



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Tuomas Tuuloskorpi

# Muuntojoustavuuden huomioiminen sähkösuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.4.2021

Tekijä Otsikko	Tuomas Tuuloskorpi Muuntojoustavuuden huomioiminen sähkösuunnittelussa
Sivumäärä Aika	45 sivua 30.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Vesa Sippola ryhmäpäällikkö Henri Waaramaa
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kuinka kiinteistöjen ja tilojen muuntojoustavuutta voidaan huomioida sähkösuunnittelussa. Aiheen rajaukseksi tarkastelussa keskityttiin sähkönjakeluun sekä valaistukseen ja tarkastelun ulkopuolelle jätettiin tele- ja turvalaitteet.</p> <p>Tavoitteena oli saada aikaan tutkimusteksti, jonka avulla sähkösuunnittelijat tai aiheesta kiinnostuneet saavat käsityksen muuntojoustavuudesta, mitä tulisi huomioida muuntojoustavuuteen pyrittäessä ja vaihtoehtoja sen toteuttamiseen.</p> <p>Työssä esiteltiin aluksi kestävä rakentaminen ja sen yhtenä arviointikriteerinä käytettävä muuntojoustavuus. Muuntojoustavuudesta pohdittiin sen määritelmää, eri alueita sekä hyötyjä. Kiinteistöjen sähkönjakelu esiteltiin pääpiirteittäin ja mitä sähkönjakelussa tulisi huomioida muunneltavuuden kannalta. Työssä esiteltiin myös erilaisia jakelujärjestelmiä, joiden avulla voidaan saavuttaa muunneltavuutta sähkönjakeluun sekä vaihtoehtoja valaistuksen muuntojoustavuuteen.</p> <p>Insinöörityön sisältöä kerättiin aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta ja asiantuntijahaastattelulla. Materiaalia kerättiin myös alan standardeista sekä laitevalmistajien ohjeista ja tuotekuvastoista. Työn tuloksena syntyi tutkimusteksti aiheesta, jota voidaan hyödyntää apuna sähkösuunnittelussa muuntojoustavuuteen pyrittäessä ja tiedon lähteenä aiheesta kiinnostuneille.</p>	
Avainsanat	muuntojoustavuus, sähkönjakelu, jakelukiskojärjestelmät, DALI, KNX

Author Title	Tuomas Tuuloskorpi Consideration of adaptability in electrical design
Number of Pages Date	45 pages 30 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Henri Waaramaa, Group Manager Vesa Sippola, Senior Lecturer
<p>Purpose of this Bachelor's thesis work was to investigate how adaptability of properties and spaces can be taken into consideration in electrical design. The focus of this study was on electrical distribution and lighting systems. Telecommunication and security equipment were not considered.</p> <p>The goal was to create information that can help electrical designers and those who are interested in this subject. This thesis helps to understand what adaptability means and what should be considered when aiming for adaptable solutions. The thesis also provides views for its implementation.</p> <p>Sustainable construction and adaptability of properties were introduced first in the work. About adaptability there is discussion about its definition, different areas, and benefits. Properties electrical distribution system is introduced mainly and what should be considered in designing adaptable electrical distribution. The work also introduced different distribution systems that can provide adaptability for electrical distribution and solutions for flexible lighting.</p> <p>The work is mainly based on the study of relevant literature and on expert interviews. Material was also collected from series of standards and manufacturers manuals and catalogs. The result of the work is information that can be used to help in electrical designing when adaptable solutions are needed. This thesis also functions as a source of information for those who are interested in the subject.</p>	
Keywords	adaptability, electrical distribution, busbar distribution system, DALI, KNX

