



Valaistussuunnittelun tukipaketti sähkösuunnittelijalle Moisolinna Group Oy:ssä

Beckhoff automaatiota käyttäen

Taru Törrö

OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2020

Talotekniikan koulutus
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
Sähköinen talotekniikka

TÖRTTÖ TARU:

Valaistussuunnittelun tukipaketti sähkösuunnittelijalle Moisiolinna Group Oy:ssä Beckhoff automaatiota käyttäen
Opinnäytetyö 63 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Syyskuu 2020

Opinnäytetyön aiheena on tutustua valaistuksen suureisiin, määreisiin ja sen vaikutukseen hyvinvointiin. Teorian tarkoituksena on auttaa suunnittelijaa ymmärtämään valon käyttäytymistä, sekä auttaa suunnittelijaa ymmärtämään Beckhoff automaatiosta hieman enemmän. Teorian perusteella on luotu ohje Moisiolinna Group Oy:n suunnittelijoille, joka auttaa toteuttamaan valaistus-suunnitelman asiakaslähtöisesti.

Suunnittelussa on ensisijaisen tärkeää ottaa asiakkaan toiveet huomioon, mutta osata myös ammattitaitoisesti tuoda oma näkemys esiin teknisin perustein, jotta saadaan aikaiseksi toivottu lopputulos. Moisiolinna Group Oy:n tärkein tarkoitus on palvella asiakkaan tarpeita ja toiveita, jonka pohjalta suunnitelmat toteutetaan kuunnellen ja kunnioittaen asiakkaan ratkaisuita.

Teoriapakettiin, joka auttaa suunnittelijaa ymmärtämään käytössä olevista järjestelmistä, voidaan jatkossa lisätä palautteen perusteella tarvittavia tietoja puuttuvista tai mahdollisesti tulevista uusista järjestelmistä, jotta opinnäytetyöstä voidaan hyötyä myös tulevaisuudessa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Engineer of Building Services
Electrical Building Technology

TARU TÖRTTÖ:

Lighting design support package for electrical designer in Moisiolinna Group Oy where Beckhoff automation is used

Bachelor's thesis 63 pages, appendices 3 pages

September 2020

The topic of the thesis is to get acquainted with the quantities and attributes of lighting and its effect on well-being. The purpose of the theory is to help the designer understand the behavior of light. As well as helping the designer understand a little more about Beckhoff automation. Based on the theory, a guide has been created for Moisiolinna Group Oy's designers, which helps to implement the lighting plan in a customer-oriented manner.

In planning, it is of primary importance to take into consideration the customer's wishes, but also to be able to professionally present one's own view on technical grounds to achieve the desired result. Moisiolinna Group Oy's most important purpose is to serve the customer's needs and wishes, which the plans are implemented by listening to and respecting the customer's solutions.

In the future, the theoretical package, which helps the designer to understand the systems in use, can be used to add the necessary information about missing or possibly new systems based on the feedback, so that the thesis can continue to be useful in the future as well.

Key words: beckhoff, lighting, automation, comfort, quality, theory

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	VALAISTUKSEN SUUREET JA TERMIT	8
	2.1 Näkyvän valon spektri	8
	2.2 Valovirta	10
	2.3 Valovoima	10
	2.4 Luminanssi	11
	2.5 Valaistusvoimakkuus	12
	2.6 Väriämpötila	13
	2.7 Värintoistoindeksi ja -kyky	14
	2.8 RGB- ja RGBW värimalli	16
	2.9 MacAdam arvo	16
	2.10 Warm Dim/ Tunable White	17
3	VALAISTUKSEN LAATU JA STANDARDIT	18
	3.1 Valaistuksen laatu ja standardit omakotitalossa	18
	3.1.1 Pintojen heijastuskertoimet	20
	3.1.2 Pintojen valaistusvoimakkuus	21
	3.1.3 UGR häikäisyindeksi	21
	3.2 Häikäisy	22
	3.3 Valaistustason määrittäminen	22
	3.3.1 Valaistustasotaulukot kiinteistöissä	23
4	VALAISTUKSEN VAIKUTUS HYVINVOINTIIN	26
	4.1 Ihmiskeskeinen valaistus	27
5	BECKHOFF AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ	30
	5.1 Beckhoff toimilaiteterminaalit	31
	5.2 Beckhoff toimilaitteet keskuksessa	33
	5.2.1 Esimerkki virrankulutuksesta Beckhoff toimilaitteilla	37
6	BECKHOFFIIN YHDISTETTÄVÄT JÄRJESTELMÄT	39
	6.1 DALI-väyläohjaus	39
	6.2 KNX-väyläohjaus	40
	6.3 EnOcean langattomuus	44
7	VALAISTUKSEN OHJAUSTAVAT	45
	7.1 Perinteinen ohjausmenetelmä	45
	7.1.1 Triak- tai tyristorisäätö	45
	7.1.2 Transistorisäätö	45
	7.1.3 Yhdistelmäsäädin	46
	7.1.4 Push Dim himmennys	46

7.1.5 LED-säädin.....	47
7.2 Automaatio-ohjaus	47
7.2.1 Langattomat kytkimet	48
7.2.2 KNX-väyläpainikkeet	50
8 LAADUKKAAN VALAISTUKSEN TOTEUTUS BECKHOFF AUTOMAATIO JÄRJESTELMÄLLÄ.....	51
8.1 Lähtötiedot laadukkaaseen suunnitteluun	51
8.1.1 Asiakkaan palveleminen.....	52
8.2 Käytettävät asennusjärjestelmät	53
8.3 Valaistussuunnittelu	54
9 POHDINTA	56
LÄHTEET.....	58
LIITTEET	61
Liite 1. Esimerkki keskuskaaviosta Beckhoff toimilaitteilla	61

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
DIGMA	Avoin yhteisöllinen oppimisympäristö
lx	luksi
cd	kandela
m ²	neliömetri
K	kelvin
lm	luumen
sr	steradiaani
nm	nanometri
CRI	Color Rendering Index
W	watti
CS	circadian system
CLA	circadian light
LRC	Lighting Research Center
HCL	Human Centric Lighting
TwinCAT	The Windows Control and Automation Technology

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoite on perehtyä ensin valaistukseen vaikuttaviin fysikaalisiin ilmiöihin. Pohtia kuinka näiden avulla saadaan luotua ideaali ja laadukas valaistus, joka tukee hyvinvointia asiakaslähtöisesti. Tutustua valaistusstandardeihin eri rakennustyypeissä ja miettiä miten näitä voidaan hyödyntää hyvinvointia tukevaan valaistuksen toteutukseen omakotitaloympäristössä.

Samalla tutustutaan Moisiolinna Group Oy:n käyttämään Beckhoff automaatiojärjestelmään ja sen perusteisiin.

Päätarkoituksena työssä on saada uusi sähkösuunnittelija omaksumaan perusteita niin valosta kuin Beckhoff automaatiosta ja asiakaslähtöisestä suunnittelusta. Näitä tietoja hyödyntäen suunnittelija pääsee alkuun Moisiolinna Groupin suunnittelukohteiden kanssa.

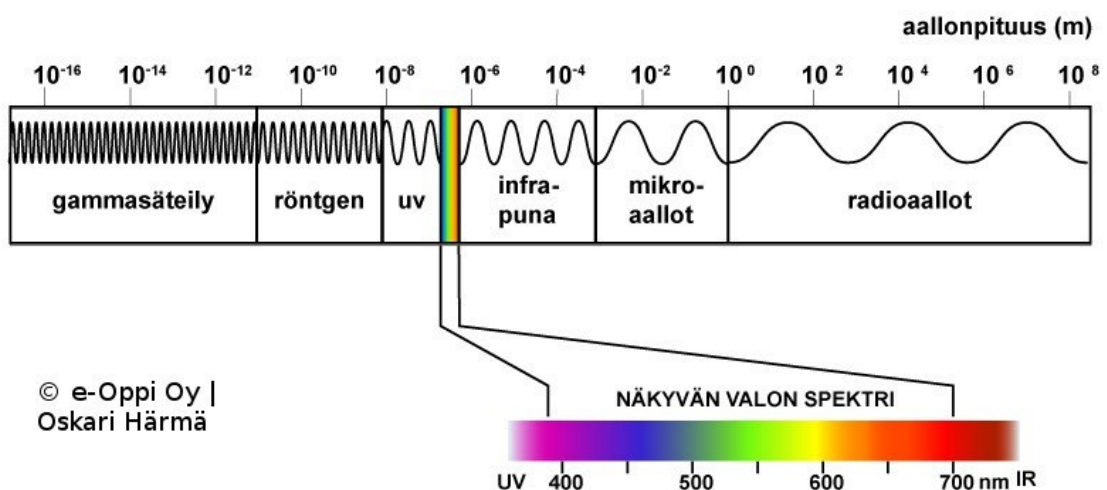
Aihepiiri sivuaa myös valaistuksen vaikutusta sisustuksessa, pohtien näkökantoja sen vaikutuksesta jaksamiseen, hyvinvointiin ja tunnelmaan. Omakotitalo/asuinrakennuskohteet, joita käytetään esimerkkinä ovat Moisiolinna Group Oy:n sähkösuunnittelutöitä, jotka opinnäytetyöntekijä on suunnitellut. Asiakkaiden yksityisyyden varmistamiseksi kohteista on poistettu asiakas- ja osoitetiedot. Kohteita käytetään esimerkkinä laadukkaan valaistuksen suunnitteluohjeessa. Laatuksiteerit ovat Moisiolinna Groupin asettamia, joilla varmistetaan, että kaikki suunnittelijat toimivat yhdenmukaisesti suunnittelukohteiden kanssa. Suunnitteluohje toteutetaan käyttäen Beckhoff automaatiota, sillä se ei ole niin tunnettu järjestelmä kuin työssä verrattava perinteinen ohjaustapa.

2 VALAISTUKSEN SUUREET JA TERMIT

Kappaleessa käsitellään yleisimpiä termejä ja valaistussuureita, jotka vaikuttavat siihen, kuinka koemme ja näemme valoa. Tämä on tärkeää pohjatietoa siltä kannalta, että voidaan oppia ymmärtämään, miten valo käyttäytyy ja miten sitä näemme.

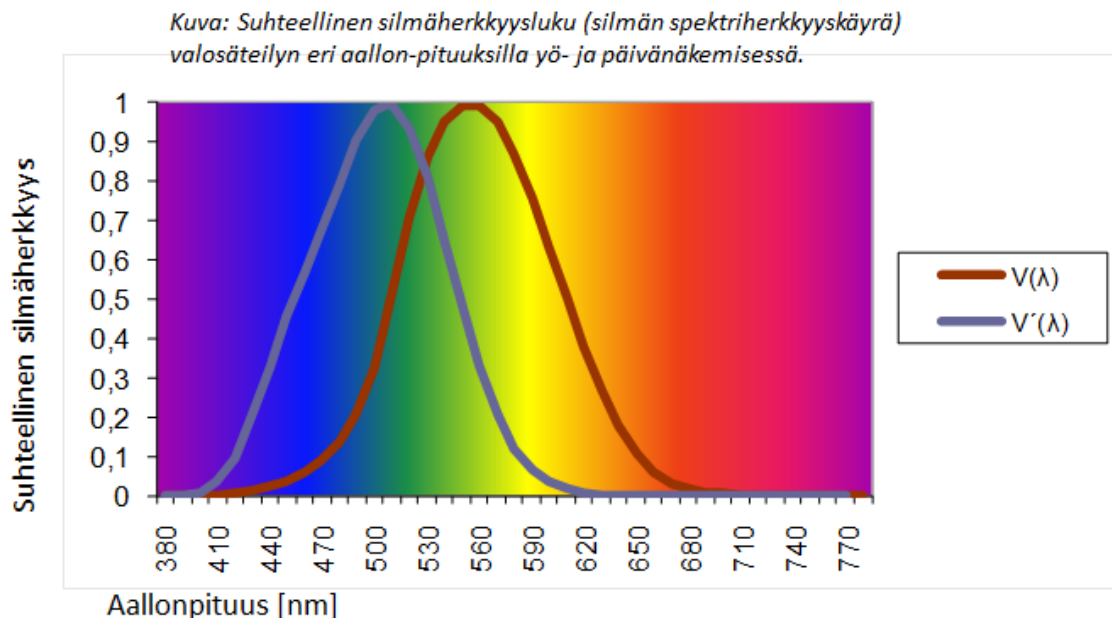
2.1 Näkyvän valon spektri

Käsite valon spektri on yksittäin niin laaja, jotta sitä olisi kokonaisuudessaan turha käsitellä kaikkeudessaan. Perehdytään siis tarkemmin näkyvän valon spektriin. Se tarkoittaa valon aallonpituusalueen silmin nähtävissä olevaa värija-kaumaa. Valon spektri tulee näkyviin esimerkiksi valon kulkiessa prisman läpi: prismassa valon eri aallonpituudet taittuvat eri tavoin ja silmä erottaa ne eri väreinä. Hyvänä esimerkkinä prismasta voimme käyttää vesipisaraa, joka aiheuttaa aurinkoisella kelillä veden sataessa sateenkaaren. Tässä tapauksessa näemme auringonvalon tuottaman värin taittuvan prisman eli vesipisaran läpi. Ihminen ja suurin osa muista eläimistä kykenevät havaitsemaan näkyvää valoa ja käyttämään hyväkseen värispektriä asioiden tunnistamiseen näköaistin avulla. Näkyvän valon lyhytaaltoinen pää on violetti ja pitkäaaltoinen punainen, kuten kuvassa 1 voidaan todeta. Peda.net Markku Järvinen, 2020



KUVA 1. Näkyvän valon spektri väreinä (e-Opپی Oy, Oskari Härmä)

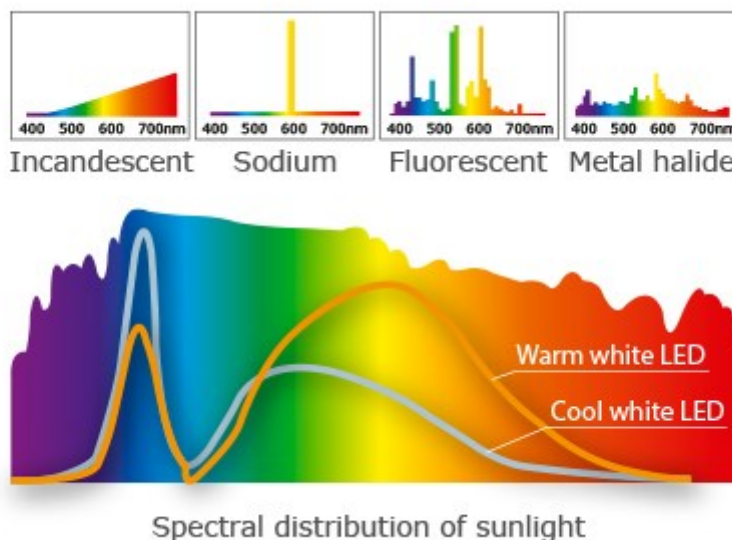
Näkyvä valo kattaa aallonpituusalueen 380–750nm. Silmä ei havaitse valon eri aallonpituuksia yhtä hyvin, vaan valoisuusaistimus riippuu silmään tulevan valon aallonpituudesta silmän spektriherkkyysluvun mukaisesti. Ihmisen silmän verkkokalvossa on kolmenlaisia fotoreseptoreita: värejä tunnistavia tappisoluja, hämärän valon tunnistavia sauvasoluja ja siniselle valolle herkkiä gangliosoluja. Tappinäkemisessä silmä on herkin kellanvihreälle valolle, jonka aallonpituus on 555nm ($V(\lambda)$ -käyrä). Heikossa valaistuksessa silmän herkkyysmaksimi siirtyy siniseen päin ja värit alkavat menettää kylläisyyttään. Pelkässä sauvanäkemisessä herkkyysmaksimi on 507nm ($V'(\lambda)$ -käyrä) ja koska sauvat eivät aisti värejä, ei värejä nähdä lainkaan. Gangliosolut ovat taas herkimpiä valolle, jonka aallonpituus on 480nm. Tämä vastaa aallonpituudeltaan sinistä valoa. Kuva 2 on erimerkki silmän spektriherkkydestä yöllä ja päivällä. DIGMA, Valo ja näkeminen, 2020.



KUVA 2. Silmän spektriherkkyyskäyrä (DIGMA, kurssit, sähkötekniikka/ valaistus)

Biologisia vaikutuksia aktivoivassa, valkoisessa valossa on paljon sinisiä aallonpituuksia, minkä vuoksi sitä sanotaan kylmäksi valkoiseksi valoksi. Tutkimukset osoittavat, että spektrin sinisen osan valolle altistuminen vähentää melatoniinin eritystä. Tiivistetysti voidaan sanoa, että kylmä sininen valo, jota on paljon aurin-
gonvalossa ja tietyissä valonlähteissä, auttaa vuorokausirytmien ylläpitämisessä ja kasvattaa subjektiivisesti koettua valppautta, elimistön ydinlämpötilaa ja sydä-

men syketiheyttä. Kuvassa 3 nähdään eri valonlähteiden spektrijakaumia. Vaihtoehtoisissa nähdään incandescent eli hehkulamppu, sodium eli natriumlamppu, fluorescent eli loisteputkilamppu, metal halide eli monimetallilamppu ja lämmin LED lamppu kuten kylmäkin. GLAMOX, 2020



KUVA 3. Eri valonlähteiden spektrijakaumia (GLAMOX, miten HCL toimii)

2.2 Valovirta

Seuraavana voidaankin käsitellä valovirtaa eli luumenia, sen tunnus lm ja on SI-järjestelmän mukainen valovirran yksikkö. Se kuvaa sitä valon määrää, jonka valovoimaltaan kandelan valonlähde säteilee steradianin avaruuskulmaan (sr): tämä valon määrä lankeaa metrin päästä kartion pohjalle, jonka (pallomainen) pinta-ala on neliömetri. ($1\text{lm}=1\text{cd}\cdot\text{sr}$) 60 W:n hehkulapun valovirta on noin 710 luumenia. ST 57.40, 2017.

