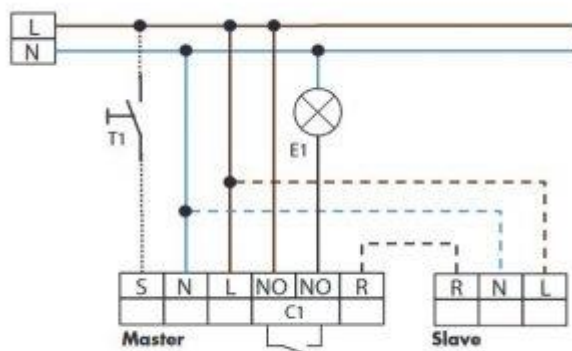


Kuva 8. Fagerhultin switchDIM-suorapainikeohjauksen periaatekuva [23].

Useampaa valaisinta ohjattaessa suoralla painikeohjauksella valaisimet voivat mennä epäsynkroniin, eli valaisimet palavat eri voimakkuuksilla. Valaisimet saadaan synkronoitua vain sammuttamalla sähköt kokonaan pois valaisimista. [19, s. 6.]

4.3 Läsnaolo-ohjaus

Läsnaolo-ohjaus voidaan toteuttaa läsnäolotunnistimilla, jotka havaitsevat tilassa liikkuvat ihmiset. Läsnaolo-ohjauksella voidaan saavuttaa jopa 30 % energiansäästö. [19, s. 13.] Läsnaolotunnistinta valitessa tulee ottaa huomioon tilan korkeus ja valvottava alue. Läsnaolotunnistimelle on asetettava riittävän pitkä viiveaika, jonka jälkeen tunnistin sammuttaa valot. Viiveajalle ei ole määritetty suositusta LED-valaisimia käytettäessä, mutta esimerkiksi loisteputkivalaisimille suositus on 15 minuuttia. [19, s. 12.] Kuvassa 9 on esitetty päälle-pois-läsnaolotunnistimen kytkentäkaavio. Joihinkin tunnistimiin voidaan liittää ns. orjatunnistin (englanniksi slave), jonka avulla valvottavaa aluetta voidaan laajentaa. Läsnaolotunnistimissa voi olla erilaisia manuaalisia ohjausmahdollisuuksia painonappien avulla. Kuvassa 9 on esitetty katkoviivalla johdotus painonapille ja orjatunnistimelle, jotka voidaan lisätä tunnistimeen tarvittaessa.



Kuva 9. B.E.G Luxomat PD4-M-1C-läsnaolotunnistimen kytkentäkaavio [24].

Nykyään markkinoilta löytyy erilaisiin tiloihin optimoituja läsnäolotunnistimia. Esimerkiksi luokkahuoneisiin, korkeisiin tiloihin ja käytäville on olemassa omat mallinsa. Perinteisten päälle-pois-läsnaolotunnistimien lisäksi on olemassa myös digitaalisiin valaistuksenohjausjärjestelmiin liitettäviä malleja. [25, s. 1.]

Nykyään markkinoilta löytyy myös tunnistimia, jotka sisältävät läsnäoloanturin sekä vakiovaloanturin. Kyseisellä ratkaisulla voidaan säästää energiaa jopa 70 prosenttia verrattuna perinteiseen päälle-pois-ohjaukseen. [19, s. 3.]

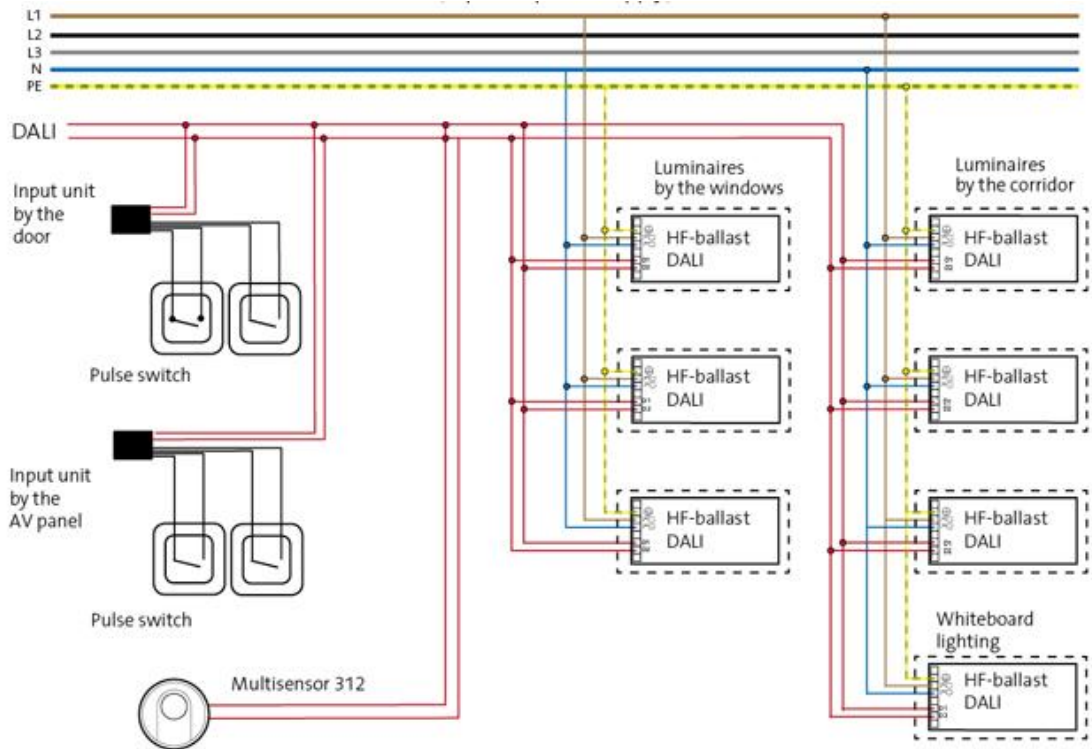
Läsnäolo-ohjauksella voidaan toteuttaa myös poissaolo-ohjaus ja poissaolovalaistus. Poissaolo-ohjaus tarkoittaa ohjaustapaa, jossa valot sytytetään käsin ja tunnistin sammuttaa ne automaattisesti asetetun viiveen jälkeen. Poissaolovalaistus tarkoittaa ohjaustapaa, jossa valaistus himmennetään tietylle tasolle, kun tunnistin ei ole havainnut liikettä asetetun ajan sisällä. [19, s. 13.]

4.4 Vakiovalo-ohjaus

Vakiovalo-ohjauksella pyritään energiansäästöön hyödyntämällä luonnonvaloa. Vakiovalo-ohjaus pyrkii pitämään huonetilan valaistuksen vähintään tunnistimeen asetetulla tasolla. Tunnistin himmentää keinovalaistusta, mikäli huonetilaan tulee esimerkiksi luonnonvaloa niin paljon että tilan valaistusvoimakkuus ylittää asetetun tason. Vakiovalo-ohjaus voidaan toteuttaa erillisellä anturilla, tai se voi olla sisäänrakennettuna valaisimessa. Usein vakiovalo-ohjatussa valaistuksessa käytetään myös läsnäolotunnistusta, joka lisää entisestään energiansäästöä. Vakiovalo-ohjauksen tunnistin ohjaa valaisimia joko analogisesti tai digitaalisesti. [19, s. 12.]

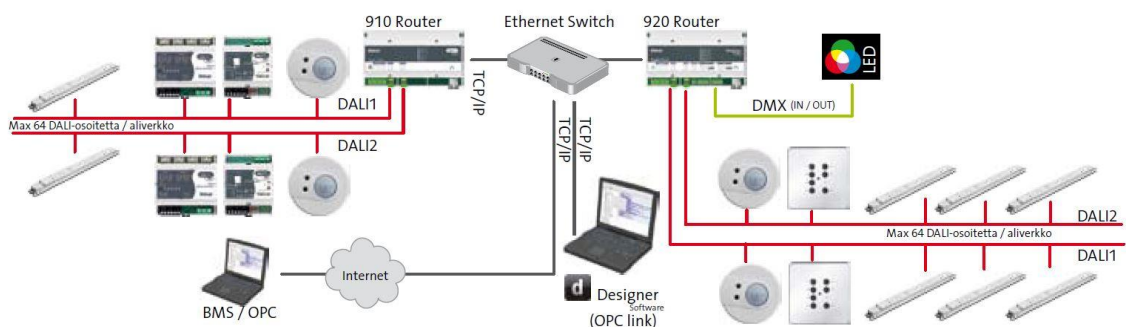
4.5 DALI-ohjaus

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on valaistuksen ohjaukseen luotu digitaalinen ohjausperiaate. DALI on tällä hetkellä yleisin valaistuksen ohjausperiaate [26]. DALI-järjestelmän ohjausväylään voidaan liittää mm. valaisimia, ohjauspaneeleita, antureita ja ohjauslaitteita, joilla jokaisella on oma osoitteensa. Yhdessä DALI-väylässä on käytettävissä 64 eri osoitetta. DALI-väylässä voi olla valaistuksen ohjausryhmiä ja valaistustilanteita 16 kappaletta. Valaisimien ryhmittely ja ohjelmointi toteutetaan yleensä tietokoneella. DALI-väylän kaapelointi sietää hyvin häiriöitä, joten kaapelointi voidaan toteuttaa samassa kaapelissa, jossa kulkee verkkojännitteiset johtimet. Väyläkaapelin maksimipituus on 300 metriä. [22, s. 500–502.] Kuvassa 10 on esitetty osoitteellisen DALI-järjestelmän kytkentäkaavio. Kuvassa olevat DALI-ohjattavat valaisimet on jaettu kolmeen ryhmään, jotta valaistusta voidaan ohjata erillisissä ohjausryhmissä.