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kestävä rakentaminen	2
3	Muuntojoustavuus	4
3.1	Käsitteenä	4
3.2	Muunneltavuus	5
3.3	Monikäyttöisyys	6
3.4	Hyödyt	6
3.5	Muuntojoustavuuden tason määrittäminen	7
4	Sähkönjakelu	8
4.1	Kiinteistöjen sähkönjakelun rakenne	8
4.2	Sähkötilat ja -keskukset	9
4.2.1	Sähkötilat	10
4.2.2	Sähkökeskukset	12
4.3	Asennusreitit	14
4.3.1	Alajakelu	15
4.3.2	Yläjakelu	18
4.4	Pistoliitin- ja johtosarjajärjestelmät	19
4.5	Lattakaapelijärjestelmät	21
4.6	Jakelukiskojärjestelmät	22
5	Valaistus	28
5.1	Väyläpohjaiset ohjausjärjestelmät	29
5.1.1	DALI	29
5.1.2	KNX	33
5.2	Langattomat ohjausjärjestelmät	35
5.2.1	Casambi	37
5.2.2	Helvar ActiveAhead	39
6	Yhteenveto	40



## Lyhenteet

DALI	Digital Addressable Lighting Interface, standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla.
DMX	Digital Multiplex. Digitaalinen sarjaprotokolla, jota käytetään valaistustekniikassa etenkin esitysvaistuksessa.
EIB	European Installation Bus, standardoitu asennusväylä, jota myöhemmin käytettiin KNX:n perustana.
ETS	Engineering tool software, KNX-järjestelmän ohjelmointiin käytettävä sovellus.
IEC	International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
ISO	International Organization for Standardization eli kansainvälinen standardisimisjärjestö.
KNX	Avoin standardi rakennusautomaatioon.
LED	Light Emitting Diode, hohtodiodi.
LVI	Lämpö, Vesi, Ilma.
Mesh	Verkkotopologia, jossa verkon jokainen laite toimii reitittimenä.
SELV	Safety extra low voltage, jännite, joka ei ylitä pienoisjännitteen (ELV) raja-arvoja normaaliolosuhteissa mukaan luettuna maasulut toisissa piireissä.
SFS	Suomalainen standardisoinnin keskusjärjestö.
Zigbee	Langaton tiedonsiirtoprotokolla.

## 1 Johdanto

Kestävään kehitykseen pyrittäessä myös rakentamisen tulisi olla kestävä. Kestävän rakentamisen osatekijänä olevalla muuntojoustavuudella varaudutaan kiinteistön tai tilan mahdollisiin muutostarpeisiin. Muuntojoustavuuden tasoa ja tarvetta määrittelevät usein kiinteistön tyyppi ja esimerkiksi liike- ja toimitilarakentamisessa usein vaaditankin muuntojoustavuutta vuokralaisten vaihtuessa usein. Vaihtoehtoja muuntojoustavuuden saavuttamiseen on monia ja valintaan vaikuttaa minkälaista ja minkä tasoista muuntojoustavuutta ollaan tavoittelemassa.

Insinöörityön tavoitteena on tutkia ja esitellä vaihtoehtoja, jotka tukevat kiinteistöjen sähkönjakelun ja valaistuksen muuntojoustavuutta. Työssä käsitellään aluksi kestävästä rakentamisesta, muuntojoustavuutta ja esitellään kiinteistöjen sähkönjakelu pääpiirteittäin. Seuraavaksi käsitellään, mitä tulisi huomioida sähkönjakelussa muunneltavuuden kannalta ja esitellään erilaisia jakelujärjestelmiä, joiden avulla voidaan saavuttaa muunneltavuutta sähkönjakeluun sekä vaihtoehtoja valaistuksen muuntojoustavuuteen.

Työn on tehty yhteistyössä Granlund Oy:n kanssa. Granlund on vuonna 1960 perustettu rakennus- ja kiinteistöalan asiantuntijakonserni, joka työllistää Suomessa yli tuhat työntekijää. Liiketoiminnan kivijalkana toimii talotekninen suunnittelu. Granlund tarjoaa palveluita myös konsultointiin, ohjelmistoihin, rakennuttamiseen ja valvontaan sekä isännöintiin. Yrityksen tärkeimpänä tavoitteena on parantaa kiinteistöiden toimivuutta, älykkyyttä ja samalla ihmisten hyvinvointia rakennetussa ympäristössä. Granlund panostaa vahvasti tutkimus- ja kehitystoimintaan ja konsernin liikevaihdosta tähän käytetäänkin vuosittain noin 6–8 prosenttia. (1.)