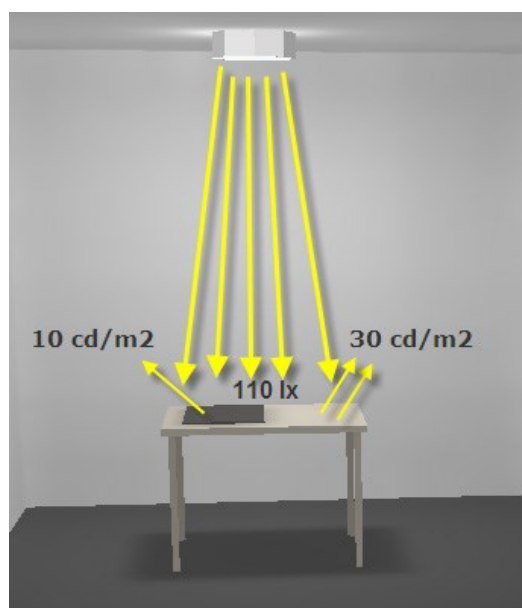
2.3 Valovoima

Valovoima, jonka yksikkö on kandela. Se mittaa valonlähteen valovoimaa eli valon intensiteettiä. Valovoima kertoo, kuinka paljon valoa lamppu säteilee johonkin tiettyyn säteilykulmaan. Kandela tulee latinan kielen sanasta candela ja se vastaa suurin piirtein tavallisen kynttilän valon voimakkuutta tai kirkkautta. Mitä enemmän valovirtaa eli luumeneita lamppu tuottaa, sitä suurempi on valovoima. Tässä tapauksessa täytyy ottaa huomioon, että mitattavan kohdelampun sätei-

lykulman on pysyttävä samana. Toisaalta, jos lamppu kohdistaa valonsa pienemmälle alueelle, on valovoima kandeloina suurempi, vaikka lampun tuottama valon määrä luumeneina olisi sama. Tästä syystä valovoiman lisäksi valmistajat ilmoittavat myös kohdelamppujen säteilykulman, sillä sitä tarvitaan valon määrän vertaamiseen. ST 57.40, 2017.

2.4 Luminanssi

Luminanssi kertoo valovoiman tarkastelusuunnassa pinta-alaa kohti. Kohteeseen osuvasta valovirrasta osa absorboituu eli imeytyy pintaan. Loppuosa heijastuu kohteesta. Heijastuva osuus määrää kohteen luminanssin. Luminanssin tunnus on L, SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on kandela per neliömetri (cd/m^2). Kuvassa 4 hahmotetaan pinnasta muodostuvaa heijastusta tummalla ja vaalealla pinnalla. ST 57.40, 2017; Ensto oppimisympäristö, 2019.



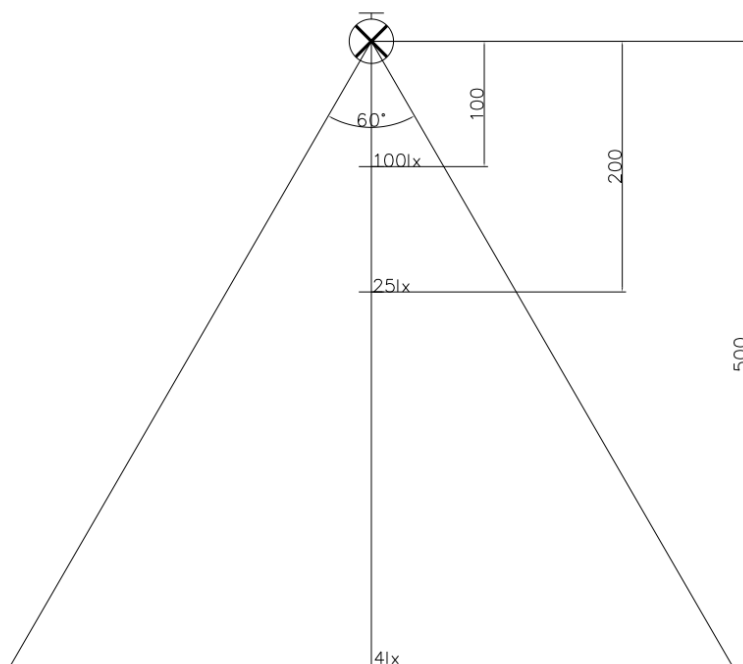
KUVA 4. Valon heijastuminen pinnasta (Ensto oppimisympäristö, 2019)

Mitä suurempi on pinnan luminanssi, sitä kirkkaammalta kohde näyttää. Vaikka valaistusvoimakkuus on useimmissa suosituksissa tärkein määriteltävä suure, on taustalla aina ajatus sopivista luminansseista, sillä luminanssi on valaistustekniikan ainoa nähtävissä oleva suure. Epätasainen luminanssijakautuma pienentää näkömukavuutta ja alentaa työtehoa monella tavalla. ST-kortin 58.07 valaistuksen laadun arviointi ja mittaus dokumentin mukaan häikäisyä syntyy, jos ympäristön luminanssi on niin suuri, ettei silmä enää pysty sopeutumaan siihen.

Yleinen valaistuksen aiheuttama häikäisy lähde on jokin näkökentän yksittäinen luminanssi, joka on näkökentän muita luminansseja paljon suurempi. Tällainen voi olla näkökentässä sijaitseva valonlähde tai voimakkaasti heijastava pinta, jolle tulee runsaasti valoa. Tumma tausta voimistaa häikäisyä huomattavasti lisäämällä luminanssieroaa, jos luminansseissa on suuria eroja tai ne muuttuvat liian nopeasti, joutuu silmä sopeutumaan uuteen luminanssiin jatkuvasti, joka puolestaan rasittaa silmää. Pahimmillaan liian korkeat luminanssit aiheuttavat mm. häikäisyä ja harsoheijastumista. Esimerkiksi ikkunasta näkyvä taivas, suoran auringonvalon valaisema vaalea kappale ja paljas lamppu ovat tyypillisimpiä ongelmakohtia. ST 58.07, 2017.

2.5 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuutta kuvataan kirjainsymbolilla E. Luksi, on yksi tärkeimmistä suureista mitoitettaessa käytettävään tilaan sopivaa valaistusta. Se kuvaa käsitteenä valonlähteen voimakkuutta pinnalla. Valaistusvoimakkuus on riippuvainen kyseessä olevan lampun valovirrasta, valaisimen optisista ominaisuuksista ja etäisyydestä valaistavaan pintaan. Luksi yksikkönä muodostuu Luumeneista (lm) ja neliömetristä (m²). Yksi luksi tarkoittaa siis valaistusvoimakkuutta, jonka yhden lumenin valovirta antaa jakautuessaan tasaisesti yhden neliömetrin alalle, on yhtä kuin 1lm/m². Mitä kauempana pinta on valaisimesta/ valonlähteestä, sitä pienempi valaistusvoimakkuus on. Hyvänä esimerkkinä tästä voimme käyttää kuvassa 5 havainnollistettua esimerkkiä siitä, että jos valaistusvoimakkuus on esimerkiksi 100 luksia 1 metrin etäisyydellä, se on 25 luksia 2 metrin päässä ja 4 luksia 5 metrin päässä. Luksit määrittävät muun muassa sen, kuinka hyvin voimme nähdä asioita. Tarkkaa työtä vaativat asiat vaativat myös valaistusvoimakkuudelta enemmän. Esimerkiksi käsityöt tai lukeminen vaativat tarvittavasti valoa, jotta voimme nähdä nämä silmiä rasittamatta. ST 58.07, 2017.

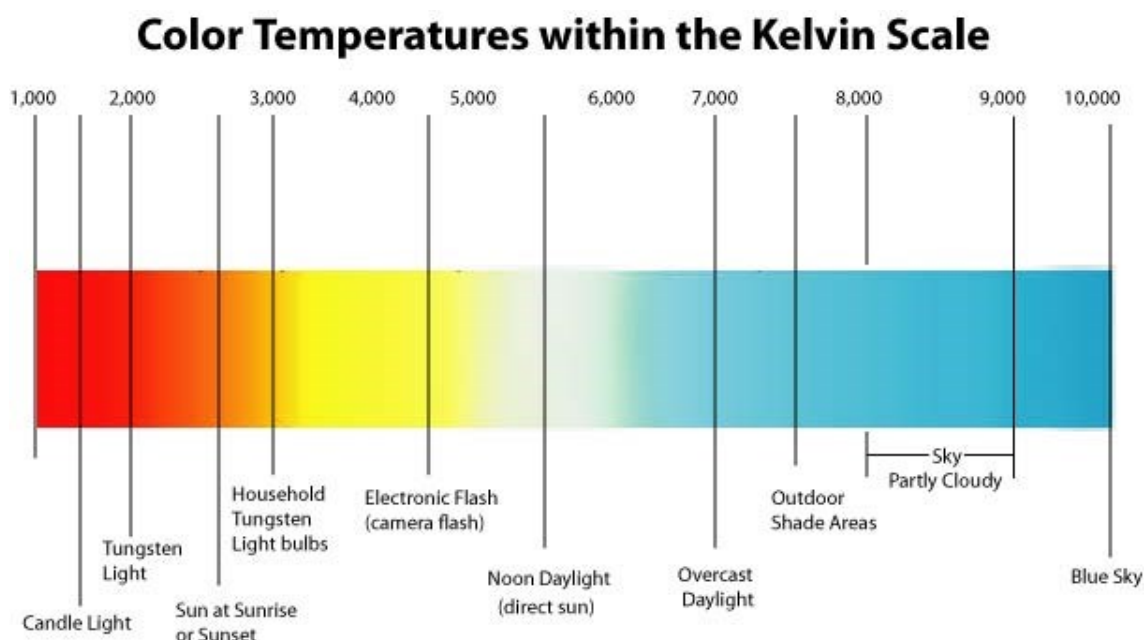


KUVA 5. Esimerkki valaistusvoimakkuudesta eri etäisyyksillä. Pituuden yksikönä kuvassa toimii senttimetrit.

2.6 Värilämpötila

Valon värisävy vaikuttaa siihen, kuinka hyvin näemme eri värejä. Värilämpötilan mittayksikkö on kelvin (K). Kelvin-arvo vaikuttaa valon väriin siten, että mitä korkeampi arvo on, sitä kylmempi ja sinertävämpi lampun tuottaman valon väri on ja päinvastoin. Eli mitä matalampi kelvin -arvo on, sitä punaisempi ja lämpimämpi valon värisävy on. Lampun värisävyllä on vaikutusta tunnelmaan, myös siihen kuinka näemme ja koemme värit. Kodin oleskelutiloissa suositetaan matalahkon värilämpötilan lamppuja, sillä niiden lämmin tai puhtaan valkoinen valo koetaan kodikkaan miellyttäväksi. Julkisissa tiloissa, kuten toimistoissa, kauppoissa ja kouluissa käytetään usein Kelvin-arvoltaan korkeita, sinertävän valkoisia loistelamppuja. Värilämpötilaltaan yli 5000 kelvinin lamppuja nimitetään päivänvalolampuiksi. Maan pinnalle saapuvan auringonvalon värilämpötila muuttuu jatkuvasti päivän aikana ilmakehän sinistä valoa sirottavan vaikutuksen vuoksi. Värilämpötilan noustessa valon väri muuttuu punaisesta (2000K) siniseksi (8000-10000K). Tyypillisen sisätilan valaistuksessa alueena pidetään monesti värilämpötiloja n. 2700 ja 6500 kelvinin välillä, joista yleisimmin omakotitaloissa

käytetään väriämpötilana 3000K, joka vastaa lämmintä valkoista sävyä. Kuvassa 6 on kuvastettu väriämpötilat kelvinasteikkoina vertailukohtineen. Fagerhult, 2020.



KUVA 6. Väriämpötilat kelvineinä (Photographers Color Light Lab)

2.7 Värintoistoindeksi ja -kyky

Lamput eivät toista kaikkia värejä luonnollisina. Värintoistoindeksi on mitta-asteikko, jolla mitataan, kuinka paljon tietyn valonlähteen keskimääräinen värintoisto poikkeaa vertailulähteen värintoistosta. Yleisimmin käytetään yleistä värintoistoindeksiä (Ra-indeksi). Ra-indeksiä määritettäessä verrataan valonlähteen värintoistokykyä kahdeksalla erivärisellä testivärillä vertailuvalonlähteeseen. Kaikilla väriämpötilaltaan alle 5000 K:n lampuilla käytetään vertailulähteenä vastaavan väriämpötilan Planckin (musta kappale) säteilijää. Väriämpötilaltaan yli 5000 K:n lampuilla vertailu tehdään vastaavan väriämpötilan päivänvalospektriin. Poikkeamista vertailuvalonlähteeseen lasketaan neliöllinen keskiarvo, jolloin yhden värin heikko toistaminen ei laske Ra-indeksiä kovinkaan paljoa. Tämä on ongelmallista valonlähteillä, joiden spektrissä on teräviä piikkejä ja kuoppia, kuten LED valoilla. Enimmäisarvo 100 vastaa täysin samanlaista värintoistoa. Ra-indeksin tulisi sisävalaistuksessa pääosin olla yli 80 ja hyvää värintoistoa edellytettäessä yli 90. CRI-arvo mittaa taas valaisimen vä-

rientoisto-ominaisuutta, joka mitataan koko värintoistoskaalan R1-R15 keskiarvosta. Kuvassa 7 on CRI-arvon mittaamiseen käytetyt värit. ST 57.40, 2017; Skilux, 2020



KUVA 7. CRI väriskaala (Skilux, hyvä tietää valosta)

Valaisimen teknisten ominaisuuksien kannalta punaisen värin värintoisto-ominaisuus on erittäin vaativa ja kertoo paljon valaisimen laadusta. Siksi mm. eri valaisimien CRI-vertailut on hyvä tehdä punaisiin tuotteisiin kuten omenoihin tai mansikoihin. Mitä korkeampi CRI-arvo, sitä parempi on valaisimen värintoisto. Kuvasta 8 hahmotamme CRI-arvon tärkeyden värintoistokykyyn. Skilux, 2020.



KUVA 8. Esimerkki värintoistokyvyn vaikutuksesta näkemiseen

Samaväristä valoa voidaan saada aikaan hyvinkin erilaisista valonlähteen säteilyvirran spektreistä. Siksi värilämpötilaltaan saman sävyisillä lampuilla saattaa olla selvästi erilaiset värintoisto-ominaisuudet. Kahdella valonlähteellä saattaa olla sama Ra-arvo ja värilämpötila, mutta erilaiset spektrit ja siten myös erilaiset värintoisto-ominaisuudet. Lampun värintoistokyky vaikuttaa valon laatuun

väriämpötilan ohella. Värintoistokyky kertoo, miltä huonekalujen ja muiden esineiden värit tulevat valossa näyttämään. Skilux, 2020.

2.8 RGB- ja RGBW värimalli

RGB-värimalli on väritila, jossa eri värejä muodostetaan sekoittamalla keskenään punaisen, vihreän ja sinisen väristä valoa. Värimallin nimi juontuu näiden päävärienenglanninkielisistä nimistä: Red, Green, ja Blue. RGB-värimallia käytetään värien esittämiseen muun muassa tietokoneessa ja televisiovastaanottimessa, joiden näyttölaitteiden pikselit muodostuvat punaisen, vihreän ja sinisen värisistä valonlähteistä. Yksittäiset ledit ovat teholtaan korkeintaan muutamien wattien luokkaa, joten ledilamppuihin ja -valaisimiin on laitettava useita ledejä, jotta valoa saadaan riittävästi. Latomalla piirilevylle eri värejä säteileviä ledejä, jotka sijaitsevat väriavaruuden eri puolilla, saadaan ns. RGB-valaisin, joka antaa valkoista valoa eri värejä säteilevien ledien valonjakojen sulautuessa toisiinsa. RGB-menetelmän etuna on, että säätämällä eri ledien valontuottoa saadaan aikaan valonheitin, jonka tuottaman valon värikoostumusta voidaan vaihdella. RGB-valaisimen valkoisen valon laatua voi edelleen parantaa lisäämällä joukkoon valkoista valoa tuottavia ledejä, jolloin puhutaan RGBW-valaisimesta. Eskelinen Matti, 2002.

2.9 MacAdam arvo

LED tuotteen värilaatu eli väriämpötilan tarkkuus ilmoitetaan parhaiten MacAdam-ellipseillä standardin CIE 1964 mukaan. MacAdam-järjestelmä on alun perin Yhdysvalloista, ja siinä värilaatua arvioidaan asteikolla 0–10. CIE 1964 soveltuu ledeille paremmin kuin CIE 1931, jota käytetään standardina perinteisille valonlähteille. Ilmoitettu arvo, esimerkiksi MacAdam 3 SDCM, kertoo ellipsin suuruuden, eli kuinka suurta poikkeamaa nimellisestä väriämpötilasta, vaikkapa 3000 K:sta, voidaan odottaa. Mitä alhaisempi luku on, sitä vähemmän hajontaa esiintyy. Kun arvot ovat 1–3, värissä ei näy juuri eroja, mutta kun arvot nousevat tästä ylöspäin sävyerot ovat selviä ja joissakin sovelluksissa suorastaan häiritseviä. Ongelma on suurin silloin, kun valaistava pinta on valkoinen tai kun ledejä sijoitetaan nauhana lähelle valkoista seinää. Muissa sovelluksissa ongelma on pienempi. Sisävalaistuksessa voidaan pitää hyväksyttävänä arvoja MacAdam

2–3 SDCM, kun taas ulkotiloissa värilaaduksi riittää yleensä MacAdam 7 SDCM. Vertailun vuoksi voidaan sanoa, että T5-loistelampun arvo on MacAdam 4. Fagerhult, 2020.