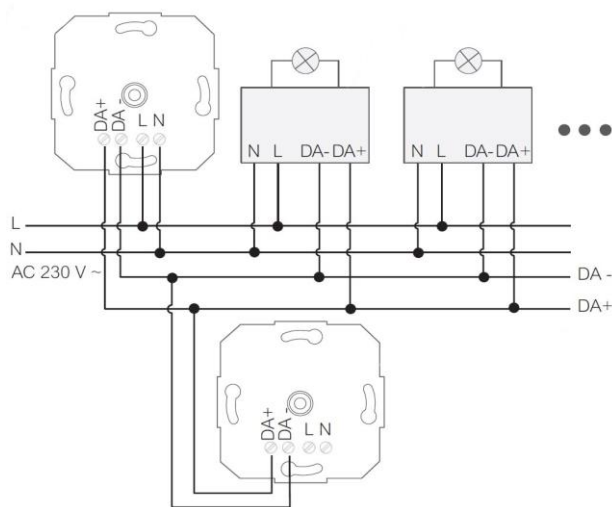
Kuva 10. Osoitteellisen DALI-järjestelmän kytkentäkaavio [27].

DALI-järjestelmää voidaan kasvattaa liittämällä useampi DALI-reititin yhteen Ethernetin välityksellä. Kuvassa 11 on esitetty esimerkki DALI-reititinjärjestelmästä, jossa on kaksi reitintä, jotka on liitetty yhteen kytkimen avulla. Kuvan esimerkissä kytkimeen on liitetty myös kaksi tietokonetta, joista toisella voidaan hallita ja valvoa DALI-järjestelmää internetin välityksellä. DALI-järjestelmä voidaan liittää kiinteistöautomaatiojärjestelmiin (esim. LonWorks). Eri valmistajien DALI-laitteita voidaan yhdistää, mutta ohjauslaitteet eivät ole välttämättä yhteensopivia. [22, s.500–502.]



Kuva 11. Esimerkki DALI-reititinjärjestelmästä [22, s. 505].

Osoitteellinen DALI-järjestelmä vaatii ohjelmointia. Ohjelmointia ei kuitenkaan tarvita, mikäli halutaan ohjata kaikkia väylään liitettyjä valaisimia samanaikaisesti. Tällöin käytetään osoitteetonta DALI-ohjausta, jota kutsutaan DALI-broadcastiksi. [19, s. 15.] DALI-broadcast mahdollistaa esimerkiksi yksittäisen luokkahuoneen valaistuksen ohjauksen ilman reititintä ja ohjelmointityötä. Kuvassa 12 on esitetty DALI-broadcastin toimintaperiaate, kun valaistusta halutaan ohjata kahdella valonsäätimellä. Markkinoilta löytyy erilaisia DALI-broadcast-valonsäätimiä ja niissä voi olla säädön lisäksi myös esimerkiksi värilämpötilansäätö.



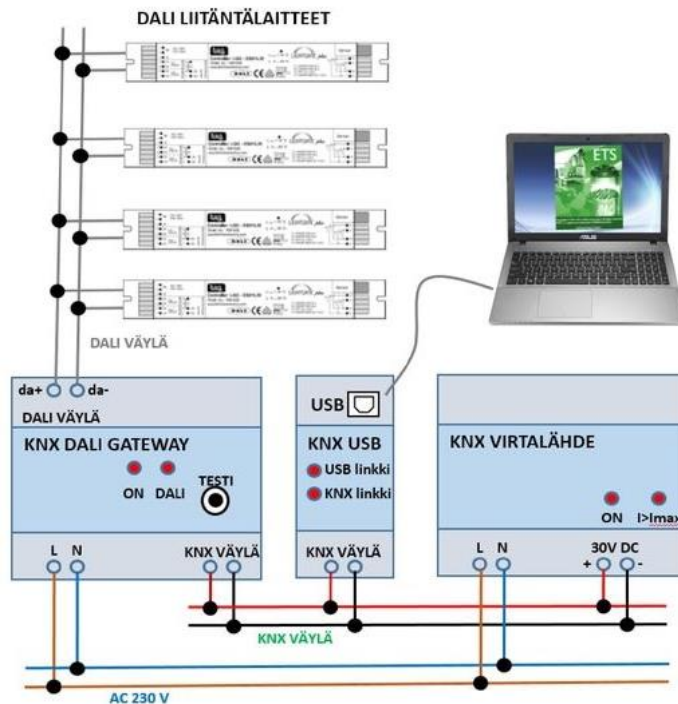
Kuva 12. DALI-broadcast-ohjaus kahdella valonsäätimellä [28].

DALI 2 on DALI-standardille tehty laajennus. DALI 2:ssa on monia parannuksia verrattuna perinteiseen DALI:iin. Laajennus määrittelee mm. yhdenmukaisen toimintatavan ohjauslaitteille, joten ohjauslaitteiden tulisi olla keskenään yhteensopivia eri valmistajien kesken. DALI 2:n mukaisella järjestelmällä voidaan myös ohjata helposti valaisimien valon värilämpötilaa ja väriä. [19, s. 15–17.]

4.6 KNX-ohjaus

KNX on avoin standardi, jonka avulla voidaan toteuttaa kiinteistöjen sähkölaitteiden ohjauksia [29, s. 11]. KNX-järjestelmää käytetään yleisimmin valaistuksen ohjaukseen. Sillä voidaan ohjata myös rakennuksen muitakin järjestelmiä, kuten kaihtimia, markiiseja, lämmitystä, jäähdytystä ja ilmanvaihtoa. [29, s. 25–28.] Käytettäessä KNX:ää säädettä-

vien valaisimien ohjaukseen on käytettävä esim. DALI-yhdyskäytävää, joka muuntaa digitaalisen ohjaussanoman KNX:stä DALI-muotoon, jota DALI-ohjattava valaisin ymmärtää. Kuvassa 13 on esitetty KNX-DALI-yhdyskäytävän (englanniksi gateway) liitäntäperiaate.



Kuva 13. KNX-DALI –yhdyskäytävän (gateway) liitäntäperiaate [30, s. 2].

KNX-järjestelmässä laitteiden välillä kulkeva tieto kulkee väylää pitkin, jonka enimmäismitta on 600 metriä. Väyläkaapeloinnissa käytettävän kaapelin tyyppi on YCYM 2x0,8, mutta Suomessa osa laitevalmistajista hyväksyy myös KLMA 2x0,8-kaapelin käytön. KNX-järjestelmä edellyttää ohjelmointia. Ohjelmointi tehdään ETS-ohjelmalla, jonka käyttö on sertifioitu ja sen takia edellyttää koulutusta ja hyväksyttyä tutkintoa. [19, s. 19–20.]

4.7 DSI-ohjaus

DSI (Digital Serial Interface) on Tridonicin vuonna 1992 kehittämä digitaalinen, osoitteeton valaistuksen ohjaustapa [31]. DSI:tä ei ole standardoitu ja se on käytössä vain Tridonicilla. DSI:n kaksijohtiminen ohjausväyläkaapeli voi olla enintään 250 metriä pitkä.

Digitaalisuudesta huolimatta DSI on osoitteeton, eli kaikki väylään liitetyt valaisimet ohjautuvat väylässä kulkevan ohjaussanoman mukaisesti. DSI-ohjausta vastaava ohjaus voidaan toteuttaa DALI- ja KNX-järjestelmillä, jolloin järjestelmä on osoitteellinen ja monen valmistajan järjestelmä. [19, s. 14.]

4.8 DMX-ohjaus

DMX (Digital Multiplex) on digitaalinen, osoitteellinen ohjaustapa, jota käytetään lähinnä esitysteknisissä järjestelmissä. DMX-väylässä on 512 osoitetta. Ohjaus tapahtuu valopöydästä, johon voidaan tallentaa valaistustilanteita. [19, s. 20.] Muita valaistuksenohjausjärjestelmiä voidaan liittää DMX-väylään, jolloin esimerkiksi juhlasalin DALI-ohjattua yleisvalaistusta voidaan ohjata suoraan valopöydästä.

4.9 1-10 V -ohjaus

1-10 V -ohjaus on standardissa EN 60929 määritelty analoginen ohjaustapa. Analogisuudesta johtuen ohjausjohtimiin kytketyt valaisimet toimivat yhtenä ryhmänä. 1-10 V -ohjausta vastaava ohjaus voidaan toteuttaa myös DALI- sekä KNX-järjestelmillä. Ohjausjohtimien maksimipituus on 300 metriä, mutta suunnittelijan on huomioitava että ohjausjohtimien pituus voi vaikuttaa säätöön. Järjestelmä ei tarvitse ohjelmointia. [19, s. 14.]

4.10 EnOcean-ohjaus

EnOcean on kansainvälinen langaton ohjausstandardi. EnOceania hyödyntäviä ohjauslaitteita ovat mm. painikkeet, läsnäoloanturit ja valoisuusanturit. EnOcean-laitteet eivät tarvitse paristoja tai kaapelointia, vaan tarvittava energia tuotetaan esimerkiksi painikkeissa kineettisellä energialla. EnOceanilla toteutettu ohjaus tarvitsee vastaanottimen, joka kytketään esimerkiksi KNX- tai DALI-väylään, jota pitkin ohjaus siirtyy valaisimille. [19, s. 10.] Kytkimien ja vastaanottimen välinen etäisyys voi olla noin 30 metriä esteettömässä tilassa [32, s. 2]. EnOcean käyttää Euroopassa 868 MHz:n radiotaajuutta [19, s. 10].

4.11 ZigBee-ohjaus

ZigBee on lyhyen kantaman langaton tietoliikennesovellus, jota käytetään myös valaistuksen ohjauksessa. ZigBeetä käytetään mm. Philipsin Hue-järjestelmässä sekä Fagerhultin eSense-järjestelmässä. Fagerhultin eSense-järjestelmässä ZigBeetä käytetään isäntävalaisimen ja orjavalaisimien väliseen yhteydenpitoon. ZigBee käyttää 868 MHz:n radiotaajuutta. [19, s. 11].