## 2 Kestävä rakentaminen

Rakentamisella on merkittävä rooli energiankäytön ja päästöjen vähentämisessä. Rakennusten energiankäyttö on noin 40 prosenttia Suomen kokonaisenergiankulutuksesta ja rakentaminen aiheuttaa yli kolmanneksen Suomen kasvihuonepäästöistä. Suunnittelun ja rakentamisen aikana tehdyt valinnat vaikuttavat vuosikymmeniä eteenpäin rakennuksen elinkaaressa. Järkevillä ratkaisuilla voidaan vaikuttaa huomattavasti rakennuksen energiankäyttöön ja elinkaari- ja käyttökustannuksiin. (2; 3.)

Kestävä rakentaminen on yksi kestävän kehityksen osa-alueista. Kestävässä rakentamisessa pyritään tuottamaan pitkäikäisiä, materiaali- ja energiatehokkaita, vähän huoltoa ja korjausta vaativia rakennuksia. Rakentamisessa huomioon otetaan resurssien tehokas käyttö ja pyritään löytämään ekologisesti sekä taloudellisesti kestäviä ratkaisuja ilmastonmuutoksen hillintään. Ominaisuuksia, joita kestävältä rakennukselta halutaan ovat esimerkiksi energiatehokkuus, muuntojoustavuus, toimivuus, terveellisyys, viihtyvyys sekä arvon säilyminen. (2.)

Kestävä rakentaminen voidaan jakaa taulukon 1 mukaisesti neljään osa-alueeseen, joita ovat taloudellinen kestävyys, ekologinen kestävyys, sosiaalinen kestävyys ja kulttuurillinen kestävyys. Ilmastonmuutoksen hillitsemisen ollessa keskeisenä tekijänä kestävässä kehityksessä ja rakentamisessa se ei kuitenkaan saa ohjata valintoja esimerkiksi terveyden tai turvallisuuden kustannuksella. Olennaista on tarkastella ratkaisuja kaikkien osa-alueiden kannalta (2; 4.)

Suurimpana esteenä kestävän rakentamisen toteuttamiselle koetaan usein korkeammat kustannukset. Kustannuslaskennan keinojen ollessa kehittyneempiä ja laajemmin hyväksytyjä verrattuna kestävän rakentamisen tuoman arvon ja hyödyn arviointimenetelmiin, keskitytään usein vain kustannuksiin kestävän rakentamisen tarkastelussa. Rakentamisen panos-tuotosajattelu vaatisikin uudistumista kestävän rakentamisen tavoitteiden saavuttamiseksi. Painopistettä laskennassa tulisi siirtää investointivaiheesta rakennuksen koko elinkaareen, jonka aikana kertyvät kustannukset ovat merkittäviä. (4; 5, s. 14.)



Taulukko 1. Kestävän rakentamisen osa-alueet (3).

<p style="text-align: center;"><b>Taloudellinen kestävyys</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekotehokkuus ja elinkaariajattelu.</li> <li>• Elinkaaritaloudellisuus.</li> <li>• Materiaalien ja energian säästäminen.</li> <li>• Kaluston vuokraus ja lainaaminen.</li> <li>• Rakennusten korjaus ja kunnossapito.</li> <li>• Materiaalien ja rakenteiden suojaus.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Ekologinen kestävyys</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ympäristöystävälliset hankinnat</li> <li>• Materiaalien, energian ja veden säästö.</li> <li>• Lajittelu, uudelleenkäyttö ja kierrätys. Säästävät ja vähäpäästöiset liikkumistavat.</li> <li>• Turvallisuus vaarallisten aineiden käsittelyssä ja varastoinnissa.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Kulttuurillinen kestävyys</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakennetun ympäristön kulttuuriperinnön vaaliminen.</li> <li>• Perinteisen rakennustapojen osaamisen säilyttäminen.</li> <li>• Vanhan kunnioittaminen.</li> <li>• Rakentamisen historian tunteminen.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Sosiaalinen kestävyys</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Työympäristön turvallisuus, terveellisyys, viihtyvyys ja esteettömyys.</li> <li>• Henkilöstön hyvinvointi, terveys, työssäjaksaminen ja tasa-arvoinen kohtelu.</li> <li>• Avoimuus ja yhteistyö.</li> </ul>