2.10 Warm Dim/ Tunable White

Mikä on "Tunable White" valaistus? Suomeksi se on säädettävä valkoinen valaistus ja sen kyvyksi määritellään valonlähteen väriämpötilan säätö. Tämä tehdään valmistamalla lamppu, valaisin tai LED nauha, jolla on eri väriämpötilan LEDit. Kauko-ohjaimella tai ulkoisella ohjausjärjestelmällä voit valita haluamasi valkoisen värin missä tahansa valmistajan ilmoittaman käytettävissä olevan alueen välillä. Yleisimpänä säädettävänä sävynä on usealla eri valmistajalla LED nauhoissa 2200K-5000K ja led valaisimissa 1800K – 4000K. Felxfire, 2020.

"Warm Dim" on tarkoittaa puolestaan LED-lampun väriämpötilan laskemista himmennettynä. Toisin sanoen, mitä pienempi kirkkaus, sitä lämpimämpi tai enemmän oranssinvärinen väri. Light Bulbs, 2020.

3 VALAISTUKSEN LAATU JA STANDARDIT

Lähdettäessä käsittelemään valaistuksen suunnittelua ja sen ohjeistuksia sekä standardeja on tärkeää ymmärtää laadukkaana valaistuksen perusteet. Luvussa 2 esitellyt valosuureet ja määritelmät ovat tärkeä osa tätä asiaa. Tärkeimpänä laadukkaassa valaistuksessa tulee kuitenkin ilmi ST-kortin 58.07 mukaan valaistusvoimakkuus ja tasaisuus.

Laadukkaassa ja hyvässä valaistuksessa on tärkeää, jotta jokainen valaistuksen laatuun vaikuttava aspekti otetaan huomioon, kuten sen voimakkuus, laatu, (mm. MacAdam arvo ei saa olla liian suuri) ja määrä on oltava riittävä. Valaistusvaatimukset määritetäänkin usein seuraavien perustarpeiden täyttymisellä:

- Näkömukavuus, tämä vaikuttaa mm katsojan hyvinvointiin ja työskentelykykyyn ja motivaatioon kyseisessä valaistuksessa, sekä joissain tapauksissa tämä on verrannollinen myös työn laatuun.
- Näkötehokkuus, tarkoittaen sitä, että alueella voidaan työskennellä myös pidempiä aikoja vaativissa olosuhteissa.
- Turvallisuus, eli nähdään tarvittavan tarkasti työskentely- ympäristö.

Näiden lisäksi laatuun vaikuttaa valaistuksen luminanssijakauma, valaistusvoimakkuus, valon suuntaus sisätiloissa, valon vaihtelevuus tasoilla, valon värisävy ja sen värintoisto-ominaisuudet, häikäisy ja viimeisenä, muttei vähäisempänä valon välkyntä. SFS-EN 12464-1, 2011; ST 58.07, 2017.

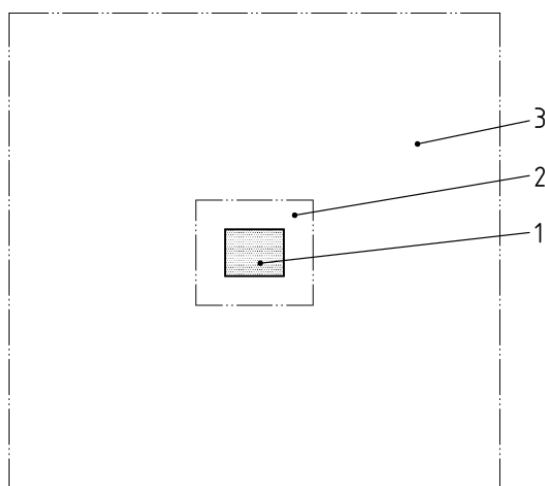
3.1 Valaistuksen laatu ja standardit omakotitalossa

Kaikki Suomessa käytössä olevat valon laatuvaatimukset on suunniteltu työympäristöön, tai julkisiin rakennuksiin, joissa liikkuu samanaikaisesti paljon ihmisiä. Kuinka nämä sitten vaikuttavat omakotitalo-oloissa, jotka ovat usein tarkoitettu elämiseen työmaailman ulkopuolella.

Rakennuksissa olevien henkilöiden mukavuuden sekä paremman sopeutumisen parantamiseksi voidaan hyödyntää näitä samoja asioita myös kotona. Hämärän välttämiseksi on tärkeää, että pinnat, erityisesti seinät ja katto ovat valoisia.

Tasapainoisen luminanssijakauman aikaansaamiseksi on hyvä hyödyntää käytettäviä laskentasovelluksia, kuten Dialux Evo. Valaistuksen laskentasovellusten avulla voidaan määrittää jokaiselle pinnalle sen heijastusominaisuudet ja tarkastella näiden aiheuttamia heijastuksia ja häikäisyjä.

Valaistussuunnittelijan tehtävänä sovellusta käyttäessä on harkita ja valita sisäpinnoille soveltuvat heijastussuhteet, jotka asukas ja sisustussuunnittelija ovat valinneet käytettäväksi kohteeseen. Sen jälkeen hän määrittää asiakkaan kanssa tiloille sopivat valaistusvoimakkuudet tilan käyttötarkoituksen mukaan. Sisävalaistuksen voimakkuus vaihtelee usein 100lx ja 1000lx välillä. Omakotitalokäytössä ei kuitenkaan yleensä ylitetä 500lx valaistustehokkuutta, sillä se riittää jo vaativaankin keskittymistyöhön. Liian suuret valaistusvoimakkuudet aiheuttavat energian tuhlauksen lisäksi muitakin laatua heikentäviä ilmiöitä, kuten kiusahäikäisyä ja heijastumista kiiltävistä pinnoista. Valaistusvoimakkuuden lisänä laadukkaassa valaistuksessa on tärkeää, että valo on tasaista. Epätasaisella valaistuksella silmä rasittuu joutuessaan tekemään työtä sopeutuessaan erilaisiin valaistustasoihin. Tämän takia suunnittelussa tulee pyrkiä mahdollisimman suuriin tasaisuuksiin, etenkin alueilla, joissa työskennellään, kuten keittiö, tai työhuone. Esimerkiksi tavanomaisessa toimistohuoneessa suositeltava valaistusvoimakkuus on työalueella 500 lx ja välittömässä lähiympäristössä 300 lx. Tausta-alueella riittää tällöin 100 luksin valaistusvoimakkuus. Kuvassa 9 on hahmoteltu nämä alueet. Numero 1 on työalue, 2 välitön lähiympäristö (vähintään 0,5 m leveä vyöhyke näkökentässä työalueen ympärillä) ja numero 3 tausta-alue (vähintään 3 m leveä välitöntä lähiympäristöä ympäröivä alue tilan asettamissa rajoissa) SFS-EN 12464-1, 2011; ST 58.07, 2017.



KUVA 9. Valaistusvoimakkuuden mittaamisen alueet (SFS-EN 12464-1)

Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuuden arvo määritellään "Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus osa 1: sisätilojen työkohteiden valaistus" SFS-EN 12464-1 standardissa tila- ja tehtäväkohtaisesti. Välittömässä lähiympäristössä yleistasaisuudeksi vaaditaan vähintään 0,4. Tausta-alueella riittää 0,1 yleistasaisuus. Taulukossa 1 kerrotaan välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus verrattessa työalueen valaistusvoimakkuuteen.

TAULUKKO 1. Työalueen välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden riippuvuus työalueen valaistusvoimakkuudesta (SFS-EN 12464-1)

Työalueen valaistusvoimakkuus lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
< 200	sama vaatimus kuin työalueella

Tilat, joissa ihmiset liikkuvat tai työskentelevät, on valaistava hyvän visuaalisen viestinnän ja kohteiden tunnistamisen vuoksi. Sisustuksessa käytettävä valaistus on yleensä hieman himmeämpää ja lämpimämpää kuin työskentelyyn käytettävä valaistus. Suunnitellessa tiloja monikäyttöä varten voidaan hyödyntää Warm Dim ominaisuutta ja Tunable White säätöä valaisimissa. Näin ollen voidaan valolla sekä työskennellä, että luoda tunnelmaa ja sisustaa. Värintoistokykyä suositellaan käytettävän vähintään Ra>80 värilämpötilasta riippumatta.

3.1.1 Pintojen heijastuskertoimet

Esimerkkinä voidaan käyttää mm seuraavia arvoja tärkeimmille hajaheijastaville sisäpinnoille:

- katto: 0,7...0,9
- seinät: 0.5...0,8
- lattia: 0,2...0,4.

Esineiden, kuten kodin kalusteet, koneet, huonekalut yms. heijastuskertoimien tulisi olla alueella 0,2...0,7. SFS-EN 12464-1, 2011.

3.1.2 Pintojen valaistusvoimakkuus

Kaikissa suljetuissa tiloissa tärkeimpien pintojen ylläpidettyjen valaistusvoimakkuuksien tulee olla vähintään:

- seinillä $m > 50$ lx, ja $U_0 \geq 0,10$
- katossa $m > 30$ lx, ja $U_0 \geq 0,10$

Valaistusvoimakkuuden arvoa voidaan muuttaa vähintään yhden portaan verran valaistusvoimakkuusasteikolla, mikäli näköolosuhteet poikkeavat tavanomaisesta. SFS-EN 12464-1, 2011.

3.1.3 UGR häikäisyindeksi

Sisätilojen valaistusasennuksen valaisimien suoraan aiheuttama kiusahäikäisy tulee määrittää käyttäen UGR-menetelmää (Unified Glare Rating). Häikäisyindeksi lasketaan kaava 1 mukaan yhtälöstä,

KAAVA 1. Häikäisyindeksin laskeminen

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

missä L_B on taustan luminanssi, laskettuna yhtälöstä $E_{ind} \times \pi^{-1}$, missä E_{ind} on asennuksen aiheuttama pystytason epäsuora valaistusvoimakkuus havainnoitsijan silmän pinnalla, yksikkönä $cd \times m^{-2}$. L on jokaisen valaisimen valaisevien osien luminanssi havainnoitsijaa kohti, yksikkönä $cd \times m^{-2}$. ω on se avaruuskulma (steradiaania), jossa tarkasteltavan valaisimen valaisevat osat näkyvät havainnoitsijan silmään ja p on jokaisen yksittäisen valaisimen Guthin sijaintikerroin, joka on verrannollinen valaisimen sijainnin poikkeamaan katsesuunnasta. SFS-EN 12464-1, 2011.

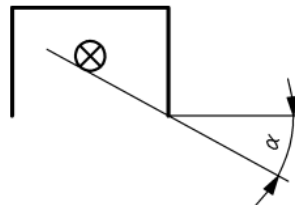
3.2 Häikäisy

Häikäisy on valaistuksen pahimpia aiheuttamia haittoja. Nimittäin häikäistessään valaistus heikentää näköolosuhteita. Otetaan esimerkiksi auringon valo, joka häikäisee autolla ajaessa, tämä saa sulkemaan silmät ja se taas haittaa näkemistä. Häikäisy jaetaan usein suoraan ja epäsuoraan häikäisyyn. Se määritetään sen mukaan, onko häikäisyn aiheuttajana itsessään kirkas valonlähde vai heijastuuko valo joltain pinnalta ja häikäisee tätä kautta. Häikäisyä jaetaan myös vaikutustavan mukaisesti kiusa- ja estohäikäisyyn, joista jälkimmäistä tavataan harvemmin sisätiloissa.

Häikäisyä syntyy, jos ympäristön luminanssi on niin suuri, ettei silmä pysty sopeutumaan siihen. Yleensä häikäisyyn vaikuttaa myös siirtyminen esim. pimeästä kirkkaaseen sisätilaan, kuten kauppaan. Tumma tausta myös voimistaa häikäisyä lisäämällä tapahtuvaa luminanssieroa. Kiusahäikäisy kasvaa, kun valaisimen valoaukon keskimääräinen luminanssi tai koko kasvaa. Taulukossa 2 on annettu arvot minimihäikäisysoojakulmalle lampun luminanssin mukaan. Taustan luminanssin kasvu ja valaisimen siirtäminen pois katsesuunnasta puolestaan pienentää häikäisyindeksiä. SFS-EN 12464-1, 2011.

TAULUKKO 2. Minimihäikäisysoojakulma lampun luminanssiin verrattuna (SFS-EN 12464-1)

Lampun luminanssi kcd·m ⁻²	Minimihäikäisysoojakulma α
20... < 50	15°
50... < 500	20°
≥ 500	30°



3.3 Valaistustason määrittäminen

Standardista SFS-EN 12464-1 löytyy tilojen valaistustasoja mm seuraaviin:

- Liikennealueet rakennuksen sisällä
- Yleiset tilat rakennusten sisällä
- Teollisuus ja käsityö

- Toimistot
- Liiketilat
- Julkiset kokoontumistilat
- Opetustilat
- Terveystilat
- Kuljetus- ja liikennealueet

Omakotitaloihin ei ole määritetty standardissa SFS-EN 12464-1 virallisia ohjeistuksia muuten kuin ”valaistuksen määrä on oltava riittävää ja laadukasta”. Joh-tuen osittain siitä, että koemme ja näemme valon eri tavalla ja osittain siitä, että käyttäjä haluaa tilojen pysyvän muokattavana valaistuksen osalta. Monessa ta-pauksessa olisi kuitenkin hyvä, että riittävä valaistus mitoitettaisiin sellaiseksi, että jokaisessa käyttötilassa voitaisiin työskennellä keskittymistä vaativiin tehtä-viin niin että valon määrä ja laatu tukevat hyvinvointia. Voimme kuitenkin käyttää apunamme julkisiin rakennuksiin käytettäviä standardin asettamia valaistusvaa-timuksia myös pienrakentamisessa. Kuten usein myös asuinrakennuksessa on portaikkoja, käytäviä, vaatehuoneita, kylpyhuoneita ja WC-tiloja.

3.3.1 Valaistustasotaulukot kiinteistöissä

Taulukoiden mukaan voidaan ottaa viitteitä eri tiloille/työpisteille määritetyistä va-laistustasovaatimuksista julkisissa rakennuksissa. Kuten taulukossa 3 on hyvät esimerkit, millaiset valaistusvaatimukset on oltava julkisten rakennusten yleisillä kulkuväylillä. Tätä voidaan hyödyntää myös omakotitalojen portaikkoihin.

TAULUKKO 3. Julkisten rakennusten yleiset tilat, kulkuväylät (SFS-EN 12464-1 Taulukko 5.1)

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Erityisvaatimukset
Liikennealueet ja käytävät	100	28	0,40	40	<ul style="list-style-type: none"> • lattiatasolla • R_a ja UGR kuten viereisillä alueilla • 150 lx, mikäli reitillä on ajoneuvoja • Ulos- ja sisäänkäynnin valaistuksen tulee muodostaa sopeutumisvyöhyke sisä- ja ulkotilan välisen jyrkän valaistusvoimakkuuseron välttämiseksi päivällä tai yöllä. • Ajoneuvojen kuljettajien ja jalankulkijoiden häikäistymisen välttämiseen on kiinnitettävä huomiota.
Portaikot, liukuportaat, liukukäytävät	100	25	0,40	40	Vaatii parannetun kontrastin porrasaskelmilla.
Hissit	100	25	0,40	40	Valaistusvoimakkuuden hissien edessä tulisi olla vähintään $\bar{E}_m = 200$ lx.
Ajoluiskat, lastausalueet	150	25	0,40	40	

Taulukossa 4 on julkisten rakennusten lepohuoneiden ja saniteettitilojen valaistusvaatimukset. Näiden osalta saadaan vinkkejä millaisia valaistustasoja olisi hyvä olla esimerkiksi pesutiloissa, vaatehuoneissa, sekä lepohuoneissa.

TAULUKKO 4. Julkisten rakennusten yleiset tilat, Lepo huoneet ja saniteettitilat (SFS-EN 12464-1 Taulukko 5.2)

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Erityisvaatimukset
Kahvihuoneet	200	22	0,40	80	
Lepo huoneet	100	22	0,40	80	
Kuntoilutilat	300	22	0,40	80	
Vaatehuoneet, pesutilat, kylpyhuoneet, WC	200	25	0,40	80	Jokaisessa erillisessä WC:ssä, jos ne ovat täysin suljettuja.
Sairashuone	500	19	0,60	80	
Lääkintähuone	500	16	0,60	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 5\ 000\ K$

Taulukko 5 puolestaan antaa hyvää osviittaa siitä, minkälaiset valaistustasot olisi hyvä olla mm. teknisessä tilassa.

TAULUKKO 5. Julkisten rakennusten yleiset tilat, valvomot (SFS-EN 12464-1 Taulukko 5.3)

Tila tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
Talotekniset tilat, kytkentälaitetilat	200	25	0,40	60	
Telex- ja postihuoneet, puhelinkeskus	500	19	0,60	80	

Taulukosta 6 selviää varastotilojen valaistusvaatimukset julkisissa rakennuksissa. Näitä voidaan myös hyödyntää omakotitalojen varastotilojen valaistus suunnittelussa.

TAULUKKO 6. Julkisten rakennusten yleiset tilat, varastot ja kylmät varastot (SFS-EN 12464-1 Taulukko 5.4)

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
Varastotilat	100	25	0,40	60	200 lx, jos työskentely on jatkuvaa.
Lähetämö- ja käsittelyhuoneet	300	25	0,60	60	

4 VALAISTUKSEN VAIKUTUS HYVINVOINTIIN

Valo ohjaa ihmisen biologista kelloa ja on vuorokausirytmien tärkein ohjaaja. Päivänvalo vaikuttaa sen vuoksi hyvinvointiimme merkittävästi. Kaikilla elävillä organismeilla on käytössään sisäinen rytmi, biologinen sykli, joka toistaa itseään päivittäisesti. Se muodostuu ja sitä säännöstelee luonnossa esiintyvät signaalit, kuten tärkeimpänä näistä valon ja pimeyden kierto vuorokauden aikana. Tässä tapauksessa niin ihmisillä kuin suurimmalla osalla eläimistä valo ja pimeys osuessaan silmänpohjaan aiheuttaa hermostollisia signaaleja, jotka vaikuttavat biologisen kellon synkronisointiin. Valon kylmät, valkoiset aallonpituudet estävät melatoniinin erittymistä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että ilman tätä voidaan kokea pitkävaikutteisia puutteita fyysiseen toimintakykyyn. Hermostolliset häiriöt ja unen puute aiheuttaa sydämen toimintahäiriöitä, diabetesta ja jopa tiettyntyyppistä syöpää. Valon määrä vaikuttaa sisäiseen rytmiiin vähentämällä melatoniinin tuotantoa tai lisäämällä sitä, riippuen siitä onko kyse kirkkaudesta vai hämärästä. Päivänvalon määrä kuitenkin vaihtelee päivän mittaan vuodenaikojen ja ilmasto-olosuhteiden mukaan. Sisätiloissa, joissa käytetään seinäikkunoita, päivänvalon saatavuus pienenee nopeasti etäisyyden ikkunoista kasvaessa. Lisävalaistusta saatetaan tarvita sekä riittävän valaistusvoimakkuuden varmistamiseksi työskentelyalueella että tilan luminanssijakauman tasapainottamiseksi.