4.12 Bluetooth-ohjaus

Bluetooth on alun perin matkapuhelimien, tietokoneiden ja oheislaitteiden välille kehitetty langaton tiedonsiirtotapa. Bluetoothia käytetään nykyään myös valaistustekniikassa IR-ohjauksen korvaajana. Esimerkiksi Fagerhult käyttää Bluetoothia eSense-järjestelmässään käyttöliittymän ja isäntävalaisimen väliseen tiedonsiirtoon. Perinteisen kahden laitteen välisen tiedonsiirron mahdollistavan Bluetoothin lisäksi on olemassa Bluetooth Mesh, jonka avulla valaisimet voivat siirtää tietoa suoraan keskenään. [19, s. 11.]

4.13 Itseoppiva valaistus

Viime vuosina markkinoille on tullut valaisimia, jotka hyödyntävät tekoälyä ja osaavat ohjata itseään oppimansa perusteella. Esimerkiksi Helvarin ActiveAhead-järjestelmää käyttävät valaisimet linkittyvät toisiinsa Bluetooth Meshin avulla ja tarkkailevat yhdessä tilassa tapahtuvaa liikettä. Järjestelmän valaisimet oppivat viimeistään muutaman päivän jälkeen tilan käytön ja osaavat säätää valaistuksen oikeaan aikaan sopivalle tasolle. Oppiminen on jatkuvaa ja esimerkiksi erilaiset tilamuutokset opitaan automaattisesti. Järjestelmää voidaan hallita älypuhelimella, mutta järjestelmä ei tarvitse sitä toimiakseen. Älypuhelimella voidaan hienosäätää valaisimien parametreja ja luoda valaistusryhmiä. [33.]

4.14 Ihmiskeskeisen valaistuksen ohjaus

Ihmiskeskeisellä valaistuksella pyritään luomaan luonnonmukainen valaistus, joka huomioi valon vaikutukset ihmiseen. Valaistusalalan yrityksillä on omat tapansa luoda ihmiskeskeistä valaistusta. Usein järjestelmät ovat DALI-ohjattavia, mutta ohjausjärjestelmiin voi kuulua myös langattomia ohjaustapoja. DALI-järjestelmän avulla valaistus voidaan toteuttaa automaattisesti ohjautuvaksi tai sitä voidaan hallita DALI-väylään liitettyllä ohjauspaneelilla. Ohjauspaneelilla ohjattaessa valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa voidaan säätää manuaalisesti, tai ohjelmoitujen valaistustilanteiden avulla. Opettaja voi esimerkiksi pyrkiä vaikuttamaan oppilaiden aktiivisuustasoon ja keskittymiskykyyn erilaisten ennalta määriteltujen valaistustilanteiden avulla. Taulukossa 6 on esitetty Glamoxin esimerkki luokkahuoneen valaistustilanteista, joita opettaja voi hallita painonappien avulla.

Taulukko 6. Glamoxin esimerkki luokkahuoneen valaistuksen valaistustilanteista [34].

	Ensimmäinen oppitunti	Loppupäivä	Keskittyneen työn aikana	Rentoutumisen aikana
Valaistusvoimakkuus E_m (työskentelyalue)		300 lx		300 lx
Sylinterivalaistusvoimakkuus E_z (1,2 m), 6500 K	350 lx		350 lx	
Värilämpötila	6500 K	3000/4000 K	6500 K	2700 K

4.15 Valaistuksen ohjaus opetustiloissa

Suurimmilta valaisinvalmistajilta löytyy nykyään DALI-ohjattavat versiot lähes kaikista luokkahuoneisiin sopivista valaisimista. Useimmiten valaisimia voidaan säätää lähinnä suoralla painonappiohjauksella tai DALI:lla. Muilla tavoilla säädettäviä LED-valaisimia on hyvin vähän. DALI sopii opetustilojen valaistuksen ohjaukseen hyvin, koska sen avulla voidaan toteuttaa standardissa SFS-EN 12464-1 mainittu valaistuksen säädettävyys. DALI:n hyviä puolia ovat myös järjestelmän osoitteellisuus ja valaistustilanteet, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi juhlasaleissa ja auditorioissa, joissa valaistustilanteilla voidaan helposti muuttaa valaistusta. DALI:n osoitteellisuus voidaan nähdä ongelmallisena, koska muutokset valaistusasennuksissa vaativat ohjelmointia. Osoitteellisuus tuo kuitenkin paljon mahdollisuuksia valaistuksen ohjaukseen, kun ajatellaan automaation tuomia etuja ja mahdollisuuksia.

5 Erityyppisten opetustilojen valaistussuunnittelu

Tässä luvussa on kerrottu asioita, jotka kannattaa ottaa huomioon opetustilojen valaistussuunnittelua tehdessä. Erilaiset opetustilat on jaettu omiin alalukuihinsa, joissa on esitelty erilaisia huomioon otettavia asioita.

Monissa opetustiloissa on liitu- ja tussitauluja, jotka tarvitsevat myös valaistusta. Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan liitu- ja kirjoitustauluilla tulisi olla 500 luksin valaistusvoimakkuus. Valaistus saadaan toteutettua parhaiten käyttämällä valaisimia, joissa on epäsymmetrinen valonjako, joka suuntautuu taulujen alareunaan saakka [4, s. 3].

Tavalliset luokkahuoneet

Luokkahuoneista pyritään tekemään monikäyttöisempiä kuin ennen, joten valaistussuunnittelussa on hyvä ottaa huomioon kaikki mahdolliset käyttötarkoitukset. Luokkahuoneissa voidaan järjestää esimerkiksi käsityön tai kuvaamataidon tunteja, jolloin suunnittelijan kannattaa harkita korkeampaa valaistustasoa, kuin perinteiseen luokkahuoneeseen vaadittu 300 luksia. Luokkahuoneita saattaa käyttää myös aikuisopiskelijat, jotka tarvitsevat myös korkeamman valaistusvoimakkuuden työskentelyalueelleen.

Luokkahuoneiden valaistuksen tulee olla standardin SFS-EN 12464-1 mukaan säädettävä. Tämä voidaan toteuttaa monella eri tavalla, esimerkiksi käyttämällä ohjausjärjestelmänä DALI:a. Luokkahuoneen valaistus kannattaa jakaa moneen ohjausryhmään, jotta esimerkiksi luokan etuosan valaistusta voidaan himmentää, kun opettaja käyttää videotykkiä. Luokan etuosan valaistusta tulisi voida ohjata myös luokan etuosasta, jolloin opettajan ei tarvitse kulkea luokan ovelle asti aina, kun hän haluaa muuttaa valaistusta.

Auditoriot ja luentosalit

Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan auditorioiden valaistuksen tulisi olla säädettävä. Säädettävyyden lisäksi valaistus kannattaa jakaa moneen eri ohjausryhmään, joita ohjataan erilaisilla valaistustilanteilla. Tilanneohjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi osoitteellisella DALI-järjestelmällä.

Kuvaamataidon luokat

Kuvaamataidon luokissa tulisi olla värinvalonvalaistusta hyvä valaistus, joka ei aiheuta heijastumisia. Kuvaamataidon luokassa tehdään maalaus- ja piirustustöitä sekä vaakatasossa olevalla pinnalla että vinolla pinnalla, joten harsoheijastumisia on hankalaa välttää kaikissa kohdissa luokkaa.

Kemian ja fysiikan luokat

Kemian ja fysiikan luokkien valaistusta suunnitellessa kannattaa miettiä ainakin ohjaustapaa tarkkaan. Vaikka läsnäolotunnistimet ovat kehittyneet, voiko niiden toimintaan luottaa kaikissa tilanteissa? Luokassa saatetaan käsitellä laitteita ja kemikaaleja, jotka voivat aiheuttaa vaaratilanteen, jos valaistus yhtäkkiä kytkeytyy pois päältä. Kemian ja fysiikan luokissa tehdään myös erilaisia kokeita, joissa valaistus voidaan haluta himmentää tai saada kokonaan pois päältä.

Käsityöluokat

Käsityöluokissa riittävä valaistusvoimakkuus työskentelyalueella on tärkeää. Suunnittelijan on harkittava, lasketaanko ompelukoneet sellaisiksi laitteiksi, jotka voivat aiheuttaa vaaratilanteen, mikäli läsnäolotunnistin ei jostain syystä tunnista esimerkiksi yksin luokassa olevaa, paikallaan istuvaa oppilasta tai opettajaa.

ATK-luokat

ATK-luokissa on kiinnitettävä erityistä huomiota valaisimien luminansseihin ja valittava tilaan sopivat valaisimet ja sijoittaa ne niin, että ne aiheuttavat mahdollisimman vähän esto- ja kiusahäikäisyä. Tilassa ei välttämättä lueta pelkästään tietokoneen näytöltä, vaan myös esimerkiksi paperilta, joten valaistuksen tulee olla soveltuva myös siihen. [1, s. 30.]

Teknisen työn luokat

Teknisen työn tiloissa vaaditaan tavallista opetustilaa korkeampaa valaistustasoa näkötehokkuuden ja turvallisuuden takaamiseksi. Teknisen työn tiloissa on usein pölyä ja

kosteutta, joten valaisimien koteloituksien tulee olla riittävä. IP-luokitus kertoo sähkölaitteiden suojausluokan. Taulukossa 7 on esitetty IP-luokituksia ja kerrottu mitä ne tarkoittavat. Teknisen työn luokassa, jossa valaisin voi altistua pölylle, valaisimen tulee olla taulukon mukaisesti vähintään IP5X.

Taulukko 7. IP-luokitukset. Ensimmäinen tunnusnumero kertoo suojauksen vieraita esineitä ja pölyä vastaan. Toinen tunnusnumero ilmaisee suojauksen kosteutta ja vettä vastaan. [35.]