Kestävän rakentamisen edistämiseksi tulisi siihen liittyvien arviointimenetelmien laatua kehittää sekä saada integroitua ne suunnittelun muihin työkaluihin. Kysyntää tulisi kasvattaa ja lisätä loppukäyttäjien tietoisuutta kestävän rakentamisen hyödyistä ja potentiaalista. Panostaa täytyisi myös korjausrakentamisen konseptien ja palvelujen kehittämiseen. Ylläpidon palveluiden avulla pystytään tukemaan, että rakennukseen suunniteltu toimivuus ja energia- ja ekotehokkuus pysyvät yllä ja kehitettävissä rakennuksen koko elinkaaren aikana. Kestävässä rakentamisessa onnistuneen lopputuloksen saavuttamisessa korostuu pääsuunnittelijan rooli ja suunnittelijoiden pätevyys kestävään rakentamiseen sekä hyvä yhteistyö sidosryhmien kanssa. (5, s. 74–77.)

### 3 Muuntojoustavuus

#### 3.1 Käsitteenä

Kestävän rakentamisen yhtenä osa-alueena on muuntojoustavuus ja sitä käytetäänkin indikaattorina monissa kestävän rakentamisen arviointimenetelmissä. Kiinteistöiden ja tilojen käyttötarpeet muuttuvat nykyisin useammin, mikä korostaa muuntojoustavuuden tärkeyttä. Muuntojoustavuudella pyritään varautumaan käyttötarkoitusten ja tapojen muutoksiin. Muutostarpeet saattavat olla jo suunniteltaessa tiedossa, mikä helpottaa suunnitteluratkaisujen tekemistä tai mahdollisesti tuntemattomia, jolloin täytyy miettiä todennäköisyyksiä ja tehdä parhaita arvauksia. Muuntojoustavuuteen pyrkimisellä täytyy kuitenkin olla tarkoitus, eikä yleispätevä kaiken kattava muuntojoustavuus oleva tavoiteltavaa. (6, s. 5.)

Käsitteenä muuntojoustavuus tulkitaan usein monin eri tavoin. Standardi ISO 20887 (Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance) (7) käsittelee rakennusten ja rakentamisen kestävyyttä ja antaa yleiskatsauksen mukautettavuuden ja purettavuuden periaatteista. Se on tarkoitettu sovellettavaksi kaiken tyyppisiin rakennuksiin kuten kaupallisiin, teollisiin, asuin ja institutionaalisiin. Standardiehdotuksen mukaan muuntojoustavuus on mahdollisuus muokata tai muuttaa tilaa palvelemaan haluttua käyttötarkoitusta. Sen mukaan muuntojoustavuuden suunnitteluperiaatteet ovat monikäyttöisyys, muunneltavuus ja laajennettavuus. Standardiehdotuksessa mainitaan rakennukseen liittyvän dokumentoinnin, sen ajantasaisuuden ja hallinnan olevan keskeistä muuntojoustavissa kohteissa. Digitaalisen datan hyödyntäminen, kuten rakennuksen tietomalli, helpottaa keinoja informaation keräämiseen ja vaihtoehtoisten mallien arvioimiseen. (7, s. 11, 20-21.)

Suunnittelussa ja rakentamisessa tulisi varmistaa, että kaikilla on sama käsitys muuntojoustavuudesta ja minkälaista joustoa sillä haetaan. Tarja Häkkisen ja Paula Ala-Kotilan tekemässä tutkielmassa Monikäyttöisyys ja muunneltavuus kestävässä rakentamisessa on muuntojoustavuus kuvan 1 mukaisesti jaettu ylä- ja alakäsitteiksi (6, s. 6).



Kuva 1. Muuntojoustavuuden määrittely (6, s. 6).

Otettaessa muuntojoustavuus huomioon suunnittelussa tyypillisesti valitaan, painotetaanko monikäyttöistä vai muunneltavaa ratkaisua. Molemmat ratkaisut tuottavat erilaisia muuntojoustavuusominaisuuksia. Mikään ratkaisu yksinään ei saa aikaan kaiken kattavaa joustavuutta ja eri ratkaisuita voidaankin yhdistellä. (6, s. 13.)