Valo on tärkeää jokaisen ihmisen terveydelle ja hyvinvoinnille. Valo vaikuttaa ihmisten mielialaan, tunteisiin ja vireystilaan. Se voi myös tukea ja tahdistaa vuorokausirytmiiä sekä vaikuttaa ihmisten fysiologiseen ja psyykkiseen tilaan. Viimeisimmät tutkimukset osoittavat, että edellä mainittuihin tekijöihin vaikuttavat tässä standardissa EN 12464-1 esitettyjen valaistussuunnitteluperusteiden lisäksi myös ns. ei-visuaalinen valaistusvoimakkuus ja värivaikutelma. Kellonajan mukaan vaihtelevat valaistusolosuhteet, kuten suurempi valaistusvoimakkuus, luminanssijakauma ja laajempi värilämpötilan vaihteluväli, kuin tässä eurooppalaisessa standardissa on esitetty, yhdessä päivänvalon ja/tai tätä tarkoitusta varten optimoitujen keinovalaistusratkaisujen kanssa voivat stimuloida ihmisiä ja parantaa heidän hyvinvointiaan. Suositeltavat vaihteluvälit ovat tällä hetkellä harkinnassa EN 12464-1 standardin mukaan. Rensselaer Polytechnic Institute, 2019.

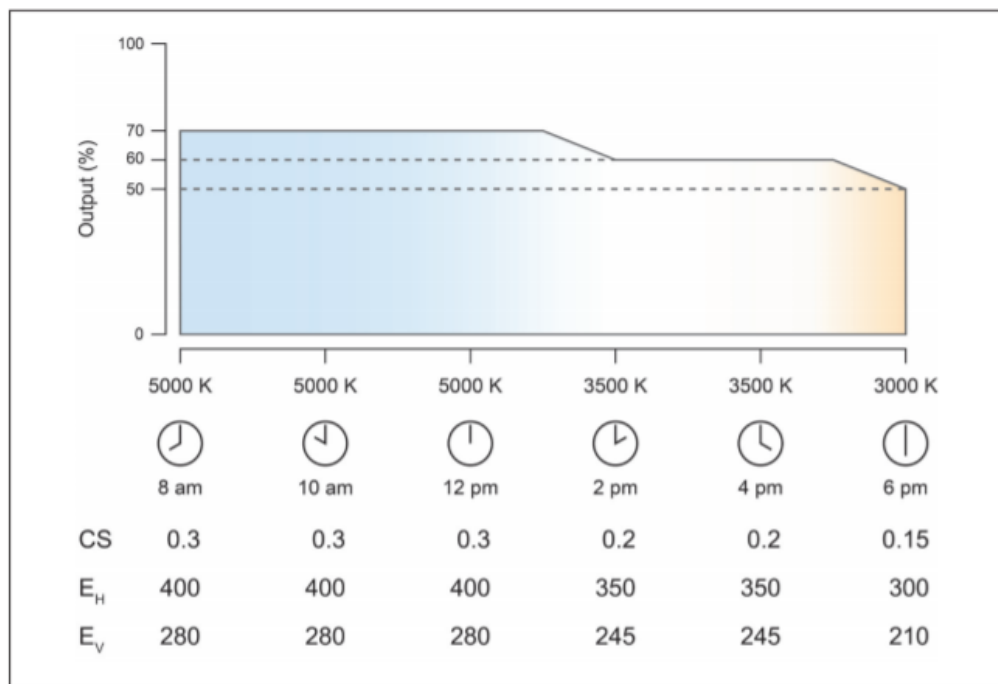
Elimistön sisäiseen vuorokausirytmiiin perustuva valaistuksen suunnittelu eroaa perinteisestä valaistussuunnittelusta. Perinteistä suunnittelua lähestytään näkökykyyn perustuvien suurein, sekä sen mukaan kuinka paljon häikäisyä tai varjoa, värinostokykyä, turvallisuutta tai tilan vaikutusta valaistuksella kontrolloidaan. Näitä ei kuitenkaan unohdeta kokonaan tässä suunnittelussa. Tarkoituksena on luoda ei-visuaalisia efektejä valolla, kuten vuorokausirytmien sekoittuminen ja valppaus, joihin eivät normaalit standardit ja mitoitusuureet päde. Rensselaer Polytechnic Institute, 2019.

4.1 Ihmiskeskeinen valaistus

Kun puhutaan ihmiskeskeisestä valaistuksesta, puhutaan ihmisen hyvinvointia tukevasta valaistuksesta. Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelun apuna käytetään CS-arvoa (circadian system). Sitä käytettäessä on tärkeää ottaa huomioon valaistusvoimakkuus, valon värisävy, kellonaika ja valolle altistumisen kesto, myös valolle altistumisen aikaisempi historia. Hyvänä ensimmäisenä asiana on tarkastella, voidaanko kyseisellä valaistusjärjestelmällä tuottaa tarvittava määrä CS-arvoa. Säteilyn määrän ja säteilykulman on oltava vaaditulla tasolla, jotta sen osuessa sarveiskalvolle saadaan aikaiseksi vaikutusta. Näiden avulla lasketaan CLA-arvo (circadian light), joka määrittää sen kuinka paljon sarveiskalvolle tarvitaan valoa, jotta voidaan vaikuttaa melatoniinin tuotantoon suuntaan tai toiseen. CS-arvoa määritetään arvoilla välillä 0.1 ja 0.7. Ensimmäinen näistä kuvaa himmeää ja keltaista valaistusta, jälkimmäinen taas kirkasta. Tutkimukset osoittaneet, että yli 0.3 CS-arvolle altistuminen vähintään tunnin ajan päivästä saa aikaan positiivisia vaikutuksia mm. Alzheimer-potilailla, toimistotyöntekijöillä, teini-ikäisillä kuin myös vanhuksilla. Positiiviset vaikutukset näkyvät mielialan kohene- misena ja parempana unen laatuna. Rensselaer Polytechnic Institute, 2019.

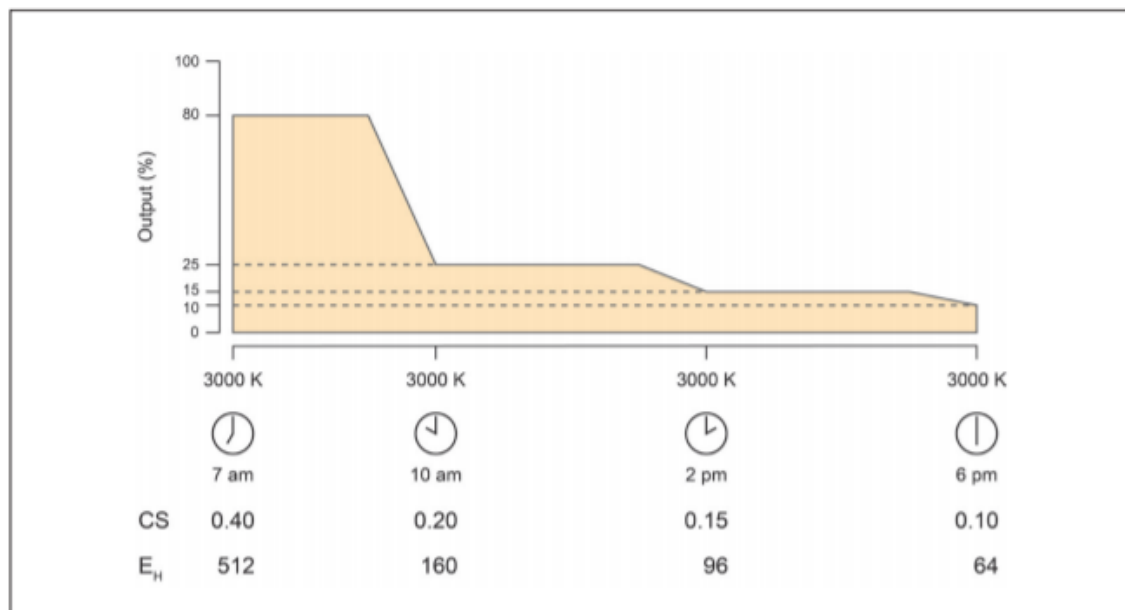
Lighting Research Center (LRC) on kehittänyt CS-laskimen, joka auttaa suunnittelijoita kehittämään hyvinvointia ja luonnollista vuorokausirytmiiä tukevaa valaistusta. Suunnitellessa tarvitsee tietää valon spektrijakauma, aallonpituus ja värisävy. Yksinään pelkät korkeat kelvinit eivät kerro sitä, että valaisimen valonjakauma tukisi myönteisesti hyviä CS-arvoja. Valon osuminen silmän verkkokalvoon tulee olla myös vertikaalista, eikä pelkästään horisontaalista. Suositellaan

käyttämään valaisimia, joissa valo jakaantuu sekä vertikaalisesti että horisontaalisesti. LRC on myös tutkinut, että parhaimman tuloksen saa yhdistämällä suoraa ja epäsuoraa valoa samaan tilaan. Kuvassa 10 on annettu esimerkki, kuinka valon värisävyä ja valaistusvoimakkuutta olisi hyvä säädellä kellon ajan mukaan, jotta tämä tukisi mahdollisimman hyvin päivittäistä melatoniinin tuotantoa. Tässä tapauksessa käytettäisiin Tunable White valaisimia. E_H kuvaa taulukossa horisontaalista valaistusvoimakkuuden määrää lukseina ja E_V kuvaa vertikaalisen valaistusvoimakkuuden määrää. Rensselaer Polytechnic Institute, 2019.



KUVA 10. Esimerkki valon voimakkuuden ja värisävyn kellotuksesta (Lighting Research Center, https://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/LDA_CircadianStimulus_Oct2016.pdf)

Kuvassa 11 on esimerkki taas valaistuksen voimakkuudesta käytettäessä vain yhtä värisävyä. E_H kuvaa taulukossa horisontaalista valaistusvoimakkuuden määrää lukseina.



KUVA 11. Muutokset CS-arvoon vaikuttaen valaistusvoimakkuuteen (Lighting Research Center, https://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/LDA_CircadianStimulus_Oct2016.pdf)

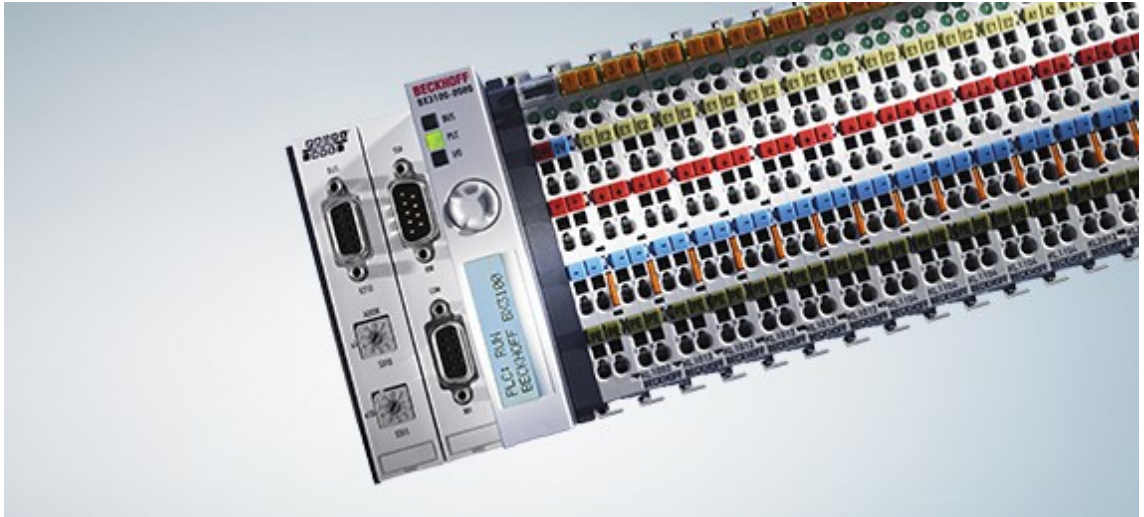
5 BECKHOFF AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Ennen kuin aloitetaan suunnittelemaan kohdetta käyttäen Beckhoff automaatiota, tutustutaan vähän yleisesti siihen mikä on Beckhoff. Beckhoff loi globaalin standardin automaatiota varten julkaistessaan PC-pohjaisen ohjaustekniikan 1986. Automaatiojärjestelmän ohjaimena toimii teollisuustason PLC (Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikkaohjain), joka asennetaan rakennuksen sähkökeskukseen yhdessä anturi- ja toimilaiteterminaalien kanssa. PLC-ohjain huolehtii nopeasti ja luotettavasti jokaisesta ohjattavasta tapahtumasta ja ilmoittaa mahdollisista vikatilanteista automaattisesti. Kuvassa 12 on annettu esimerkki, miltä Beckhoffin automaatiojärjestelmä näyttää.

Järjestelmää voidaan hallita joko paikallisesta kosketusnäytöstä tai selainpohjaisesti esimerkiksi älypuhelimesta. Ohjaimen liitetään tarvittava määrä anturi- ja toimilaiteterminaaleja. Näihin terminaaleihin kytketään esimerkiksi painonapit valaistuksen ohjausta varten, lämpötila-anturit lämpötilamittausta varten, venttiilit lämmitystä ja veden tulon katkaisua varten sekä valaisimet valaistusta varten. Järjestelmä on vapaasti koottavissa tarpeen mukaan, joten kaikki yksilölliset toiveet ja vaatimukset voidaan toteuttaa Beckhoff järjestelmällä. Sillä voidaan ohjata monipuolisesti LVIS-järjestelmiä niin, ettei käyttäjä edes havaitse kaikkia toimintoja. Pyrkimys automaatiossa on säästää energiaa, sekä luoda miellyttävä elinympäristö, joka tukee hyvinvointia. Kun kaikki asunnon ohjaukset ovat liitettyinä samaan automaatiojärjestelmään, voidaan tilanneohjauksilla hallita talon energiankulutusta vuodenaikojen, kellonaikojen ja sääolosuhteiden mukaan. Beckhoff, 2020.

Käyttöliittymänä Beckhoffissa toimii TwinCAT (The Windows Control and Automation Technology), jolla voidaan saada lähes mikä vain PC-pohjainen ohjausjärjestelmä noudattamaan reaaliaikaista ohjausta useaan PLC-ohjaimen, NC-/CNC-koneeseen tai robotteihin. Beckhoffin tuotteita ja järjestelmäratkaisuja käytetään maailmanlaajuisesti monenlaisissa sovelluksissa nopeista työstökeskuksista aina älykkääseen rakennusautomaatioon. Tavallisemmin sitä käytetään ohjaukseen teollisuudessa, mutta viime aikoina se on siirtymässä käytettäväksi automaatiojärjestelmäksi myös asuinkiinteistöihin.

Tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa kenttäväyläkomponentit, liikkeenohjaustuotteet, teollisuus- PC:t ja ohjauspaneelit sekä automaatiosovelluksien ohjelmistot. Eri ryhmien tuotteita voidaan käyttää erillisinä komponentteina, tai ne voidaan integroida täydellisiksi ohjausjärjestelmiksi. Kuten DALI ja KNX ovat täysin liitettävissä Beckhoffiin.



KUVA 12. Beckhoffin PLC-ohjain ja toimilaiteterminaaleja

5.1 Beckhoff toimilaiteterminaalit

Toimilaiteterminaalit käyttävät eri väyläkommunikointimenetelmiä. K-Bus ja E-bus määräytyy toimilaiteterminaaleissa, toiselta kutsumanimeltään myös Beckhoff kortti, sen mukaan mitä väyläkommunikointimenetelmää kyseinen toimilaite käyttää. K-bus käyttää RS232/RS485 standardisoitua sarjaliikenneväylää (tämä on yleisimmin lähes kaikissa toimilaiteterminaaleissa käytetty kommunikointimenetelmä) ja E-bus taas EtherCATin välityksellä tapahtuvaa väyläkommunikointia, joka on Beckhoffin kehittämä ja standardisoima Ethernetin välityksellä tapahtuva nopea kommunikointi. Kuvassa 13 nähdään eri toimilaitteita ja kuvassa 14 nähdään esimerkki EtherCAT väylästä. Beckhoff, 2020.

Bus Terminal – The modular fieldbus system for automation



KUVA 13. Esimerkkejä bechhoffin kenttäväylälaitteista (Beckhoff, Bus Terminal)

Leveraging high-speed Ethernet. PC- and EtherCAT-based control technology from Beckhoff.



KUVA 14. Esimerkki Beckhoffin kommunikaatiöväylästä

Väyläkytkimet ja väyläterminaaliyhjaimet linkittävät väyläjärjestelmät modulaariin, laajennettavissa oleviin elektronisiin riviliittimiin. Yksi yksikkö koostuu yhdestä väyläliittimestä, mistä tahansa lukumäärästä päätelaitteita välillä 1 ja 64, ja väyläpäätteestä. Economy plus- ja Compact-sarjat tukevat kaikkia Beckhoff järjestelmän väyläterminaaleja. Tässä Bus Coupler -sarjassa on myös mahdollista käyttää jopa 255 väyläterminaalia K-väylän jatkeella.