	Suojaamaton	Tippuvedenpitävä	Sateenpitävä	Roiskevedenpitävä	Suihkuvedenpitävä	Vedenpitävä	Painevedenpitävä
Suojaamaton	IP00	IP01					
Kosketussuojattu (>50 mm esineellä)	IP10	IP11	IP13				
Kosketussuojattu (>12,5 mm esineellä)	IP20	IP21	IP23				
Lankasuojattu	IP40	IP41	IP43	IP44	IP45		
Pölysuojattu				IP54	IP55		
Pölytiivis					IP65	IP67	IP68

Teknisen työn luokan valaistuksen ohjaus kannattaa toteuttaa siten että valaistus sammuu vain manuaalisesti. Työkoneet voivat aiheuttaa vaaratilanteen, mikäli valaistus sammuu automatiikan sammuttamana.

Liikunta- ja juhlasalit

Koulujen liikunta- ja juhlasaleja käytetään usein moniin tarkoituksiin, kuten opetustilaisuuksiin, kokeisiin, kansalaistapahtumiin, seminaareihin, diskoihin ja penkkareihin. Moninaiset käyttötarkoitukset tuovat niin valaistukselle, kuin valaistuksen ohjauksellekin monia vaatimuksia. [4, s. 8–10.]

Liikuntasalien valaisimien tulee kestää tilassa käytettyjen pallojen ja muiden liikuntavälineiden iskut rikkoutumatta, eivätkä liikuntavälineet saa myöskään jäädä kiinni valai-

simien väliin tai päälle. Liikuntasali pitää usein pystyä jakamaan useampaan osaan väliseinillä tai verhoilla. Tällöin valaistus täytyy jakaa useampaan ohjausryhmään tilajaon mukaisesti. Joissain pallopeleissä pelaajien katse nousee kohti kattoa, jolloin pelikentän yläpuolella olevat valaisimet voivat aiheuttaa pelaamista vaikeuttavaa häikäisyä. Valaisimien järkevä sijoittelu riippuu mm. tilan käyttötarkoituksesta. [4, s. 8–10.]

Liikunta- ja juhlasalien valaistuksen ohjaus kannattaa toteuttaa siten että salin valaistus on portaattomasti säädettävä ja jaettu tarpeeksi moneen ohjausryhmään [4, s. 10]. Käyttöä helpottaa esimerkiksi ennalta ohjelmoidut valaistustilanteet, jotka voidaan ottaa käyttöön painonappipaneelista, joka sisältää valaistustilanteita kuvaavat tekstit. Säädettävä ja valaistustilanteita sisältävä ohjausjärjestelmä voidaan toteuttaa DALI-järjestelmällä. Salin yleisvalaistusta ohjaava DALI-järjestelmä voidaan liittää myös esitystekniikassa usein käytettyyn DMX-ohjaukseen, jolloin yleisvalaistusta voidaan ohjata tarvittaessa myös suoraan valopöydästä.

Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan opetusrakennusten urheiluhallien ja voimistelusalien valaistusvoimakkuuden tulee olla 300 luksia. Kyseisiä tiloja käytetään nykyään myös sellaisiin toimintoihin, joissa tarvitaan suurempaa valaistusvoimakkuutta, joten 500 luksin valaistustaso voi olla perusteltu myös näissä tiloissa. [4, s. 9.]

6 Esimerkkisuunnitelma

Opetustilojen valaistussuunnitteluun liittyvien asioiden tarkastelun jälkeen tehtiin esimerkkisuunnitelma tavallisen, kuvitteellisen luokkahuoneen valaistuksesta, jossa tavoitteena oli päästä teknisesti mahdollisimman hyvään lopputulokseen. Valaistuslaskelmien avulla pyrittiin tarkastelemaan, kuinka helposti vertailtaviksi valituilla valaisimilla pystytään tavoittamaan standardissa SFS-EN 12464-1 määritellyt arvot.

6.1 Luokkahuone

Valaistuslaskelmia varten tehtiin kolmiulotteinen malli kuvitteellisesta luokkahuoneesta. Luokkahuoneen koko määritettiin rakennustietokortin RT 96-10939 ”Koulurakennus, tilasuunnittelu” avulla. Sen mukaan 25 oppilaan luokkahuoneen pinta-alan tulee olla 53,54 m² [36, s. 7]. Luokkahuoneen kooksi määriteltiin 6,2 m x 8,636 m, jolloin pinta-alaksi tuli


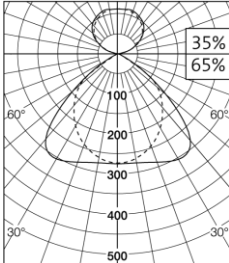

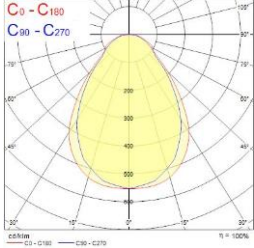

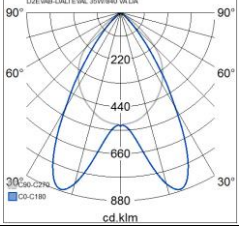

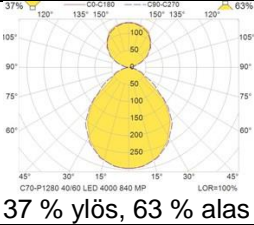

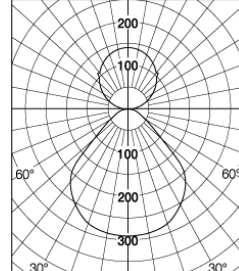
53,54 m². Luokkahuoneen korkeudelle ei löytynyt ajantasaista ohjetta, joten korkeutena käytettiin 3,5 metriä.

Kolmiulotteisen mallin lattia-, seinä- ja kattopintojen heijastumiskertoimet määritettiin niin, että ne olivat standardissa SFS-EN 12464-1 mainittujen suositusarvojen sisällä. Seinäpintojen heijastumiskerroin oli 0,7, lattiapintojen 0,2 ja kattopinnan 0,88. Standardissa SFS-EN 12464-1 mainitut suositusarvot ovat seinäpinnoille 0,5–0,8, lattiapinnalle 0,2–0,4 ja kattopinnalle 0,7–0,9 [1, s. 16].

6.2 Valaisimet

Aluksi valittiin viisi valaisinta tunnetuimmilta valaisinvalmistajilta luokkahuoneen yleisvalaistusta varten. Valitut valaisimet on esitetty taulukossa 8, jossa on esitetty myös valaisimien olennaisimpia tietoja. Valintakriteereinä olivat värilämpötila, häikäisyindeksi, ohjaustapa, valonlähdetyyppi, värintoistoindeksi sekä ulkonäöllinen sopivuus luokkahuoneisiin. Valituissa valaisimissa valon värilämpötila oli julkisissa rakennuksissa usein käytetty 4000 K. UGR-häikäisyindeksi saa olla luokkahuoneissa korkeintaan 19 [1, s. 60], joten vertailtavaksi valittiin vain valaisimia, joissa tuo ehto täyttyy. Luokkahuoneiden valaistuksen tulee olla säädettävä, joten vertailtavaksi valittiin pelkästään DALI-ohjattavia valaisimia, joilla on helppo toteuttaa valaistuksen säädettävyyttä. Vertailtavaksi valittiin pelkästään LED-valaisimia, koska LED-valaisimet ovat selvästi korvaamassa loisteputkivalaisimet, ainakin suurimpien valaisinvalmistajien tuotevalikoiman perusteella. Valaisimia valitessa pyrittiin valitsemaan luokkahuoneisiin sopivia valaisimia, jotka edustaisivat eri valmistajia ja erilaisia valonjakoja.


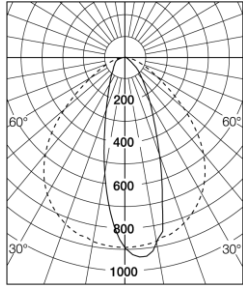

Taulukko 8. Vertailtavien valaisimien tiedot [37; 38; 39; 40; 41].

Valaisimen valmistaja ja malli	Kuva valaisimesta	Valaisimen valonjakokäyrä	Valaisimen valovirta, mitat ja asennustapa
1. Fagerhult 12176-402 Closs LED Suora/ Epäsuora			3450 lm, 1217 x 125 x 55 mm, riipustettava
2. Feilo Sylvania 0047637 Start Flat Panel LED 600 33W 3400lm 4000K Dali UGR19			3400 lm, 595 x 595 x 10,5 mm, uppoasennettava
3. Airam D2EVAB-DALI EVAL 33W/840 VA DA			3100 lm, 1223 x 98 x 50 mm, pinta-asennettava
4. Glamox C70-P1280 40/60 LED 4000 DALI 840 PRE C2 MP			4031 lm, 1280 x 154 x 40 mm, riipustettava
5. Fagerhult 56124-402 Pozzo Scale riippuvalaisin			3663 lm, halkaisija 500 mm, korkeus 51,5 mm, riipustettava

Luokkahuoneeseen valittiin myös tauluvalaisin, jolla saavutettiin taulupinnalle vaadittu valaistusvoimakkuus, 500 luksia sekä tasaisuus 0,7. Luokkahuoneeseen valittiin myös tauluvalaisin ja LED-lista pesuallastason valaisemiseksi. Valitun tauluvalaisimen, Fagerhult Lento LED:n tärkeimmät tiedot on esitetty taulukossa 9. Valaisimen valo ohjautuu hyvin taulupinnalle kapean ja epäsymmetrisen valonjakonsa ansiosta. Taulukossa 9 on

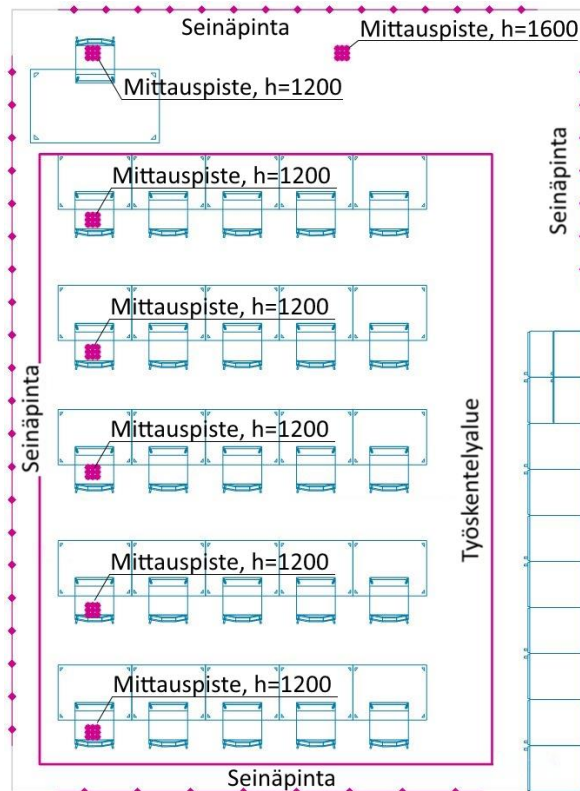
esitetty myös vesipisteen yläkaapin alapintaan asennettavan LED-listan tärkeimpiä tietoja.

Taulukko 9. Esimerkkisuunnitelmaan valitun tauluvalaisimen (Fagerhult Lento) ja vesipisteen yläpuolelle asennettavan LED-listan tiedot [42; 43].

Valaisimen valmistaja ja malli	Kuva valaisimesta	Valaisimen valonjakokäyrä	Valaisimen valovirta, mitat ja asennustapa
Fagerhult, 19483-402 Lento LED (Tauluvalaisin)			5400 lm, 2009 x 66 x 85 mm, pinta-asennettava
Fagerhult, 68347 Lumiline (LED-lista vesipisteen yläkaapin alapintaan)			1083 lm, pituus 1000 mm, pinta-asennettava

6.3 Valaistuslaskelmat

Valaistuslaskelmat tehtiin DIALux Evo -valaistussuunnitteluohjelmalla. Ennen valaisimien vertailua määriteltiin kolmiulotteiseen laskentamalliin laskenta-alueet sekä pisteet, joista haluttiin mitata sylinterivalaistusvoimakkuudet. Laskenta-alueet ja mittauspisteet on esitetty kuvassa 14. Työskentelyalueeksi valittiin alue, jolla oppilaat todennäköisimmin työskentelevät. Sylinterivalaistusvoimakkuuden mittauspisteitä sijoitettiin seitsemään kohtaan, jotta saataisiin selville, täyttyykö sylinterivalaistusvoimakkuudelle asetetut arvot kaikissa luokkahuoneen kohdissa.



Kuva 14. Valaistuslaskelmien mittauspisteet- ja alueet.

Vertailtavat valaisimet sijoiteltiin kolmiulotteiseen malliin siten että valaistuksen tavoitearvot täyttyisivät mahdollisimman hyvin. Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty laskentatulokset eri valaisimilla. Taulukossa 10 on esitetty työskentelyalueen valaistusvoimakkuuksien arvot sekä tasaisuudet. E_{ka} tarkoittaa keskimääräistä valaistusvoimakkuutta tarkastelutasolla. Taulukosta löytyy myös seinäpintojen ja kattopinnan valaistusvoimakkuuksien ja tasaisuuksien pienimmät keskimääräiset arvot. Tulosten avulla selvisi, että valaistusvoimakkuudet ja niiden tasaisuudet täyttivät standardissa SFS-EN 12464-1 määritellyt arvot [1, s. 16].

Taulukko 10. Työskentelyalueen, seinien ja katon valaistusvoimakkuudet ja valaistusvoimakkuuksien tasaisuudet vertailtavilla valaisimilla.

Laskelma	Valaisimien määrä	E_{ka} työskentelyalue	E_{min} työskentelyalue	E_{maks} työskentelyalue	U_0 työskentelyalue	E_{min} seinät ja katto	U_{0min} seinät ja katto
1	12	617	380	747	0,62	143	0,42
2	9	479	311	587	0,65	118	0,49
3	10	492	256	688	0,52	81	0,45
4	8	462	307	551	0,66	125	0,35
5	9	466	310	573	0,67	121	0,40

Taulukossa 11 on esitetty sylinterivalaistusvoimakkuudet määritellyissä seitsemässä mittauspisteessä sekä sylinterivalaistusvoimakkuuksien keskiarvojen (E_{zka}) suhteet horisontaalitason valaistusvoimakkuuksien keskiarvoihin (E_{ka}). Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan valaistuksen muodonannon voidaan katsoa olevan hyvä, kun edellä mainittu suhde on 0,3–0,6 [1, s. 28]. Mittaustulosten perusteella hyvä muodonanto toteutui kaikilla valaisinvaihtoehdoilla.

Taulukko 11. Sylinterivalaistusvoimakkuudet ja muodonantoa kuvaavat suhteet vertailtavilla valaisimilla.

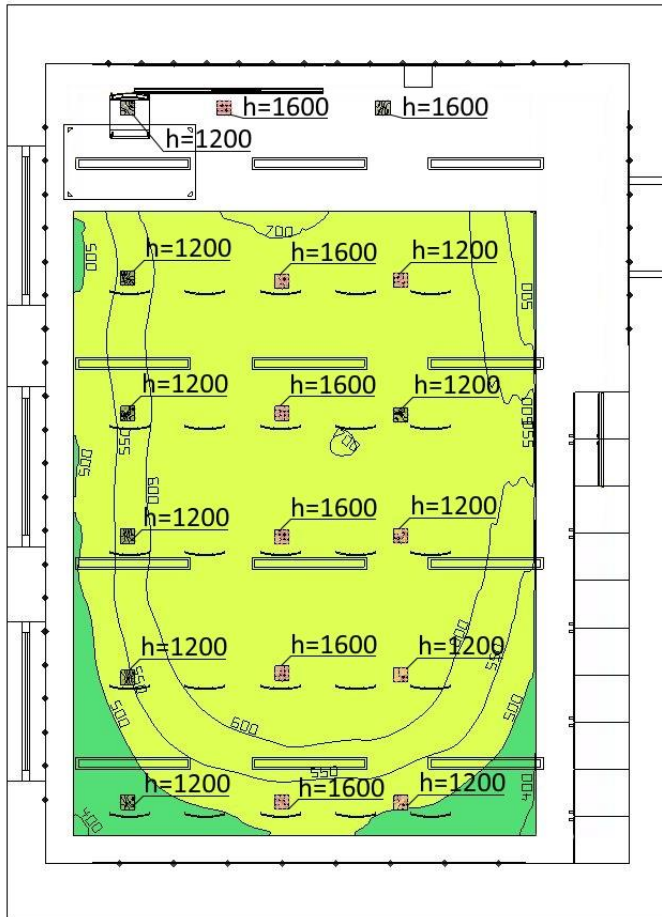
Laskelma	E_{zka}	E_{zmin}	E_{zmaks}	E_{zka}/E_{ka}
1	298,57	291,14	305,29	0,41
2	229,71	241,43	241,43	0,39
3	205,43	198,57	212,43	0,33
4	245,71	240,14	252,00	0,41
5	244,57	239,29	250,43	0,42

DIALuxista saatujen laskelmien ja valaisimien teknisten ominaisuuksien vertailun jälkeen esimerkisuunnitelmaan päädyttiin valitsemaan Fagerhultin Closs LED -valaisin. Valintaan vaikutti myös DIALuxin kolmiulotteisesta mallista nähty tasainen valaistus myös katopinnalle. Valaisimessa on myös paraboliset pitkittäisheijastimet ja mattapintaiset poikkilamelit, jotka vähentävät LED-valonlähteen aiheuttamaa kiusahäikäisyä.



Kuva 15. Yleisnäkymä luokkahuoneesta. Yleisvalaistuksen valaisimena esimerkkisuunnitelmaan valittu Fagerhultin 12176-402 Closs LED -valaisin.

Esimerkkisuunnitelmassa käytettävän yleisvalaistuksen valaisimen valitsemisen jälkeen tehtiin lisää valaistuslaskelmia. Valaistuslaskentamalliin lisättiin sylinterivalaistusvoimakkuuden laskentapisteitä, jotta tilan sylinterivalaistusvoimakkuuksista saataisiin mahdollisimman todenmukainen käsitys ja sitä kautta myös muodonannosta. Kuvassa 16 on esitetty tilan mittauspisteet ja niiden korkeudet. Kuvassa näkyy myös valaistusvoimakkuuden isolux-käyrät työskentelyalueella.



Kuva 16. Sylinterivalaistusvoimakkuuksien mittauspisteet ja valaistusvoimakkuuden isolux-käyrät työskentelyalueella.

Uudet laskentatulokset valitulla valaisimella on esitetty taulukoissa 12 ja 13. Taulukoissa on esitetty luokkahuoneen valaistusvoimakkuudet ja niiden tasaisuudet työskentelyalueella, katossa sekä seinillä. Taulukoihin on merkitty myös standardissa SFS-EN 12464-1 vaaditut arvot.

Taulukko 12. Luokkahuoneen valaistusvoimakkuudet ja valaistusvoimakkuuksien tasaisuudet eri alueilla. Ensimmäiset neljä arvoa ovat työskentelytasolta. Tulosten alla on esitetty standardissa SFS-EN 12464-1 vaaditut arvot [1, s. 16; 1, s. 60].

	E_{ka}	E_{min}	E_{maks}	U_0	E_{ka} katto	E_{min} katto	E_{maks} katto	U_0 katto
Tulos	606	390	719	0,64	436	193	927	0,44
Standardi	$E_m \geq 300$ tai ≥ 500			0,60	$E_m > 50$			$\geq 0,1$

Valaistuslaskelmien tulokset täyttivät standardissa SFS-EN 12464-1 mainitut arvot. Työskentelyalueen valaistusvoimakkuus ylitti 500 luksia, joten tilan valaistus sopii hyvin

erilaisten oppiaineiden opetukseen. Seinien ja katon valaistusvoimakkuudet ja valaistusvoimakkuuksien tasaisuudet (U_0) täyttivät standardissa SFS-EN 12464-1 määritellyt arvot helposti, koska yleisvalaisimista ylös lähtevä valo luo tilaan tasaista epäsuoraa valoa.