Bus Terminal -laajennuksen avulla väyläterminaalit voidaan sijoittaa enintään 31 lohkon kytkentäkaapissa tai -sovelluksessa. Koska väyläterminaaliyhjaimien vä-

linen etäisyys on enintään 5 m, väyläterminaalijärjestelmää voidaan käyttää laajemmalla alueella ja se auttaa säästämään kustannuksia. Väyläkytkin tunnistaa päätelaitteet, joihin se on kytketty, ja muodostaa tulojen ja lähtöjen osoituksen prosessin tavuihin automaattisesti. Väyläterminaalit käsittelevät lohkoja, joissa on pääteväyläpidennys. Laajennus on läpinäkyvä kenttäväylä- ja korkean tason järjestelmille.

Väyläkytkimen ja väyläterminaalin järjestelmää voidaan laajentaa korvaamalla KL9010-päätelaite KL9020-laajennuksella. KL9020 tarjoaa K-väyläsignaalit saatavana RJ45-liitännässä eteenpäin lähettämistä varten suojatun teollisen Ethernet-kaapelin kautta. KL9050-kytkinpäätte käynnistää uuden väyläterminaalilohkon ja muodostaa loogisen yhteyden väyläliitännään Ethernet-kaapelilla. Tässä kytkimen liittimessä voidaan syöttää 24 V DC, sähköisesti eristetylle kenttätasolle. Sisäisellä K-väylällä on sama potentiaali kuin kytkimen K-väylällä. KL9050 terminaalikorttia voidaan käyttää toisen liitännän kautta ja jatkaa seuraavaan väyläterminaalilohkoon. Tämä kytkentä toimii jopa 31 asemalla.

Kahden väyläterminaalilohkon välinen enimmäisetäisyys on 5 m, ja sen kokonaispituus on 155 m. Järjestelmä käyttää suojattuja teollisuuden Ethernet-kaapeleita kahdella RJ45-liittimellä lähetykseen. Kaapeli toimitetaan valmiina eri pituisina tai se voidaan mittatilaustyönä soveltaa tavanomaisiin Ethernet-työkaluihin. Tiedonsiirto perustuu häiriöttömään ja RS485-teollisuusstandardiin kaksoissuojatussa kaapelissa.

Käyttäessä CX5130 suoritin, voidaan yksi suoritinyksikkö jakaa myös usean keskuksen välille, jolloin kokonaisväylän välimatka rajautuu 155 metriin. Beckhoff, 2020.

5.2 Beckhoff toimilaitteet keskuksessa

Esimerkkikokoonpanossa on huomioitu Beckhoff korttien vaatimat virrat, ja näiden virtalähteeksi soveltuisi 24V ja 10A oleva laite. Kortit järjestellään usein niin, että ensimmäiseen kiskoon tulevat toimilaitteet, joilla yhdistetään 24V kenttälaitteet automaatioon. Sen jälkeen tulevat toimilaitteet, jotka vaativat 230V ja 10/16A ohjaussulakkeen, kuten tässä tapauksessa verhomoottorit ja valaistus.

Esimerkkikokoonpano, joka toteutettaisiin omakotitaloon automaatiota käytettäessä (ks. liite 1):

Toimilaiteterminaalit keskukseen DIN kisko 1:

1 x CX9020 - perinteisesti käytetty CPU (suoritin) eli Central Processing Unit, josta tulee TwinCATin käyttöliittymän kanssa PLC-ohjain, kuva 15

1 x KL6581 – EnOcean langattoman kytkimen vastaanottimen yhdistin ohjaimeen/ tai 1kpl KNX power supply ja 1 x KL6301 KNX-kytkin väylän yhdistin ohjaimeen.

2 x KL6811 - DALI väylän yhdistin ohjaimeen.

2 x KL2809 – DO kortti, jonka avulla ohjataan esimerkiksi lattialämmityksen toimilaitteita.

2 x KL1809 – DI kortti, jonka avulla saadaan esim. vuotoanturilta hälytystieto.

2 x KL3208 – PT1000 Lämpötilanmittaus termostaatin lattia-anturilta.

1 x KL6041 – RS485 Sääasema tai modbus-väyläyhdistin, jonka avulla ohjataan automaattisesti lämpötilansäätöä esimerkiksi sään mukaan.

1 x KL9020 – Terminal Coupler. DIN kiskossa 1 olevan terminaaliblokin päätte sekä väylän jatkaja seuraavaan kiskoon. Tämä tulee vain ensimmäiseen kiskoon, sillä muissa on kiskon alussa toimilaiteterminaalit (KL9050), jossa väylä jatketaan seuraavaan kiskoon. Kuva 16.

Toimilaiteterminaalit keskukseen DIN kisko 2:

1 x KL9050 – terminal bus extension. Aina kiskon 1 jälkeen olevissa DIN kiskon aluissa käytettävä väylän jatkamiseen tarkoitettu toimilaite. Kuva 17

1 x KL9400 – virranvahvistin, tämän avulla kaikki Beckhoff kortit saavat tarpeeksi virtaa.

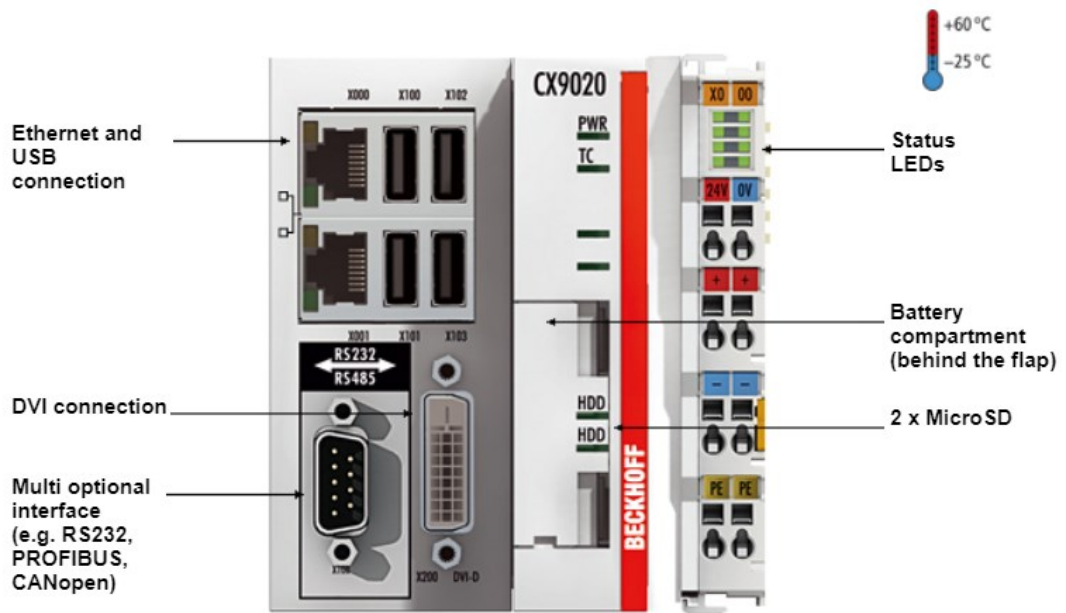
4 x KL2722 – Verhomoottori ohjain toiminnot alas/ylös, auki/kiinni, pinoa/pura

6 x KL2751 - Valaistuksen himmennin, käytetään esimerkiksi valaisinpistorasialle

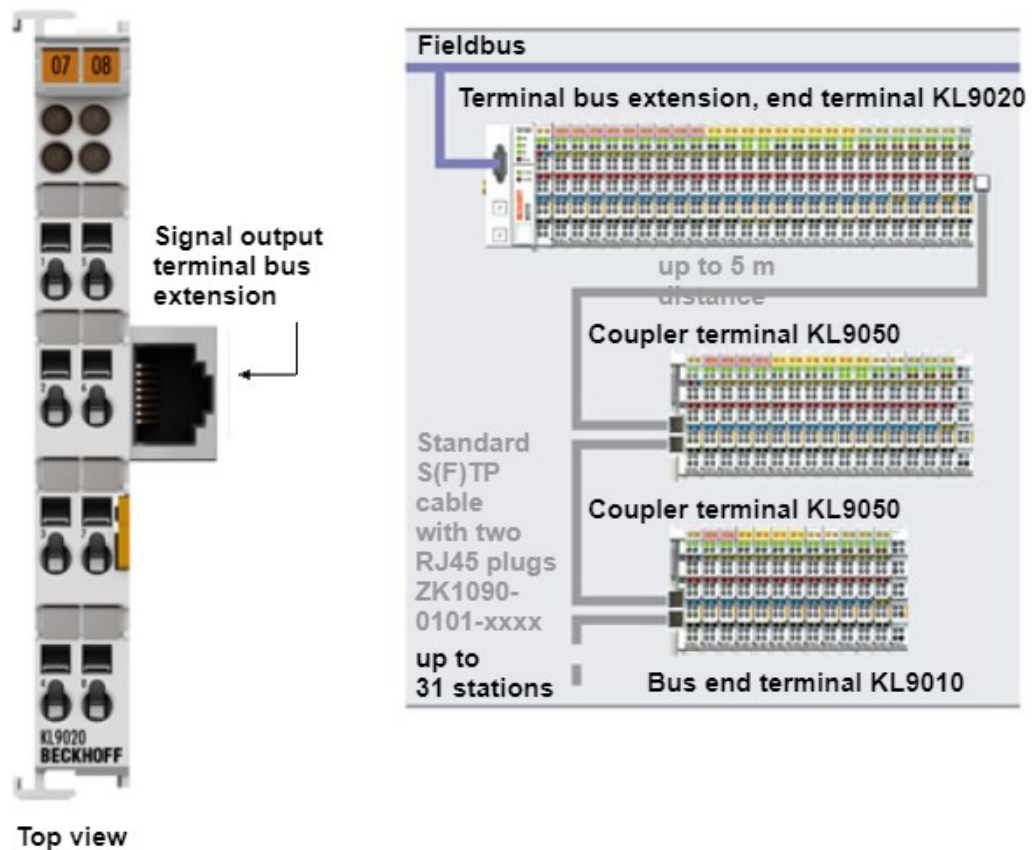
10 x KL2602 - Valaistuksen kytkentä päälle/pois, käytetään esimerkiksi valaisinpistorasialle tai ohjatulle pistorasialle

1 x KL9010 – Kiskon päätte. Kuva 18

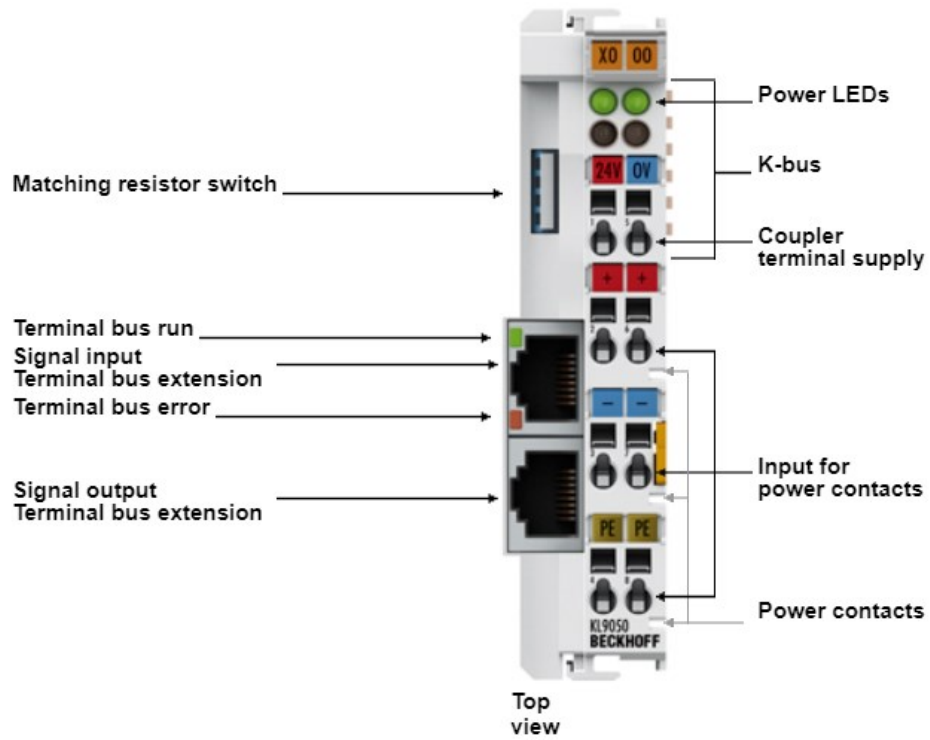
Kuten kuvassa 16, myös kuvassa 19 nähdään, kuinka väylä muodostuu eri terminaaliblokkien välille. Terminaaliblokkiksi kutsutaan siis toimilaiteterminaalit, jotka sijaitsevat korttien KL9050 ja KL9010 välissä.



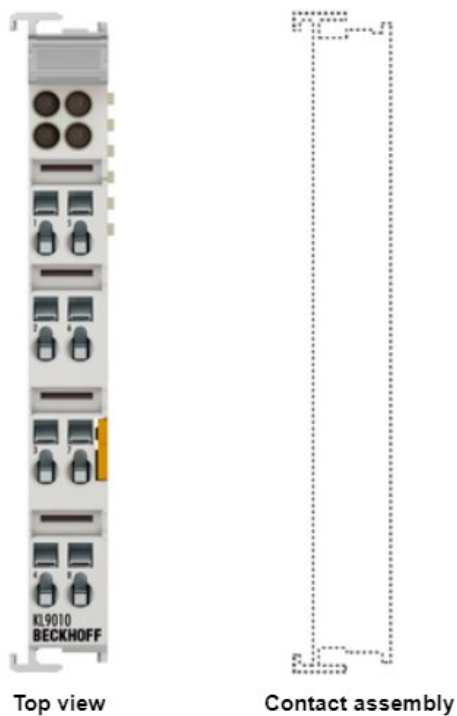
KUVA 15. CX9020 logiikkaohjain (Beckhoff, CX9020)



KUVA 16. Terminaaliblokin päätetekortti KL9020 sekä esimerkki toimilaitetermiinialiblokeista. (Beckhoff, KL9020)



KUVA 17. Terminaaliblokin aloituskortti (Beckhoff, KL9050)



KUVA 18. Terminaaliblokin lopetuskortti (Beckhoff, KL9010)



KUVA 19. Toimilaiteterminaalien väylä, jossa näkyy Beckhoff korttien KL9020, KL9050 ja KL910 muodostama väyläyhteys (Beckhoff, Terminal Bus Extension)

5.2.1 Esimerkki virrankulutuksesta Beckhoff toimilaitteilla

Virransyöttö tulee toimilaiteterminaaleille 24V virtalähteeltä, joka on yhdistettynä ainoastaan Beckhoffin käyttölaitteisiin. Pienessä kohteessa käytetään yleisesti 10A virtalähdettä ja isommissa 20A. Jotkut toimilaiteterminaalit käyttävät K-bus / E-bus virran lisäksi kuormavirtaa, ja sen kulutus on huomioitava lisäksi, jos kuormavirrat kytketään saman virtalähteen taakse.

Käytetään esimerkkinä virranlaskennassa yleisimpiä toimilaitteita, jotka liitetään omakotitalossa automaatioon. Nämä samat toimilaitteet löytyvät myös kappaleesta 5.2. Beckhoff toimilaitteet keskuksessa. Näiden toimilaitteiden virtatiedot löytyvät Beckhoffin sivuilta kyseisen toimilaitteen nimellä hakiessa.

CX9020 – Syöttää laitteille 2A

KL6581 – Käyttää toimintaan 60 mA ja 20mA per output

KL6811 – Käyttää toimintaan 55mA ja 30mA per output

KL2809 – Käyttää toimintaan 35mA ja 35mA per output + kuorma

KL1809 – Käyttää toimintaan 20mA ja 4mA per output + kuorma

KL3208 – Käyttää toimintaan 85mA

KL6041 – Käyttää toimintaan 65mA

KL9020 – Käyttää toimintaan 70mA

Toimilaiteterminaalit keskukseseen DIN kisko 2:

KL9050 – Käyttää toimintaan 70mA, syöttää laitteille 400mA

KL9400 – Syöttää laitteille 2A

KL2722 – Käyttää toimintaan 10mA lisäksi vuotovirta ja kuorma

KL2751 – Käyttää toimintaan 95mA ja kuorma

KL2602 – Käyttää toimintaan 90mA ja kuorma

KL9010 – Ei vaadi mitään.

Näiden kanssa huomioidaan se, että jokaisen virranvahvistimen jälkeen piirissä jäljellä oleva virta ei lisäännny, vaan esimerkiksi KL9400 kortin jälkeen väylän käytettävänä oleva virta on todella 2A eikä esimerkiksi CX9020 kortilta jäänyt virta, KL9050 syöttämä virta ja lisäksi tuo KL9400 syöttämä 2A. Myös kuormien kuluttamat virrat määräytyvät lähtöjen mukaan. Huomioidaan, että esimerkiksi Digital output kortilla KL2809 on 16 lähtöä, joista jokainen lähtö ottaa 35mA ja kuorman. Lisänä on hyvä myös huomioida, että K-Bus/E-Bus väylä on se, jonka virtasyötöt tulevat pääohjaimelta ja virranvahvistimilta, ja nuo toimilaiteterminaalien perässä olevat kuormat ottavat virtansa 24V virtalähteeltä. Toiminnan varmistamiseksi myös sähkökatkon jälkeen, täytyy virtalähteiden olla UPS varavirran takana, sillä sähköön katketessa, myös osa toiminnoista nollautuu.