Taulukko 13. Luokkahuoneen seinien valaistusvoimakkuudet ja valaistusvoimakkuuksien tasaisuudet. Tulosten alla on esitetty standardissa SFS-EN 12464-1 vaaditut arvot [1, s. 16].

Seinä	E_{ka}	E_{min}	E_{maks}	U_0
1	317	231	468	0,73
2	271	144	507	0,53
3	260	207	300	0,80
4	309	232	381	0,75
Keskiarvo	289	204	414	0,70
Standardi	$E_m > 75$			$\geq 0,1$

6.4 Sähkösuunnitelmat ja valaistuksen ohjaus

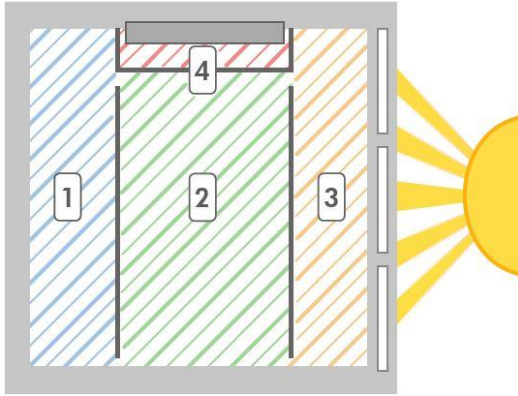
Heti esimerkkisuunnitelman alussa valittiin yleisvalaistukseen vain DALI-ohjattuja valaisimia, koska sen avulla on helppo toteuttaa standardissa SFS-EN 12464-1 mainittu valaistuksen säädettävyys. Valaistuksen ohjauksessa päätettiin käyttää B.E.G Luxomatin PD4-DAA4G –DALI-läsnäolotunnistinta (kuva 17). Läsnäolotunnistin sopii niin uudis- kuin saneerauskohteisiin, koska osoitteellisesta valaistuksen ohjauksesta huolimatta sitä ei tarvitse liittää luokkahuoneen ulkopuolisiin järjestelmiin, esimerkiksi reitittimeen.



Kuva 17. B.E.G Luxomatin PD4-DAA4G-DALI -läsnäolotunnistin [44].

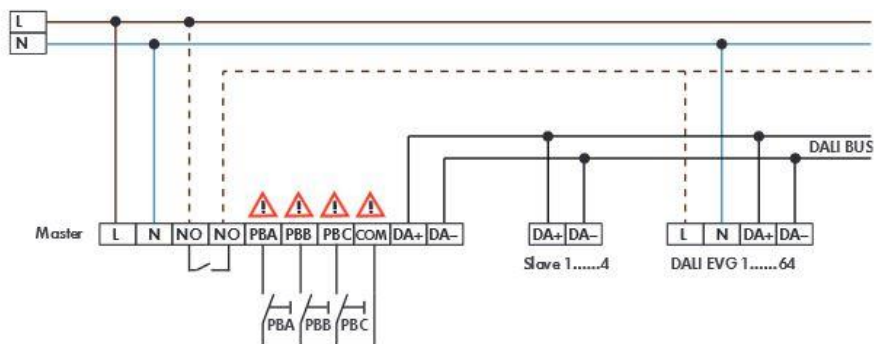
Valitulla läsnäolotunnistimella pystyttiin toteuttamaan tasapainotettu päivänvalo-ohjaus, himmennettävä tauluvalo, valaisimen lepovirran katkaisu integroidulla releellä ja painonappihimmennys [44]. Tasapainotettu päivänvalo-ohjaus tarkoittaa ohjausta, jossa tunnistin ottaa huomioon luonnonvalon tarkkailemalla tilan neljää eri aluetta ja säätämällä

alueilla olevia valaisimia sen mukaan, kuinka suuri valaistusvoimakkuus kyseisellä alueella on. Valaistusvoimakkuuden tavoitearvo asetetaan tunnistimeen. Mahdolliset tavoitearvot ovat 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700 ja 900 luksia. Läsnaolotunnistimen tarkkailemien alueiden periaate on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Periaatekuva tunnistimen tarkkailemista alueista luokkahuoneessa [45, s. 5].

Läsnaolotunnistimen kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 19. Läsnaolotunnistimeen voidaan liittää kolme painonappia ja enintään 64 DALI-ohjattavaa valaisinta. Siinä on myös sulkeutuva kosketin, jolla voidaan ohjata esimerkiksi ilmanvaihtoa. Liitteessä 4 on esitetty luokkahuoneen valaistusjärjestelmän periaatekaavio. Valaistuksen ohjauksessa hyödynnettiin läsnaolotunnistimen kahta DALI-painonappiohjausta a- ja b-kytkentäryhmien valaisimien ohjaukseen (valaisinpositiot 1 ja 2). Läsnaolotunnistimen sulkeutuvaa kosketin määritettiin ohjaamaan c-kytkentäryhmän kytkimelle menevää sähköä, jotta pesualtaan yläpuolella oleva valaisin sammuisi myös automaattisesti, kun tunnistin ei havaitse liikettä tunnistimeen asetetun ajan sisällä.



Kuva 19. Läsnaolotunnistimen kytkentäkaavio [44].

Luokkahuoneeseen tarvittavien läsnäolotunnistimien määrä saatiin selville katsomalla taulukosta 14 tunnistimen valvonta-alue 3,5 metrin asennuskorkeudella. Luokkahuoneeseen riitti hyvin kaksi tunnistinta, joilla saatiin koko tila valvonta-alueelle.

Taulukko 14. PD4-DAA4G-DALI -läsnäolotunnistimen valvonta-alueet eri korkeuksilla [44].

Valvonta-alue määräytyy asennuskorkeudesta			
Asennus korkeus	Ympyrä T=18°C		
	Istuttaessa	Kulku sivusuunnassa	Kulku kohti tunnistinta
2,00 m	r=2,60 m	r=8,50 m	r=3,20 m
2,50 m	r=3,20 m	r=12,00 m	r=4,00 m
3,00 m	r=3,80 m	r=14,50 m	r=4,80 m
3,50 m	r=4,50 m	r=17,00 m	r=5,50 m
4,00 m	–	r=19,50 m	r=6,80 m
4,50 m	–	r=22,00 m	r=7,20 m
5,00 m	–	r=24,00 m	r=8,00 m
10,00 m	–	r=24,00 m	r=8,00 m

r=säde

Läsnäolotunnistimen ohjelmointi tehdään älypuhelimeen ladattavalla remote control -sovelluksella. Sovelluksen lisäksi on hankittava IR-RC -sovitin (kuva 20), joka liitetään älypuhelimien kuulokeliitäntään. Läsnäolotunnistinta voidaan käyttää myös oletusasetuksin broadcast-tilassa, jolloin ohjelmointia ei tarvitse tehdä.



Kuva 20. B.E.G IR-RC –sovitin valaistuksen ohjauksen ohjelmointiin [44].

Luokkahuoneen valaistuksen sähkösuunnitelman tasopiirustus on esitetty liitteessä 1. Yleisvalaistuksen valaisimet (positio 1) on liitetty omalla kaapelillaan alas lasketussa kattossa oleviin jakorasioihin. Kirjaimilla a, b ja c on esitetty valaistuksen ohjausryhmät. Luokkahuoneen valaisimista tehtiin valaisinluettelo, joka on esitetty liitteessä 2. Luetteloon on merkitty valaisimien lisäksi tarvittavat kiinnikkeet ja muut erikseen hankittavat

lisävarusteet. Sähkösuunnitelmiin kuuluva pääkaavio on esitetty liitteessä 3. Pääkaaviossa on esitetty luokkahuoneen valaistusta syöttävän keskuksen pääkaavio valaistusr ryhmän osalta. Valaistusr yhmä on suojattu 10 ampeerin vikavirtajohdonsuojakatkaisijalla. Valaistusr järjestelmän periaatekaavio on esitetty liitteessä 4.

7 Yhteenveto

Insinööri työssä selvitettiin opetustilojen valaistussuunnittelussa huomioon otettavia asioita ja tehtiin esimerkkisuunnitelma luokkahuoneen valaistuksesta ja sen ohjauksesta. Materiaalia löytyi työhön lopulta riittävä määrä, vaikka suomalainen alan kirjallisuus olikin suurelta osin vanhaa ja sisälsi hyödyllistä tietoa lähinnä valaistustekniikan perusteiden osalta. Suurin osa luotettavasta tiedosta löytyi Sähkötieto ry:n valaistukseen liittyvistä sähkötietokorteista, jotka oli päivitetty parin viime vuoden aikana. Tässä työssä esitetyt valaistustekniset tavoitearvot perustuvat standardiin SFS-EN 12464-1, joka on hyvä lähtökohta kaikkeen rakennusten sisälle tehtävään valaistussuunnitteluun.

Työn lopussa tehtiin esimerkkisuunnitelma luokkahuoneen valaistuksesta. Suunnitelma aloitettiin vertailemalla tunnetuimpien valaisinvalmistajien valaisimia, joista valittiin yksi valaisinmalli suunnitelmaan. Kaikilla vertailtavilla valaisimilla päästiin valaistusteknisiin tavoitearvoihin. Yleisvalaistuksen valaisimen valinnan ja tarkempien laskelmien jälkeen valittiin ohjaustapa. Ohjaukseen valittiin toiminnoiltaan monipuolinen läsnäolotunnistin, joka sopii hyvin niin uudis- kuin saneerauskohteisiin. Lopuksi laadittiin valaistukseen liittyvät sähkösuunnitelmat.

Työn teoriaa käsittelevästä osasta tuli osittain vain aiheita pintapuolisesti käsittelevä, mutta työn tavoite oli lähinnä tuoda tärkeimpiä seikkoja esille, jotta tätä työtä lukeva saisi tietoa tärkeimmistä seikoista ja voisi perehtyä asioihin syvällisemmin, mikäli kokee jonkun asian kiinnostavaksi tai erityisen tarpeelliseksi.

Esimerkkisuunnitelman ratkaisuilla toteutettiin nykyaikainen valaistusratkaisu, joka täyttää opetustilojen valaistukselle vaaditut tekniset arvot. Suunnitelmassa ei huomioitu valon biologisia vaikutuksia lähinnä siksi että kyseisen ratkaisun vaatimat valaisimet ja ohjauslaitteet ovat vielä toistaiseksi huomattavasti kalliimpia kuin perinteisemmät valaisimet ja ohjauslaitteet. Valon biologisia vaikutuksia tutkitaan jatkuvasti ja tulevaisuudessa

opetustiloissa tullaan luultavasti huomioimaan nämä vaikutukset. Valon positiivisia vaikutuksia oppilaisiin on vaikeaa mitata rahassa, joten suunnittelijan voi olla haastavaa perustella suunnittelun tilaajalle tavallista kalliimpi valaistusratkaisu. Tilanne voi kuitenkin muuttua tulevaisuudessa, kun tutkimusten avulla löydetään optimaalisimmat valaistusolosuhteet opetustiloihin.

Lähteet

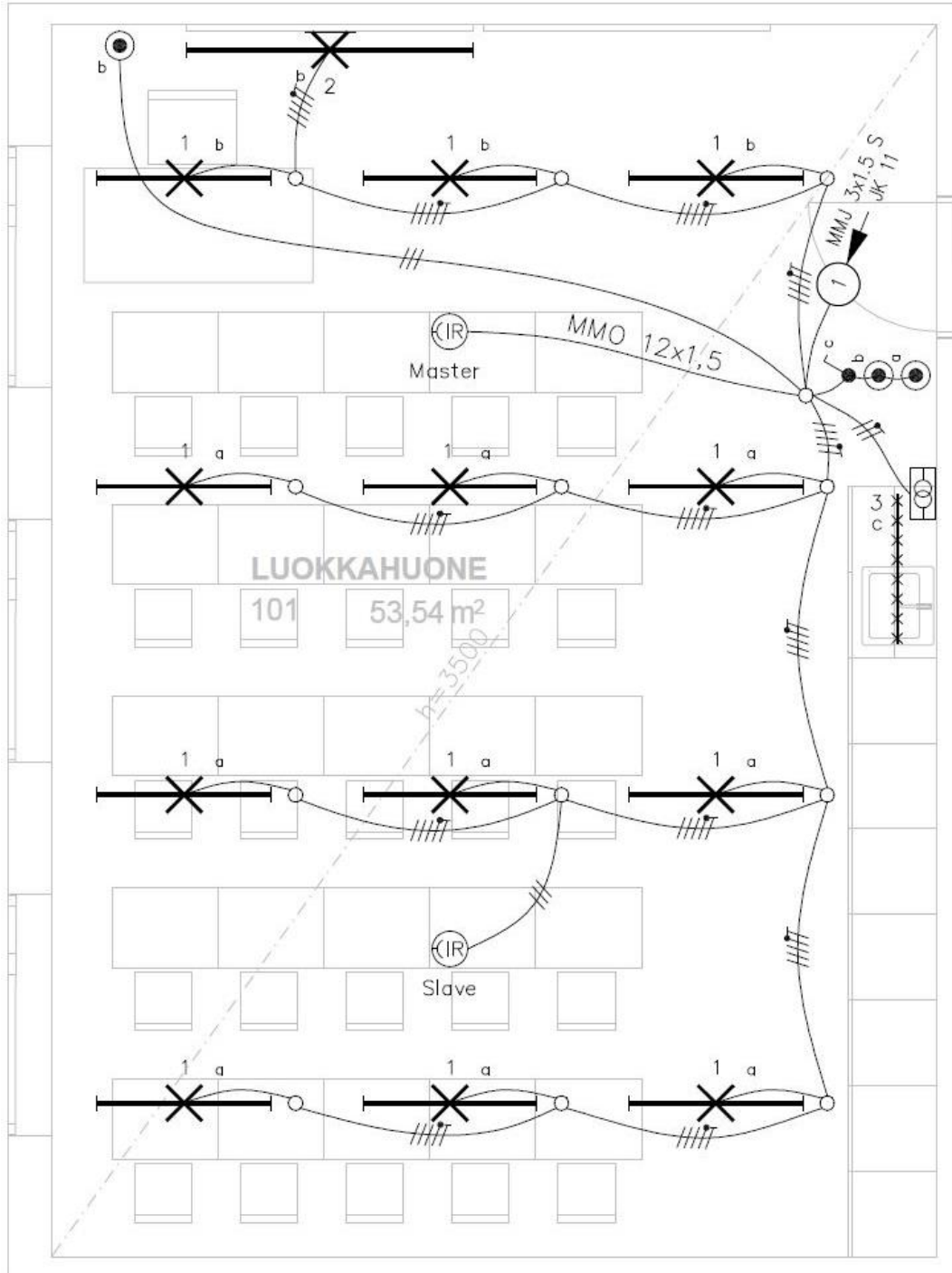
- 1 Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 12464-1:2011 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus.
- 2 Valaistushankintojen energiatehokkuus. 2008. Verkkoaineisto. Suomen Valoteknillinen Seura ry. <www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf>. Luettu 11.4.2018.
- 3 Uudistuva oppilaitosrakennus. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <http://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/ohjeita_koulutuksen_jarjestamiseen/oppilaitoksen_tilat_ja_rakentaminen/uudistuva_oppilaitosrakennus>. Luettu 17.4.2018.
- 4 Sähkötieto ry. 2017. ST 58.16 Opetustilojen valaistus.
- 5 Partonen, Timo. 2005. Valo käy sisäisen kellon rytminsiirtoon. Verkkoaineisto. Duodecim. <<https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2005/23/duo95372>>. Luettu 17.4.2018.
- 6 Partonen, Timo. 2016. Opetusmateriaali, Valon ei-visuaaliset vaikutukset ja valohoito.
- 7 Study: The effect of light on the performance capability of pupils. Verkkoaineisto. OSRAM Licht AG. <<https://dsoem.osram.com/knowledge/the-biological-effects-of-light/scientific-studies/school-study-uhl/>>. Luettu 10.4.2018.
- 8 Ihmiskeskeinen valaistus: Valon vaikutus | Lighting Solutions. Verkkoaineisto. OSRAM Licht AG. <<https://www.osram.fi/ls/valoa-seuraaviin/toimisto/ihmislähtöinen-valaistus/vaikutus/index.jsp>>. Luettu 12.4.2018.
- 9 Ympäröivän valon merkitys oppimiseen. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/valo-ja-terveys/Tutkimukset/lahtokohtana-ihminen-ja-ymparisto/Ymparöivän-valon-merkitys-oppimiseen/>>. Luettu 26.4.2018.
- 10 Tommy Goven, Thorbjörn Laike, Peter Raynham, Eren Sansal. Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children. Verkkoaineisto. <https://www.fagerhult.com/globalassets/global/light_support/research/the-influence-of-ambient-light-on-school-children.pdf>. Luettu 26.4.2018
- 11 Rakennustieto Oy. 2018. RT 75-11285 Valonlähteet.
- 12 Sähkötieto ry. 2017. ST 57.40 Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät.

- 13 Suomen sähköurakoitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1982. Valaistustekniikan käsikirja 2. Helsinki: Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus Oy.
- 14 Varsila Markku. 2016. Valaisimen valinta ja ominaisuudet. Opetusmateriaali.
- 15 Luokkahuoneet. Verkkoaineisto. Glamox. <<http://glamox.com/fi/solutions/test-small-class-room>>. Luettu 1.5.2018.
- 16 Halonen Liisa & Lehtovaara Jorma. 1992. Valaistustekniikka. Jyväskylä: Otatieta Oy.
- 17 Sähkötieto ry. 2017. ST 58.04 Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen.
- 18 Sähkötieto ry. 2017. ST 58.07 Valaistuksen laadun arviointi ja mittaus.
- 19 Sähkötieto ry. 2016. ST 58.31 Valonlähteiden säätö ja ohjaus.
- 20 Kytkimien toimintaperiaate. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZOdxUFG/Kytkimet.pdf>>. Luettu 29.4.2018.
- 21 Painonapin toimintaperiaate. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZOdvTN/PAINONAPPI.pdf>>. Luettu 29.4.2018.
- 22 Valaistussuunnittelijan käsikirja. Verkkoaineisto. Fagerhult. <https://np.netpublisher.com/np/n30265811/tekniskinfo_FI_09.pdf>. Luettu 2.4.2018.
- 23 Muut ohjausperiaatteet. Verkkoaineisto. Glamox. <<http://glamox.com/fi/other-dimming-system>>. Luettu 28.4.2018.
- 24 B.E.G Luxomat, PD4-M-1C. Verkkoaineisto. Nylund. <<https://nylund.fi/tuotteet/valaistusratkaisut/valaistuksen-ohjaus/onoff-lasnaolotunnistimet/pd4-m-1c/>>. Luettu 29.4.2018.
- 25 Luxomat-tunnistimien valintaopas 2018. Verkkoaineisto. Nylund. <https://nylund.fi/wp-content/uploads/2017/12/Luxomat-tunnistimien-valintaopas_2018_1_LR-ID-41372.pdf>. Luettu 20.4.2018.
- 26 Yhdistettävyys. Verkkoaineisto. Glamox. <<http://glamox.com/fi/connectivity>>. Luettu 2.4.2018.
- 27 Installation example – classroom with DALI-dimming. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/no/Service/lighting-control/Control-methods/DALI/Installation-example--classroom-with-DALI-dimming/>>. Luettu 27.4.2018.