6 BECKHOFFIIN YHDISTETTÄVÄT JÄRJESTELMÄT

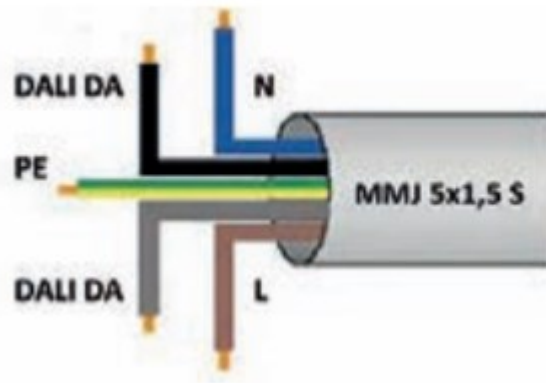
Beckhoffiin on olemassa monia terminaaliblokkeja, joiden avulla voidaan liittää myös erilaisia automaatio-/ohjausjärjestelmiä samaan järjestelmään. Kerrataan nopeasti yleisimpien hyödynnettävien järjestelmien periaatteet.

6.1 DALI-väyläohjaus

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) eli digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä on pelkästään valaistuksen ohjaukseen tarkoitettu yksinkertainen hajautettu väyläpohjainen järjestelmä. DALI on valmistajasta riippumaton järjestelmä, joka perustuu digitaalisten liitäntälaitteiden standardeihin EN 62386 ja EN 60929 (sekä IEC 929 ja NEMA 243-2004). Standardit koskevat kuitenkin vain liitäntälaitteita ja eri valmistajien ohjausjärjestelmissä on eroja.

DALI:a voidaan käyttää erillisenä järjestelmänä, eikä sitä tarvitse liittää kiinteistöautomaatiojärjestelmään. DALI voidaan kuitenkin liittää kiinteistön automaatiojärjestelmään erillisenä alajärjestelmänä.

DALI-järjestelmä on helppo ja yksinkertainen asentaa, kuten väyläpohjainen järjestelmä yleensä on. Merkittävimpiin etuihin DALI-järjestelmässä kuuluu, että prosessorit ja väyläsovittimet ovat niin edullisia, että niitä voidaan asentaa suoraan jokaiseen valaisimeen. Dalin tiedonsiirtonopeus on 1200 bit/s. DALI-järjestelmässä jokaisella laitteella on yksilöllinen osoite. Tämän vuoksi voidaan ohjata tiettyä valaisinta erikseen, vaikka se olisikin kytketty samaan DALI-väylään kuin kaikki muutkin laitteet. Osoite on kuusibittisenä tiedonsiirtopaketissa ja pakettien tietobiteillä määritellään halutut säädöt. Enintään 16 DALI laitetta voidaan yhdistää ryhmäksi ja jokainen näistä ryhmistä voi sisältää 64 osoitetta. Tietty laite voi samaan aikaan kuulua useampaan kuin yhteen ryhmäosoitteeseen. Lisäksi käytötarkoituksen mukaan jokaiselle laitteelle voidaan ohjelmoida 16 erilaista tilannetta. DALI-järjestelmä käyttää tiedonsiirtoon johtoparia, jolla digitaalinen signaali on siirrettävissä kaikkien järjestelmään kuuluvien laitteiden välillä. Liitäntälaitteisiin tulee ohjauskaapeleiden lisäksi yleensä vaihe-, nolla- ja suojamaajohto. DALI-kaapeloinnin ei tarvitse olla parikierrrettyä tai eristettyä eikä siihen tarvita päätevastuksia. Kuvassa 20 on esimerkki käytettävästä DALI kaapeloinnista.



KUVA 20. DALI kaapelointi

Järjestelmässä ei ole keskusyksikköä vaan kaikki käyttöönnotossa ohjelmoitava toiminta, osoitteet ja ominaisuudet tallentuvat kyseessä oleviin väylälaitteisiin. Jokaisessa DALI laitteessa on muisti, johon tallentuu kaikki sen asetukset: osoite, jäsenyys eri ryhmissä ja valaistustilanteet. Valaistustilanteisiin voidaan määrittää esimerkiksi himmennysarvot ja -ajat sekä syttymistasot. ST-KÄSIKIRJA 21, sähkötieto ry, 2017.

6.2 KNX-väyläohjaus

KNX on kiinteistötekniikkaan tarkoitettu tiedonsiirtoväylä, jossa yhdistyvät energian- ja käytöhallinnan toiminnot. Kaikki toiminnot on yhdistetty yhdellä väyläkaapelilla. Väylä tarvitsee vain yhden kaksinapaisen kaapelin toimiakseen. KNX-protokolla tukee useita medioita, kuten kierretty parikaapeli, sähköverkko, radioverkko ja infrapuna. Se on myös mahdollista liittää sillalla muihin medioihin. KNX-järjestelmään voidaan liittää uusia toimintoja ja jo olemassa olevia voidaan muuttaa jälkikäteen. Liittyjille annetaan vain uusi ryhmittely, eikä uutta kaapelointia tarvita. Suuri osa työstä voidaan tehdä PC:llä ennen varsinaisen asennustyön aloittamista. Windows-pohjainen suunnitteluohjelmisto (ETS, Engineering Tool Software) tukee kohteen suunnittelua, sillä se ei anna tehdä vääriä ratkaisuja. Se säästää käyttökustannuksissa, koska esim. valaistus, ilmastointi ja lämmitys pystytään optimoimaan kulloistakin käyttötilannetta varten erikseen.

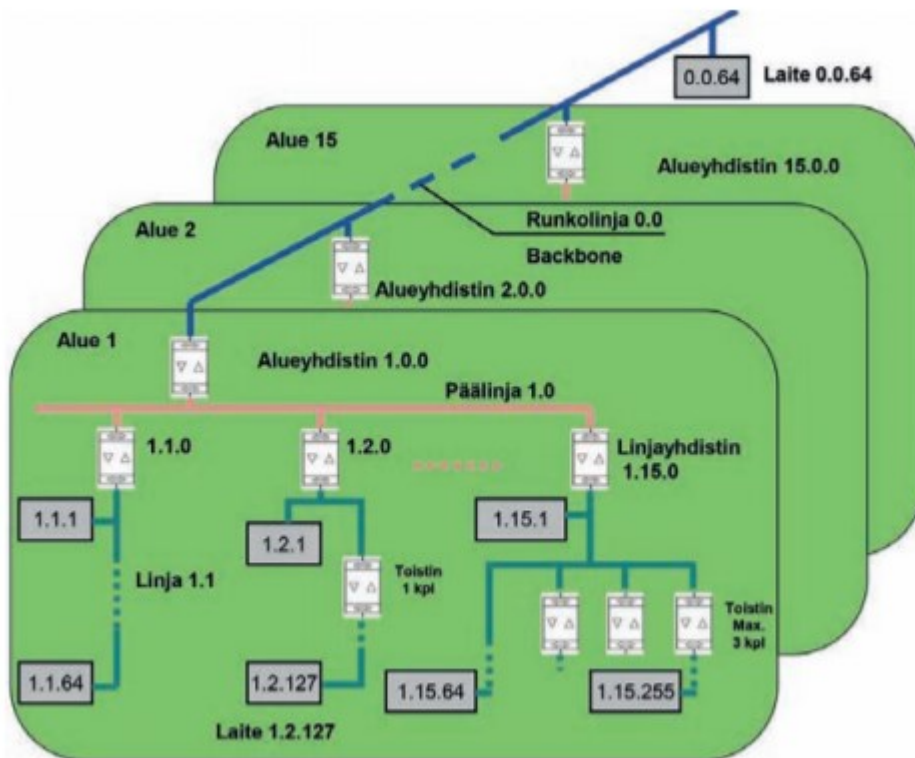
Keskuksen asennettavat komponentit ovat kiskokiinnitteisiä ja liittyvät suoraan tiedonsiirtokiskon avulla väylään, jolloin erillisiä johdotuksia ei tarvita. Komponent-

tien määrä on pieni, sillä samalle komponentille voidaan määritellä useita eri toimintoja. Kaikkien eri valmistajien KNX-tuotteet voidaan liittää yhteen, koska KNX Association on standardoinut järjestelmän. Väyläkaapeleina on 2-napainen heikkovirtakaapeli, jota pitkin kojeet saavat käyttöjännitteen $30 \text{ VDC} \pm 2 \text{ V}$, ja jota pitkin kytkentä-, valvonta- ja ohjaukset kulkevat, esimerkiksi KLMA $4 \times 0,8$. Sitä ei ole standardoitu tähän järjestelemään, mutta se on yleisesti käytössä. Verkon topologia voi olla väylä-, tähti-, puu- tai yhdistelmätopologia. Rengastopologiaa ei tule käyttää, koska sanoma voi jäädä kiertämään verkkoon ja aiheuttaa kuormituksen lisäksi virheellisiä toimintoja. Laitteen ID-tunnus on 16 bitin pituinen. Kokonaisjärjestelmä jakautuu enintään 15 alueeseen. Alue jakautuu puolestaan enintään 15 linjaan. Normaaliolosuhteissa voi jokaisessa linjassa olla 64 liittyjää. Koko järjestelmässä voi olla, ilman toistimia, enintään 14 400 laitetta, jos käytetään täyttä osoitealuetta (15 aluetta ja 15 linjaa, mutta ei sijoiteta laitteita runkoverkkoon). Liittyjien määrää voidaan lisätä kasvattamalla segmentin pituutta toistimella tai reitittimellä. Tällöin voidaan laitteiden määrä kaksinkertaistaa. Maksimissaan segmentin pituutta voidaan kasvattaa kolmella toistimella eli kaikkiaan laitteita voi olla enintään 256. Uuden järjestelmän suunnittelussa ja asennuksessa ei kuitenkaan saa määritellä kuin 64 laitetta. Toistimien käyttö on kovin suositeltavaa verkon laajentamiseen. Se synnyttää ylimääräisiä viiveitä, joista voi olla haittaa suuremmissa kohteissa. KNX-laitteet ovat jaettu kolmeen tyyppiin sen mukaan mihin sitä käytetään:

1. Peruskomponentit, kuten virtalähde (PSU), kuristin, signaalifiltteri.
2. Järjestelmäkomponentit, jotka hoitavat perusoperaatiot, kuten väyläliityntäyksikkö (BCU; Bus Coupling Unit), linjayhdistimet (LC), reitittimet.
3. KNX-laitteet, jotka ovat erikoissovelluksia kuten anturit, toimilaitteet ja näyttöpaneelit.

Nämä laitetypit on mahdollisesti kytketty KNX:n väyläliityntäyksiköllä (BCU) tai samanlaisella sovittimella. Jokainen linja tarvitsee oman virtalähteesensä (PS tai PSU, Power Supply Unit). KNX-järjestelmä ei ole galvaanisesti erotettu, sillä syöttöjännite ($\text{DC } 30 \text{ V}$) siirtyy samaa väyläkaapelia pitkin kuin data. Väylän tehoa mitoittaessa on huomioitava, että väylä kuormittuu eniten laitteista, joissa on paljon valodiodeja tai näyttö. Liittyjät tarvitsevat toimiakseen vähintään 21 V jännitteen ja tehoa vähintään 150 mW . Virtalähde tulee asentaa mahdollisuuksien mukaan linjan puolen välin tuntumaan. Tällöin päästään mahdollisimman lähelle optimaalista tehonsyöttöä, olettaen että linjan laitteet jakautuvat tasaisesti linjalle.

Mikäli laitteet sijaitsevat suppean alueen sisällä KNX:n sijoittuminen OSI-malliin tulee virtalähde sijoittaa mahdollisimman lähelle tätä ryhmittymää. Mikäli tämän kaltaisia ryhmittymiä on useampi (huomio: maksimi 64 laitetta = kaksi ryhmittymään), voidaan niitä syöttää omilla virtalähteillä. Mikäli virran kulutus kasvaa liian suureksi, on käytettävä 630 mA virtalähdettä. Maksimietäisyydet määräytyvät siten, että sanomasignaalin heikkenemisen vuoksi linjan kaapelin maksimipituus on määritetty 1000 m. Linjalla tapahtuvan datan törmäyksen hallittavuuden kannalta on kahden liittymän välinen etäisyys rajattu maksimissaan 700 m. Liittymän ja virtalähteen välinen etäisyys voi olla maksimissaan 350 m, koska puoliaallon muodostuminen heikkenee pitemmällä etäisyyksillä. Kuvassa 21 on malli KNX väylästä, sekä väylän toimilaitteista. Kaapeloinnissa on muistettava, että linjaan ei saa tulla rengasta. ST-KÄSIKIRJA 21, sähkötieto ry, 2017.



KUVA 21 KNX aluejako, ST käsikirja 21, sivu 130.

Jokainen liittymä tarvitsee oman yksilöllisen osoitteensa, aivan kuin ihmisellä on nimi ja lähiosoite. Yksilöllinen osoite on siis 16 bitistä koostuva osoitenumero, jonka avulla määritellään anturien ja toimilaitteiden sijainti.



F = 0, liittjä sijaitsee pääväylällä
 F = 1–15, osoittaa toiminta-alueen (1–15)
 L = 0, liittjä sijaitsee päälinjalla
 L = 1–15, osoittaa linjan 1–15 toiminta-alueella F (1–15)
 D = 1–64, osoittaa liittjän linjalla L (1–15)

KUVA 22 Yksilöllisen osoitteen muodostuminen

Yksilöllistä osoitetta tarvitaan vain järjestelmän käyttöönotossa ja huollossa. Kuvasta 22 nähdään osoitteen muodostuminen. Normaalisissa käytössä väyläjärjestelmä käyttää ryhmäosoitteita, joiden avulla tunnistimet ja toimilaitteet kommunikoivat keskenään kukin ennalta ohjelmoiduilla toiminnoillaan. Ryhmäosoite voidaan antaa jokaiselle liittjälle riippumatta liittjän sijaintipaikasta. Näin ollen esimerkiksi laajalla alueella sijaitsevia valaisimia voidaan ohjata yhden kytkimen avulla. Järjestelmää parametroitessa voidaan ryhmäosoite jakaa 16 pääryhmään (valaistus, ilmastointi jne.). Pääryhmä voidaan jakaa puolestaan 2048:aan alaryhmään. Pääryhmä voidaan jakaa myös 8 keskiryhmään. Jokainen keskiryhmä voi sisältää 256 laiteosoitetta.

On myös mahdollista käyttää vapaata osoiteavaruutta eli koko 16 bitin osoitetta yksilöllisenä osoitteena. Kun väylälle tulee useita sanomia yhtä aikaa, välittyy ensin se sanoma, jolla on korkein välitysprioriteetti. Seuraavaksi välittyy toiseksi korkeimman välitysprioriteetin sanoma. Välitysprioriteettitasoja on viisi: 1. Järjestelmätoiminto (suurin prioriteetti) 2. Hälytystoiminto 3. Korkea käyttöprioriteetti (käsiöohjaus) 4. Matala käyttöprioriteetti (automaattiohjaus) 5. Sanoman toisto Data-paketti sisältää seuraavat kentät: – kontrollikenttä – lähdelaitteen osoitekenttä – kohdelaitteen osoitekenttä – paketin pituus – LSDU (Link Service Data Unit) – tarkistustavu. KNX-järjestelmään voidaan tehdä omia ohjelmia ohjelmointityökalu ETS:llä (Engineering Tool Software). KNX ei ole sidottu mihinkään tiettyyn prosessoriin tai prosessorimalliin. ST-KÄSIKIRJA 21, sähkötieto ry, 2017.

6.3 EnOcean langattomuus

Vuonna 2001 alettiin kehittää anturitekniikkaa, joka ei tarvitsisi ollenkaan tehonsyöttöä tai paristovirtaa. Tästä syntyi EnOcean, eli radiotaajuudella toimiva tiedonsiirtojärjestelmä. Se oli alun perin suljettu järjestelmä ja muuttui avoimeksi 2008, kun laitteiden keskeiset kehittäjät perustivat EnOcean Alliancen. Järjestelmän lähetystaajuus on standardin mukaan 868 MHz ja laitteet tuottavat itse tarvitsemansa energian. Kantama maksimissaan on jopa 100 m, mutta betoni- ja metallirakenteet heikentävät kuuluvuutta. EnOcean-verkossa lähetetään kolme pakettia kerrallaan satunnaista järjestystä muistuttavilla ajanhetkillä, jotta ruuhkaisissa verkoissa paketit sisältävät aallot vahvistaisivat tai heikentäisivät toisiaan vähemmän. Kytkinlaitteissa lähetys tapahtuu kytkimen painallus- tai säätöhetkellä. Viestit siis liipaistaan muutoksesta tai lähetetään ajallisesti esim. 5 min välein. Yhdessä laitteessa voi olla useita samanaikaisia toimintoja, esimerkiksi päälle/pois, himmennys, tilanneohjaus ja kotona/poissa. Sanoman välitys on tarkoitettu lyhyille viesteille (noin 1 ms), ne vievät vähän energiaa ja törmäyksiä syntyy harvoin. Viestintä perustuu Point-To-Point-yhteyteen. EnOcean on liitettävissä eri järjestelmiin (esim. BACnet, KNX, LonWorks, TCP/IP) omilla gateway-laitteillaan. Järjestelmä voidaan liittää PC:hen TCP/IP-, RS232- tai USB-liitynnällä. Visualisointiohjelmalla voidaan esimerkiksi tilastoida lämpötiloja ja ohjata valoja. ST-KÄSIKIRJA 21, sähkötieto ry, 2017.

7 VALAISTUKSEN OHJAUSTAVAT

Ennen varsinaisen suunnittelun aloitusta on myös hyvä käydä läpi eri ohjaustavat. Sillä suunnittelu voi tapahtua joihinkinkin kohteisiin myös ilman automaatiota.

7.1 Perinteinen ohjausmenetelmä

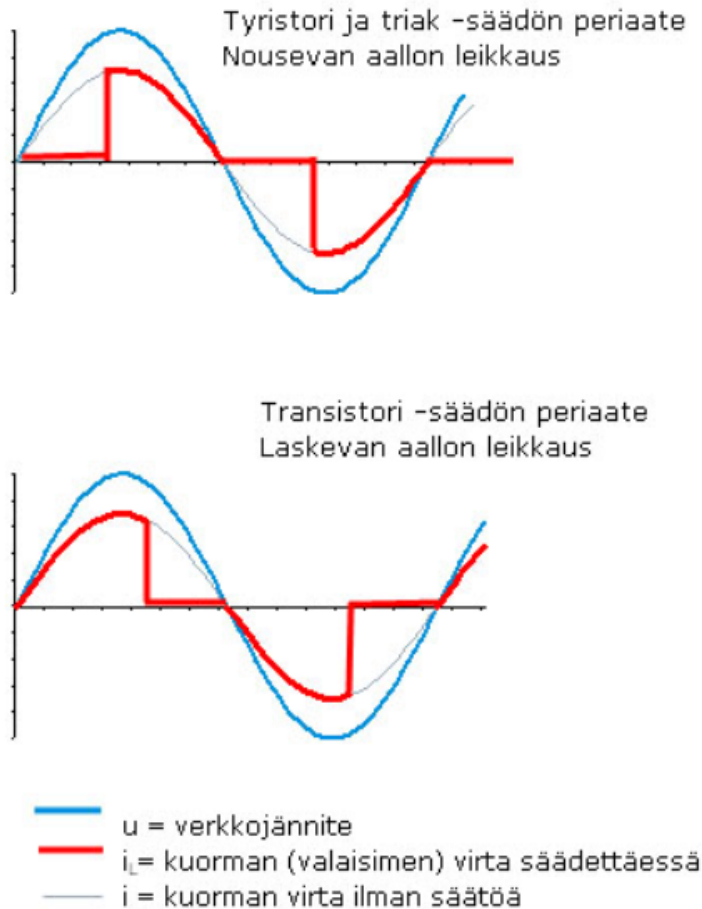
Perinteisiä ohjausmenetelmiä löytyy muutamaa eri vaihtoehtoa, ja on tärkeää valita oikea ohjaus perustuen käytettävään valaisimeen ja sen vaatimaan ohjaukseen himmentäessä valaisinta.

7.1.1 Triak- tai tyristorisäätö

Triak- tai tyristoriohjauksessa säädetään virran syttymishetkeä jännitteen jakson nousevalta osalta, kutsutaan toisella nimellä myös etureunan himmennykseksi. Nousevan aallon säätö soveltuu resistiivisille ja induktiivisille kuormille. Lamppu sammuu aina jännitteen ollessa nolla ja se syttyy jälleen toisen puolijakson aikana. Tätä käytetään useimmiten perinteisten 230V ohjausjännitettä käyttävien lamppujen himmennykseen eikä se yleensä sovellu LED-valoille, ellei muuntaja ole Triac himmennettävä. Ensto oppimisympäristö, 2019.

7.1.2 Transistorisäätö

Transistorisäätimissä lamppu sytytetään jännitteen nolлахetkellä ja lampun virta katkaistaan säädön mukaisesti jännitteen jälkimmäisen puolijakson aikana, kutsutaan myös takareunan himmennykseksi. Toimii hyvin elektronisilla muuntajilla toimivien pienjännitelamppujen (kapasitiivinen kuorma) sekä hehkulamppujen kanssa, mutta ei toimi perinteisten muuntajien kanssa (induktiivinen kuorma) Laskevan aallon ohjaus soveltuu myös resistiivisten kuormien ohjaukseen. Kuvassa 23 on esitetty tyristori- ja transistorisäätimien periaate. Ensto oppimisympäristö, 2019.



KUVA 23. Säätimien toimintaperiaatteet

7.1.3 Yhdistelmäsäädin

Yhdistelmäsäätimissä on molemmat säätöperiaatteet käytössä ja säädin tunnistaa kuorman. Yhdistelmäsäätimen kuormana ei kuitenkaan saa olla samanaikaisesti sekä konvektionaalisia että elektronisia muuntajia. Se ei myöskään sovellu loistelamppujen säätämiseen. Ensto oppimisympäristö, 2019.

7.1.4 Push Dim himmennys

Painonappi himmentäminen eli "Push Dim" himmennys. Tätä käytetään useimmiten sen takia, että tekniikka ei ole itse kytkimessä, vaan valaisimen muuntajassa, jolloin ei tarvita kalliita säätimiä seinään. Sen ohjaaminen tapahtuu seuraavasti.

Lyhyellä painalluksella valo syttyy tai sammuu. Pitkällä painalluksella valo himmenee ja voit pysäyttää himmennuksen haluamaasi kohtaan, toisella pitkällä painalluksella valo kirkastuu edellisestä himmennyskohdasta. Kun valon sammuttaa lyhyellä painalluksella, himmennystaso jää muistiin seuraavaa sytytyskertaa varten. Painonappitoimiset muuntajat soveltuvat käytettäväksi minkä tahansa kalusterajan jousipalautteisen kytkimen kanssa. Ensto oppimisympäristö, 2019.

7.1.5 LED-säädin

LED-lampun säätöön löytyy kaksi vaihtoehtoa, joko kiertonuppisäädin tai painikesäädin. Kiertonuppisäätimen kanssa himmennys tapahtuu yhdestä paikasta ja ohjauksen saa 6-kytkimen kanssa päälle/pois toiminnolla kahteen eri paikkaan. Painikesäätimessä himmennys ja ohjaus saadaan sivuohjaimien kanssa moneen eri paikkaan. Sivuohtaimina käytetään sulkeutuvia 230V painonappeja (toiminnot: päälle, pois ja säätö). Ensto oppimisympäristö, 2019.

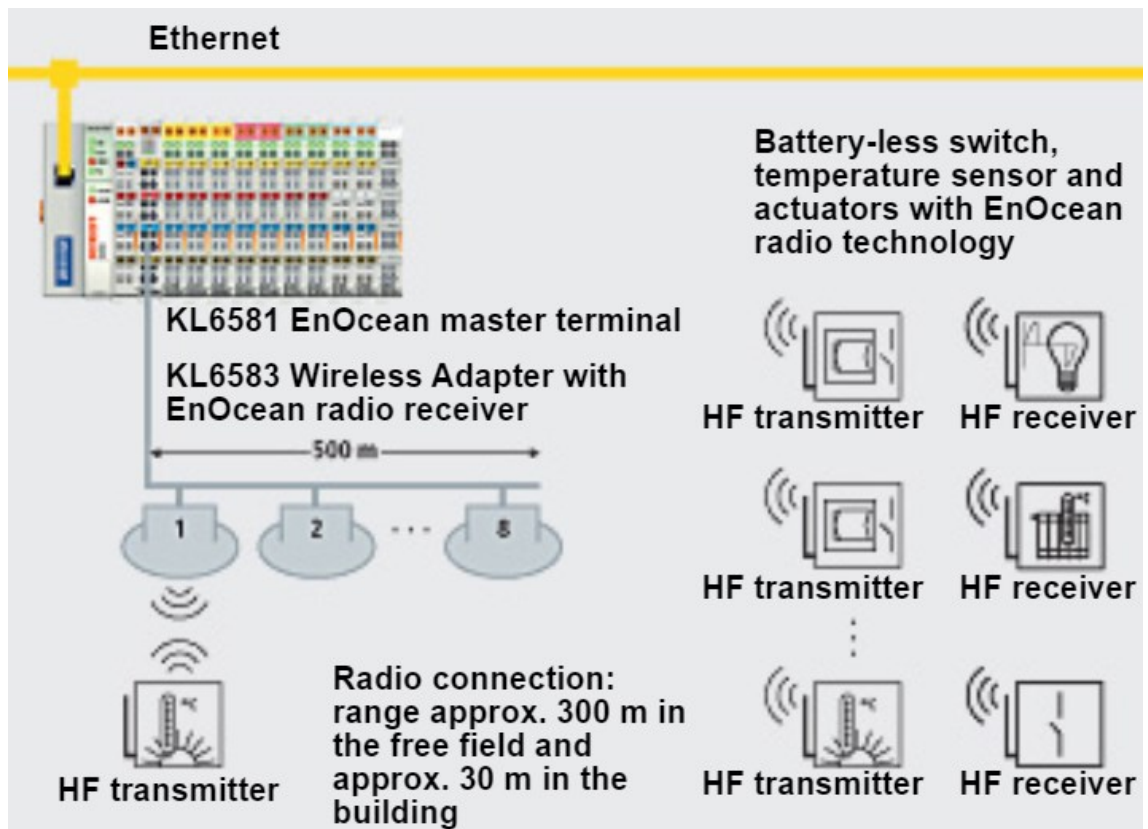
7.2 Automaatio-ohjaus

Ensin valitaan, käytetäänkö EnOcean -langatonta kytkin järjestelmää, vai KNX-kytkimiä. Näiden eroavaisuudeksi tulee usein hinta, sekä automaatiojärjestelmien ohjattavuuksien eroavaisuudet. Langattomilla kytkimillä voidaan toteuttaa valaistuksen ohjausta päälle, pois sekä himmennys, sekä esimerkiksi verhomootteiden tai ohjattujen pistorasioiden päälle laittaminen. KNX-kytkimillä voidaan ohjata näitä samoja asioita, lisäksi KNX-kytkimillä voidaan mitata huoneen lämpötilaa niin lattiasta, kuin itse kytkimestä huoneilman lämpötilaa. Näillä voidaan säätää automaattisesti miellyttävä olemislämpötila Beckhoffin käyttöliittymään asetettujen arvojen mukaan. Tietyistä KNX-kytkimistä voidaan jopa hallita huonekohtaisesti lämpötilan säätöä. Langattomat kytkimet tulevat halvemmaksi kuin KNX kytkimet. Molemmat järjestelmät liitetään Beckhoffiin omien toimilaiteterminaalien avulla, joten tämän osalta eroa ei tule paljoa. Ohjausvaihtoehtojen tukena käytetään usein myös läsnäoloilmaisimia, joilla voidaan määrittää automaattinen valaistus, kun tilassa asioidaan. Monesti tämä yhdistetään myös valaistustilanteen ohjaukseen kellonajan mukaan, jotta esimerkiksi yöaikaan liikkeessa ei valaistustaso olisi täysin kirkas 100 % vaan esim. 10 %, jonka avulla näkee kulkea tilassa,

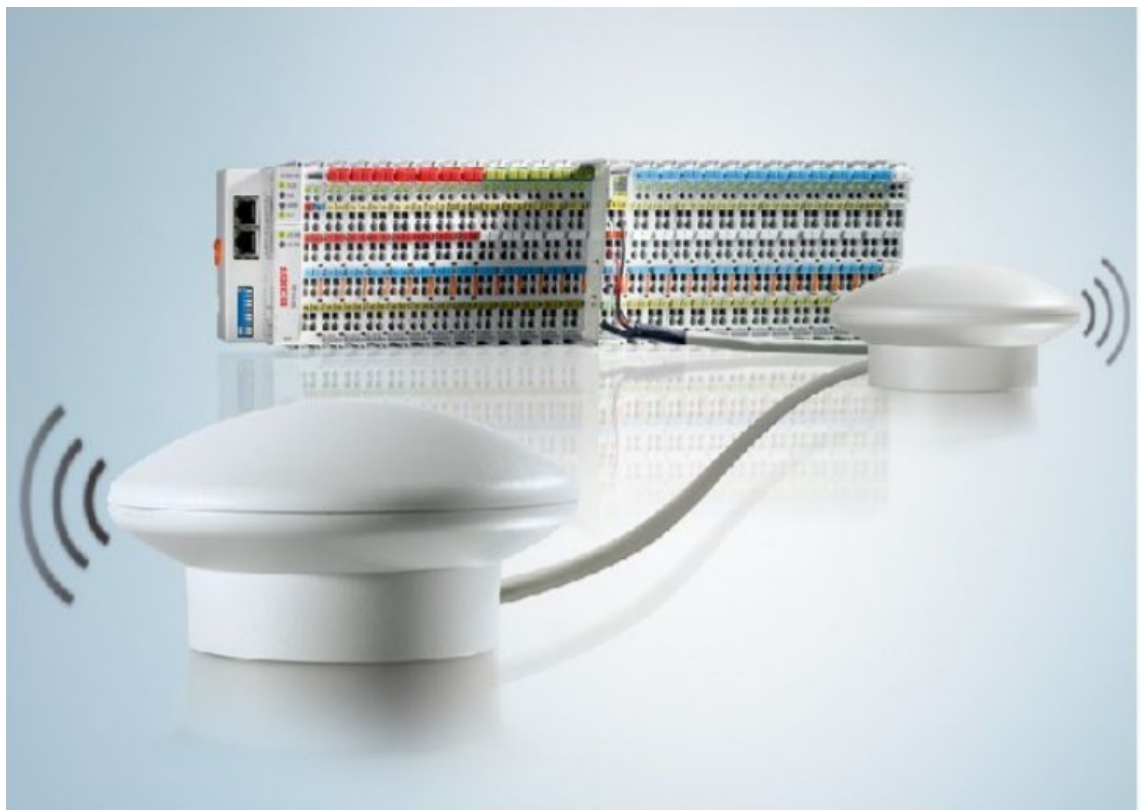
muttei kuitenkaan ala nostamaan virkeystaloa, kun kuljetaan esim. keskellä yötä vessaan.

7.2.1 Langattomat kytkimet

Langattomat kytkimet vaativat EnOcean vastaanottimien verkoston, jossa kantamat ovat noin 30 metriä rakennuksen sisällä, ja 300 metriä avoimessa tilassa. KL6583 vastaanottimia voidaan kytkeä yhteensä 8kpl samaan väylään, jonka maksimipituus on 500 metriä. Kaapelointi tapahtuu JAMAK 2x (2+1) x 0,5 instrumentointi kaapelia käyttäen. Vastaanottimien sijoittelussa kannattaa myös ottaa huomioon Beckhoffin oma ohje, joissa kerrotaan kuinka paljon eri seinämateriaalit vaimentavat signaalia. Esimerkiksi asuintaloissa, joissa on useampi kerros, tarvitsee jokainen kerros yleensä oman vastaanottimen. Myös pohjaratkaisuiden tai rakennusmateriaalien ollessa erikoisempia, tarvitsee kerroskohtaisesti sijoittaa useampi vastaanotin. Vastaanotin pystyy vastaanottamaan ja lähettämään rajattoman määrän signaaliviestejä langattomilta kytkimiltä. Wifi tukiasemaa ei kannata sijoittaa vastaanottimen kanssa ihan lähelle, sillä näiden signaalit voi häiritä toisiansa. Kuvat välillä 24 ja 26 auttavat ymmärtämään hieman langattoman järjestelmän toimintaa ja toimilaitteita. Beckhoff, 2020.



KUVA 24. EnOcean vastaanotin verkosto (Beckhoff, KL6583)



KUVA 25. EnOcean vastaanottimen ulkonäkö (Beckhoff, https://download.beckhoff.com/download/document/io/bus-terminals/kl6581_kl6583en.pdf)

Attenuation of different materials

Material	Attenuation
Wood, plaster, uncoated glass (without metal)	0...10 %
Brick, chipboard	5...35 %
Concrete with iron reinforcement	10...90 %
Metal, aluminum cladding	90..100 %

Range

Material	Range
Line of sight	Typically 30 m in corridors, up to 100 m in halls
Plasterboard walls/wood	Typically 30 m, through max. 5 walls
Brick walls/aerated concrete	Typically 20 m, through max. 3 walls
Reinforced concrete walls/ceilings	Typically 10 m, through max. 1 wall/ceiling

Placement of the KL6583 module

The KL6583 module contains transmitter, receiver and antenna.

Distances

The distance to a reinforced concrete ceiling should be at least 50 cm and to a wall 10 cm.

Do not attach or screw the KL6583 module to a metal plate!

KUVA 26. EnOcean vastaanottimien sijoittelu ohje, (Beckhoff, https://download.beckhoff.com/download/document/io/bus-terminals/kl6581_kl6583en.pdf)

7.2.2 KNX-väyläpainikkeet

Väyläpainikkeita käyttäessä valitaan ensimmäisenä myös käytettävä hintataso. Yleisimmin käytettäviä laitteita ehdottaessa vaihtoehtoiksi annetaan eri ulkonäön omaavia, sekä eri hintatasoon kuuluvia vaihtoehtoja. Asiakas saa siis näiden perusteella päättää mitä kytkimiä käytetään. Pääsääntöisesti kaikissa tarjottavissa kytkimissä on samat toiminnot. KNX väylä johdotetaan KLMA 4x0,8+0,8 parikierityllä kaapelilla, topologiaa käytetään ketjutusta. Yleisesti ottaen suunnitellaan yksi väylä per kerros. Joissain tapauksissa tehdään esim. läsnäoloilmaisimille oma väylä, jos ei päädytäkään käyttämään KNX-läsnäoloilmaisimia.

KNX- väyläpainikkeen etuna on se, että tiedonsiirtoväylä on johdotettuna aina kuitenkin varmempitoimisempi, sekä kytkimestä saadaan halutessa ulos myös huonelämpötila ja lattia-anturilla myös lattian lämpötila. Näin ollen tämä on monipuolisempi vaihtoehto.

8 LAADUKKAAN VALAISTUKSEN TOTEUTUS BECKHOFF AUTOMAATIO JÄRJESTELMÄLLÄ

Ohjeistus laadukkaan valaistuksen suunnittelusta pienkohteeseen asiakkaalle sai alkunsa Moisiolinna Group Oy:n kanssa yhteistyössä. Yritys laajentaa toimintaansa ja on hyvä saada työohje kaikkien suunnittelijoiden käyttöön, jotta yhteneväinen laatu säilyy yrityksen sisäisesti suunnittelijasta riippumatta. Ohjaustapana käytetään Beckhoffin automaatiota, sillä se on yhteensopiva kaikkien rakennusautomaatiota vaativien järjestelmien kanssa. Työssä on avattu myös perinteisellä tavalla mahdollistettavia ohjaustapoja, sillä se toimii toisena vaihtoehtona suunnittelussa.

8.1 Lähtötiedot laadukkaaseen suunnitteluun

Laadukkaan valaistuksen suunnittelun toteuttamiseksi on tärkeää saada tarkat lähtötiedot kohteesta. Lähtötietoihin kuuluu perinteisesti pohja-, leikkaus- sekä julkisivukuvat asuinrakennuksesta. Pohjakuvissa olisi hyvä näkyä asiakkaan toimesta kiintokalusteet sekä mahdolliset huonekalujen sijoittelut, jotta nämä voidaan ottaa huomioon valaisinten sijoittelussa. Jos huonekalujen sijainteja ei ole saatavilla, on valaistus sijoitettava symmetrisesti tilaan nähden ja asiakaspalaverissa käydään läpi tarkemmin, kuinka tilan valaistusta muokataan käyttötarkoituksen mukaan.