- 28 DALI-kiertovalonsäädin, säädettävä, valkoinen, integroidulla virtalähteellä. käyttöohjeet. Verkkoaineisto. Schneider. <http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=WDE00x466_HW&p_EnDoc-Type=User%20guide&p_File_Id=8338022306&p_File_Name=WDE00x466_HW_2017_34_SV_NO_FI_EN.pdf>. Luettu 29.4.2018.
- 29 Sähkötieto ry. 2015. ST 23 KNX-järjestelmän perusteet.
- 30 Kallioharju, Kari & Piikkilä, Veijo. KNX-DALI harjoitusympäristö. Verkkoaineisto. Tampereen Ammattikorkeakoulu. <<http://slideplayer.fi/slide/11849746/>>. Luettu 29.4.2018.
- 31 Digital DSI. Verkkoaineisto. Glamox. <<http://glamox.com/uk/digital-dsi>>. Luettu 9.4.2018.
- 32 EnOcean Gateway (434). Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170929/434_DATASHEET_EN.pdf>. Luettu 2.5.2018.
- 33 ActiveAhead - Predictive lighting. Verkkoaineisto. Helvar. <<https://www.helvar.com/fi/uutiset/activeahead-predictive-lighting>>. Luettu 2.5.2018.
- 34 HCL kouluissa. Verkkoaineisto. Glamox. <<http://glamox.com/fi/solutions/hcl-in-education>>. Luettu 28.4.2018.
- 35 IP-luokat. Verkkoaineisto. Ensto. <<https://www.ensto.com/fi/tuki/suunnittelutyokalu/valaistusopas/ip-luokat/>>. Luettu 12.4.2018.
- 36 Rakennustieto Oy. 2008. RT 96-10939 Koulurakennus, tilasuunnittelu.
- 37 12176-402 Closs LED Suora/Epäsuora. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/Tuotteet/closs/12176-402>>. Luettu 20.4.2018.
- 38 START FLAT PANEL UGR19 600 4000K DALI G2. Verkkoaineisto. Sylvania. <<http://www.sylvania-lighting.com/product/en-int/products/0047637>>. Luettu 20.4.2018.
- 39 EVAL 33W/840 VA DA. Verkkoaineisto. Airam. <<https://www.airam.fi/product-card/D2EVAB-DALI?lang=fi>>. Luettu 20.4.2018.
- 40 C70-P1280 40/60 LED 4000 DALI 840 PRE C2 MP. Verkkoaineisto. Glamox. <<http://glamox.com/fi/products/C70-P/items/c70226582>>. Luettu 20.4.2018.
- 41 56124-402 Pozzo Scale riippuvalaisin. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/Tuotteet/pozzo/56124-402>>. Luettu 20.4.2018.

- 42 19483-402 Lento LED. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/Tuotteet/lento-led/19483-402>>. Luettu 20.4.2018.
- 43 68347 Lumiline. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/Tuotteet/lumiline/68347>>. Luettu 20.4.2018.
- 44 PD4-DAA4G. Verkkoaineisto. Nylund. <<https://nylund.fi/tuotteet/valaistusratkaisut/valaistuksen-ohjaus/dali-lasnaolotunnistimet/pd4-daa4g/>>. Luettu 14.4.2018.
- 45 Installation and Operating Instruction for B.E.G. DALI compact solution. Verkkoaineisto. Nylund. <https://nylund.fi/wp-content/uploads/2017/03/MAN_8604_PD4-M-DAA4G-EN-2_011015.pdf >. Luettu 14.4.2018.
- 46 Optimaalinen valonjako. Verkkoaineisto. Glamox. <<http://glamox.com/fi/optimal-light-distribution>>. Luettu 24.4.2018.

Esimerkkisuunnitelman tasopiirustus



Esimerkkisuunnitelman valaisinluettelo

A muutos			D muutos																									
B muutos			E muutos																									
C muutos			F muutos																									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
VALAISIN															Luokkahuone 101													
VALAISIMEN VALMISTAJA															Varlompöytä kahissa valaisimissa 4000K													
VALAISIMEN TYYPI															LKM YHT													
HAKAISU- SUOLA															MUUTOS													
TEHO W															HUOMI													
LAMPPI																												
ASENN. TAPA																												
LITANTY YKSIKKO																												
KOMPEN- SOINTI																												
POSITIO																												
1	Fagerhult																											
	+ Fagerhult																											
	+ Fagerhult																											
	+ Fagerhult																											
2	Fagerhult																											
	+ Fagerhult																											
	+ Fagerhult																											
3	Fagerhult																											
	+ Fagerhult																											
	+ Fagerhult																											
	+ Fagerhult																											

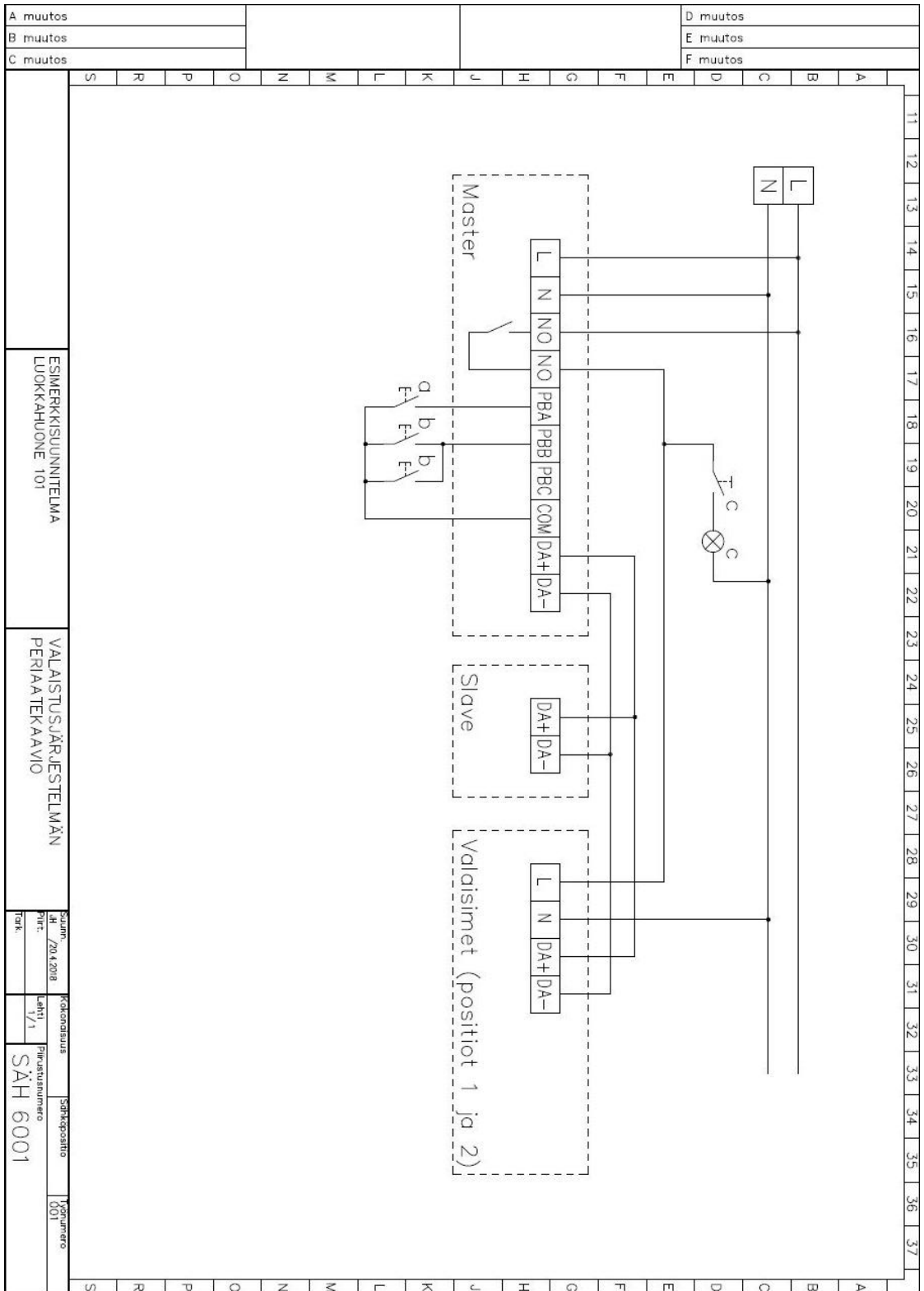
SUMMA
 21.4.2018
 KOKONAISUS
 1/1
 PIIRUSTUSNUMERO
 SÄH 7001
 SÄH 7001

Esimerkkisuunnitelman pääkaavio

		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
		KESKUS						RYHMÄ	OSOITE	A/A	JOHDOTUS									
																				A
																				B
																				C
																				D
																				E
																				F
																				G
																				H
																				J
																				K
																				L
																				M
																				N
																				O
																				P
																				R
																				S
																				T
																				U
																				V
																				X
																				Y
																				Z
																				1
																				2

A muutos	D muutos	Suunn.																Kokonaissuunn.	Sähköposti	Työnumero
		JK 11 PÄÄKAAVIO																JH /20.4.2018	JK 11	001
		ESIMERKKISUUNNITELMA																Lehti	Piirustusnumero	
B muutos	E muutos																	7	SÄH 4201	
C muutos	F muutos																			

Esimerkkisuunnitelman kytkentäkaavio



ESIMERKKISUUNNITELMA
LUOKKAHUONE 101

VALAISTUSJÄRJESTELMÄN
PERIAATEKAAVIO

Suunn.
Pii:
Tark:

Kokonaisuus
Lehti
1/1

Sähköpostiosoite
Puhelinnumero
SAH 6001

Yhtymänumero
001