Moisiolinna Group Oy:n suunnittelun laadun varmistukseksi käytetään Dialux Evo sovellusta, jolla varmistetaan valaistuksen tasaisuus, riittävä määrä, sekä sen häikäisemättömyys eri pintamateriaaleilla. Teknisen valaistuksen toteutuksessa mitoitetaan mieluummin valaisimet riittävän kirkkaaksi, jotta pimeässä suomessa asuessa valoa riittää myös vaatimaan käyttötarpeeseen. Automaatiolla toteutetaan valaistustilanteita luomaan tunnelmallista valoa, sillä Dali väylällä Beckhoff automaatioon yhdistettynä on helppo luoda ja ohjata monenlaisia valaistustilanteita ja erillisiä valaisimia pois päältä.

8.1.1 Asiakkaan palveleminen

Valaisinten määrittämisessä kuunnellaan asiakkaan toiveita hintaluokassa, valaisimen ulkonäössä. Myös valaisimilta odotetut ominaisuudet otetaan huomioon siltä osin, että haluaako asiakas vaihdettavan lampun valaisimeen ja kuinka paljon tiloissa tarvitaan esimerkiksi valaistusvoimakkuutta. Siihen tietysti vaikuttaa myös valaisimen sijoituspaikka ja määrä. Usein uusissa taloissa tulee ongelmaksi katon alas-laskun riittämätön tila, tai liian matala koolaus ja ilmansulkupaperi heti sen pohjassa. Tällöin on tärkeä varmistua myös siitä, että tilaa jää valaisimen taakse sen asennusohjeessa vaatiman tilan verran. Jo heti alkuvaiheessa, on hyvä mainita, että edulliset valaisimet vaativat usein enemmän tilaa alas laskussa, jolloin halvemaksi saattaa tulla katon laskeminen alemmaksi, kuin valaisimien valitseminen kattorakenteiden mukaan. Korkeiden tilojen valaisimet vaativat myös usein enemmän upotustilaa, jolloin valaisimia varten saattaa tarvita tehdä omat ”kupit” kattoon, jotta voidaan käyttää tarpeeksi tehokkaita valaisimia tilaan.

Tyypillisimpiin kysymyksiin, joita on hyvä kysyä asiakkaalta aloituspalaverissa:

- Kuinka laajat suunnitelmat halutaan, kuten käytetäänkö perinteistä ohjausmenetelmää vaiko automaatiota. Ja haluaako asiakas lisäksi valaistuslaskennan.
- Hintataso ja laatuvaatimukset. Voidaan toteuttaa laadukas valaistus pienemmällä kustannuksella, tai toteuttaa oikeasti laadukkailla tuotteilla todella laadukas valaistus.
- Valaistuksen ulkonäkö, kuten haluaako asiakas tummaa vai vaaleaa sävyä, tai tuleeko muodot olla pyöreitä vai neliskanttisia.
- Minkä sävyistä valoa tiloihin määritetään, vai käytetäänkö esimerkiksi Tunable White tai Warm Dim ominaisuuksilla olevia valaisimia.
- Onko tiloille esimääritetty jotain käyttötarkoitusta, kuten työhuone tai vers-tas. Sen perusteella osataan jo määrittää valaistusvoimakkuudelle ja värintoistolle sopivat arvot.

Näillä tiedoilla päästään usein jo hyvin alkuun suunnitellessa kohteita Moisiolinna Groupin asettamien käytäntöjen mukaan.

8.2 Käytettävät asennusjärjestelmät

Asiakkaan toiveen mukaisesti valitaan valaistuksen ohjaukseen käytettävä järjestelmä. Tyypillisesti valaistuksen ohjaus pyritään toteuttamaan DALI-väylään liitettävillä valaisimilla niiden monipuolisuuden, helppouden ja kustannustehokkuuden vuoksi. Itse valaisin saattaa olla kalliimpi, mutta Beckhoffin automaatioon yhdistettynä valaistuksen ohjaus voidaan toteuttaa isoonkin kohteeseen suhteellisen edullisesti, verrattuna perinteiseen 230V valaistuksen ohjaukseen.

Himmennettävät liitäntälaitteet valitaan usein myös sen takia, että voidaan toteuttaa laadukas, teknisesti toimiva, energiatehokas sekä hyvännäköinen valaistus eri valaistustilanteita ja syttymisryhmiä hyödyntäen. Monesti asiakas ei halua erikseen maksullista valaistuslaskelmaa, jonka takia mennään vain fiilispohjalta kokemuksella, kun suunnitellaan valaistusta. Tällaisissa tapauksissa valitaan mieluummin liian tehokas valaistus ja himmennetään se tilanteeseen sopivaksi automaation avulla, kuin valitaan tunnelmallisia valaisimia, joihin ei tarpeen vaatiessakaan saada lisättyä valotehoa. Valon riittävyteen tilassa käytetään arvioksi huonekorkeutta, sekä pinta-alaa ja huoneen muotoa. Usein makuuhuoneissa, joissa ei ole työpöytää, ei tarvitse valoa laittaa kuin yleiselle tasolle noin 100-300 lx arvolle. Sijoittelu tehdään niin, että vaatekaapista näkee kuitenkin valita vaatteita. Vaikeissa tiloissa voidaan arvion mukaan tehdä huonekohtainen valaistuslaskenta ja tarkistaa näin huoneeseen tulevan valon riittävyys. Värinnoistoltaan valaisimeksi valitaan yleisesti $Ra > 90$, sillä voidaan vaikuttaa yleisesti jo laadukkaaseen vaikutelmaan valaistuksen osalta. Maksullisen valaistussuunnitelman pyytäessään, tehdään varmistuslaskelma Dialux Evolla ja korjataan suunnitelmia laskentasovelluksesta saatujen tuloksien mukaan. Asiakkaalle toimitetaan tästä myös kuvat, joista näkee valon tuomaa visuaalista ilmettä, sekä tietysti myös laskentatulokset, joista nähdään, että valoa on riittävästi ja se on tarpeeksi tasaista aiheuttamatta kiusahäikäisyä eri pinnoilla.

Jos toteutettavaan kohteeseen ei valita automaatiota, tehdään toteutus normaalisti hyödyntäen mahdollisimman paljon "Push dim" eli painohimmennettäviä muuntajia. Silloin itse kytkimeen ei tarvita valaisinta himmentävää tekniikkaa, vaan voidaan valita ihan tavallinen kytkin jousipalautteisella napilla.

Eri valonlähteillä on käytössä eri säätötapoja. Valon ohjaukseen käytettävä menetelmä on valittava valonlähteen mukaan, jotta himmennettäessä valaisin ei ala särisemään tai vilkkumaan ja himmennys tapahtuu tasaisesti, eikä portaittain. LED nauhoja himmennettäessä valitaan nauhaksi sellainen, jossa LEDien väli ei pääse kasvamaan liian isoksi ja jätä näkyviin valopisteitä, kun valo on himmeä.

8.3 Valaistussuunnittelu

Sijoitettaessa valaisimia huomioidaan aikaisemmin mainittu teoria laadukkaan valaistuksen suunnitteluun. Eli mahdollisimman tasaista valoa, joka ei häikäise ja mielellään olisi säädettävissä joko normaalilla himmennyksellä, tai warm dim/ tunable white säädöllä, jotta saadaan iltaisin rauhoitettua elimistö nukkumaan menoa varten. Myös automaation käyttöliittymään voidaan luoda ohjaus, joka tulee elimistön melatoniinin tuotantoa ihmiskeskeisen valaistuksen teorian mukaan.

Kun käytetään perinteistä ohjausmenetelmää, ensimmäiseen luonnokseen laiteaan merkinnät tasoon myös kytkentätunnuksista, mikä kytkin sytyttää minkäkin valaisimen tai valaisinryhmän. Tämä auttaa asiakasta hahmottamaan jo tässä vaiheessa suunnittelua valaistuksen toimintaperiaatteen. Ohjauksia ja valaistustilanteita luotaessa automaatiota käyttäessä, tulee mukaan sekä Beckhoffin ohjelmoija ja asiakas. Nämä eivät siis ole aivan pakollisia tietoja merkitä kuvaan, sillä niistä tehdään myös oma toiminta seloste, ja valaistukset ohjauksineen käydään tilakohtaisesti läpi, näin vältetään ylimääräiseltä tuplatyöltä ja kuvien korjaukselta jälkikäteen. Automaatiota käyttäessä, mahdollistetaan asiakkaalle myös ohjauksien muokkaaminen jälkikäteen, jos joku kytkin ei tunnukaan soveltuvan tilan käyttötarpeeseen.

Suunniteltaessa valaistusta on tärkeä ottaa huomioon myös sen huoltomahdollisuudet, kuten miten onnistuu seinään integroitavassa valaisimessa lampun vaihto seinää hajottamatta, tai korkealla katossa olevan valaisimen vaihto ja huolto, mihin saadaan asetettua tikkaat tai asennustelineet. Jos tilan korkeus tai valon riittävä määrä jää arveluttamaan itseä tai asiakasta, huolimatta ostetusta valaistussuunnittelutyöstä tarkistetaan laskenta tulos Dialuxilla, ja korjataan tilanetta tuloksien mukaan. Asiakkailta on usein myös omia huomioita ja korjauksia suunnitelmiin, ja sisustusvalaisimiin, joten nämä toiveet tulee aina lisätä asiak-

kaan toiveen mukaisesti. Perussähköä käyttäessä kerrotaan myös mikä on mahdollista toteuttaa ja miten tämä toteutetaan. Usein sähkökeskukselle varattu koko ja sijainti ei pysty toteutumaan, jos tarvitaan paljon omia releohjauksia keskuksen valaistusta varten.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön alkuvaiheessa tavoitteena oli koostaa tietopankki ihmislähtöisen valaistuksen toteutuksesta ja sen vaikutuksesta hyvinvointiin. Työhön oli kuitenkin mahdotonta yhdistää mitään opinnäytetyöntekijän tietotaitoa ja käytännön kokemusta, ennen kuin työ tehtiin Moisiolinna Groupille, jolloin aiheeseen liitettiin valaistussuunnitteluohje Beckhoffin automaatiota sekä ihmislähtöisyyttä hyödyntäen ja huomioiden. Mukaan saatiin vertailuksi myös miksi Moisiolinna käyttää mieluummin automaatiota perussähköön verrattaessa.

Ottamalla huomioon standardeissa määritetyt hyviä valaistustasoja yleisiin kiinteistöihin, voidaan hyödyntää näitä myös omakotitalorakentamisessa, varmistuen siitä, että jokaisen tilan valaistus tukisi sen käyttötarpeita niin asiakkaan, kun myös tulevaisuuden osalta. Säättömahdollisuudet ovat automaatiota käyttäessä hyvät ja jokaiseen tilaan voidaan luoda kyseisen tilan ihmislähtöistä valaistusta tukeva automatisointi kellon tai vuodenajan mukaan, myös ottaen huomioon tilan aktiivisen käytön yhdistämällä ohjaukseen esim. läsnäoloilmaisimet. Perinteistä ohjausta käyttäen on käyttäjän itse säädettävä valaistuksen taso käyttökäytöksi, jotka on ennalta määritetty jo suunnittelu vaiheessa, eikä näiden muokkaaminen esim. muuttuvien käyttötarkoitusten mukaan enää onnistu.

Työ oli alkuvaiheessa haasteellinen, sillä Beckhoffin automaatiosta ja sen käyttölaiteista ei löydy vapaata tietoa netistä. Kaikki koulutukset tähän aiheeseen liittyen ovat Beckhoffin itse järjestämiä ja maksullisia. Aihe helpottui kuitenkin opinnäytetyöntekijän kokemuksen lisääntyessä useampien suunnitelmien toteutuksen jälkeen. Moisiolinna Group Oy myös palkkasi juuri uuden suunnittelijan, jota on käytetty opinnäytetyössä koehenkilönä, sillä tarkoituksena työllä on vastata mahdollisimman laajasti suunnittelijalla herääviin kysymyksiin aloittaessa suunnittelua Moisiolinna Groupissa omaksuen siellä käytettäviä toimintatapoja.

Opinnäytetyö on toiminut siihen tarkoitukseen, johon se on luotu. Uusi suunnittelija on ymmärtänyt paljon enemmän siitä, mitkä ovat käytetyt toimintatavat yrityksessä. Jotta materiaali ei leviäisi käsiin, on joitakin aihepiirejä rajattu, sillä

mahdollisuudet viedä aihepiiriä vieläkin laajemmaksi on huikeat. Jatkossa kuitenkin suunnittelijoilta saadun palautteen perusteella, voi työn tietopakettia lisätä suunnittelun kannalta oleellisista asioista, jotta kaikki tarvittava perustieto löytyisi sitten yhdestä paikasta.

LÄHTEET

Markku Järvinen, Valon ominaisuuksia, luettu 14.6.2020

<https://peda.net/p/Markku%20J%C3%A4rvinen/fysiikka/valo-ja-%C3%A4%C3%A4ni/vka>

DIGMA, avoin oppiympäristö, luettu 23.10.2020

<https://moodle.amk.fi/mod/book/view.php?id=4463&chapterid=309>

Prism Lighting group, luettu 23.10.2020 <https://www.prismlighting-group.com/led-color-temperature-design-applications/>

Full spectrum solutions, Manufacturer of Full Spectrum Lighting & Light Therapy Products since 1997, luettu 23.10.2020 <https://www.fullspectrumolutions.com/pages/what-is-natural-lighting>

Fagerhult, Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri, luettu 23.4.2019

<https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari/>

SKILUX OY, Hyvä tietää valosta, luettu 14.6.2020 <https://www.skilux.fi/tuotteet/hyva-tietaa-valosta/cri-ra.html>

Glamox, Human centric lighting, miten se toimii, luettu 14.6.2020 <https://glamox.com/fi/-miten-se-toimii>

Bailes, H.J. and Lucas, R.J. (2013) Human melanopsin forms a pigment maximally sensitive to blue light (Imax 479 nm) supporting activation of Gq/11 and Gi/o signalling cascades. Proc. Biol. Sci. 280, 20122987

Brainard et al., 2001 Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. The Journal of Neuroscience, 21, 6405-6412.; Thapan et al., 2001 An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. The Journal of Physiology, 535, 261-267.

Cajohen et al., 2005 High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 90, 1311-1316.

Beckhoff, Bus Terminal, luettu 29.10.2020 https://www.beckhoff.com/english.asp?bus_terminal/default.htm?id=23562362

Valtioneuvoston asetus mittayksiköistä. Jan Vapaavuori & Veli Viitala. 04.12.2014. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141015>

Lamppujen ominaisuuksia. Motiva.Oy

2019. <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/>

Gavriel Salvendy: Handbook of Industrial Engineering, s. 1199. John Wiley & Sons, 2001. [ISBN 9780471330578](#).

ST 58.02 VALAISTUKSEN TOTEUTUS STANDARDIN SFS-EN 12464-1 MUKAISESTI, LAADITTU 2017-03-28

ST 58.08 VALONLÄHTEET, Laadittu 9.1.2018

ST 58.07 VALAISTUKSEN LAADUN ARVIOINTI JA MITTAUS, LAADITTU 2017-09-08

ST 58.31 VALONLÄHTEIDEN SÄÄTÖ JA OHJAUS, LAADITTU 2016-08-25

ST 57.40, RT 75-11263, VALAISTUSTEKNIIKAN PERUSSUUREET JA MÄÄRITELMÄT, LAADITTU 2017-04-25

VALO JA VALAISTUS. TYÖKOHTEIDEN VALAISTUS. OSA 1: SISÄTILOJEN TYÖKOHTEIDEN VALAISTUS, STANDARDI SFS-EN 12464-1, Vahvistettu 2011-10-10 2. painos

ST-KÄSIKIRJA 21, sähkötieto ry, 2017

AD-Lux Oy 04.05.2018, <https://adlux.fi/sahkosuunnittelijoille/>

2017-2020 Rensselaer Polytechnical Institute, Troy, NY 12180 USA, <https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/>

1995-2019 Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY 12180 USA, <https://www.lrc.rpi.edu/>

Led lamppujen himmennys, Valomanni, <https://www.valomanni.fi/led-lamppujen-himmennys>

Valaistuksen säädön periaatteet, <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaset/0705016/1228387313247/1228466781352/1234877472426/1234877528916.html>

Beckhoff, Default front page, luettu 30.10.2020 <https://www.beckhoff.fi/fi/default.htm?applicat/etusivu.html>

KL6581 and KL6583 EnOcean Bus Terminal and Transceivers Version 2.0.0, Date 2019-05-27 https://download.beckhoff.com/download/document/io/bus-terminals/kl6581_kl6583en.pdf

Beckhoff, TwinCat 3, luettu 30.10.2020 <http://www.beckhoff.com/Twincat3/>

KIINTEISTÖJEN TIEDONSIIRTOVÄYLÄT, ST-KÄSIKIRJA 21, JULKAISIJA Copyright © Sähkötieto ry Harakantie 18 B, PL 55, 02650 Espoo 2., uud. painos ESPOO 2017

© 2020 Flexfire LEDs, LED Learning Center + FAQ, luettu 31.10.2020
<https://www.flexfireleds.com/what-is-dynamic-tunable-white-led-lighting-top-benefits-and-uses-for-tunable-dynamic-white-light-design/>

© 1996-2020 LightBulbs.com, What is Warm Dimming? | LED Lighting Technology, luettu 31.10.2020 <https://www.lightbulbs.com/blog/what-is-warm-dimming-led-lighting-technology>

Eskelinen Matti, 2002, Luettu 2020, <http://users.jyu.fi/~tro/gtksem02/prujut/matti/varimallit.pdf>