Rakentamisen eri vaiheet tarjoavat myös mahdollisuuden muuntojoustavuuteen. Muuntojoustavuutta voidaan tavoitella rakentamisessa suunnitteluvaiheessa, rakentamisvaiheessa tai rakennuksen käytön aikana. Suunnitteluvaiheessa muuntojoustavuus ilmenee suunnittelujoustopona, jossa esitetään esimerkiksi vaihtoehtoratkaisuja suunniteltavaan rakennukseen. Rakentamisen aikainen muuntojoustavuus taas kuvaa mahdollisuutta muutoksiin jo rakenteilla olevaan rakennukseen. Rakennuksen käytön aikainen muuntojoustavuus ilmenee rakennuksen kykyinä mukautua vaihteleviin tai muuttuviin tarpeisiin. (6, s. 6.) Tässä insinööriyössä keskitytään ratkaisuihin, jotka tukevat käytön aikaista muuntojoustavuutta.

### 3.2 Muunneltavuus

Muunneltavuudessa varaudutaan rakennuksen tai tilan käyttötarpeiden tuleviin muutoksiin. Kyseessä on niin sanottu muutoksen huomioon ottava suunnittelustrategia. Rakennuksista ja tiloista pyritään luomaan sellaisia, jotka tukevat muutoksia tehokkaasti ja toimivasti. (6, s. 12.) Jos rakennusta suunniteltaessa ei muunneltavuutta ole huomioitu ollenkaan voi muutostarpeen ilmetessä käydä niin, että sen toteuttaminen vaatii suuria kustannuksia, se ei ole taloudellisesti järkevää tai edes mahdollista. Jos rakennuksen sijainti on käyttäjälle tärkeä tai kriittinen jää mahdollisesti pahimmassa tapauksessa vaihtoehdoksi vain purkaa olemassa oleva rakennus tai sen osa ja rakentaa tilalle uusi.

Tällöin rakennuksen potentiaalinen käyttöikä jää lyhyemmäksi ja resursseja on mennyt hukkaan.

Suunniteltaessa muunneltavia ratkaisuja huomioitavia asioita ovat muun muassa rakentamistavat ja -prosessit, rakentamisen ja purkamisen keinot, materiaalien liitokset ja talotekniikka ja sen sijoitukset. (6, s. 13.) Muutostarpeen ilmetessä muutosten toteuttamisen mahdollisuus ja helppous indikoivat hyvästä muunneltavuudesta. Parhaimmassa tapauksessa muutokset voidaan tehdä keskeyttämättä rakennuksessa olevia toimintoja, joka voi olla arvokasta esimerkiksi teollisuus- ja liiketilakohteissa.

### 3.3 Monikäyttöisyys

Monikäyttöisyys mahdollistaa rakennuksen tai tilan vaihtoehtoisen käyttötarkoituksen tekemättä merkittäviä järjestelmien muutoksia. Sen avulla rakennuksen pinta-ala saadaan paremmin hyödynnettyä ja siihen liittyviä kustannuksia ja resursseja vähennettyä. Tila voi toimia ensisijaisen käyttäjän tarpeisiin esimerkiksi päivällä ja illalla mukautua toiseen käyttötarkoitukseen. Standardissa ISO 20887 (7) esimerkkinä käytettiin liikuntasalia, jossa on liikuteltava katsomo ja katossa ja seinissä akustiikkapaneelit. Näin liikuntasalia voidaan käyttää myös teatterina tai taidekeskuksena. Tyypillistä monikäyttöisyyteen pyrkiminen on koulukohteissa, ja esimerkiksi Suomen Yliopistokiinteistöt Oy pyrkiikin monikäyttöisyyteen kaikissa kiinteistöissään. (6, s. 14; 7, s. 4.)

Monikäyttöisiä tiloja suunniteltaessa on tiedostettava hyvin eri käyttäjät ja käyttötarpeet. Suunnitteluprosessi vaatii asiakkaalta paljon, jotta asiakkaan tarve saadaan konkretisoitua tarkasti. On myös tärkeä löytää tasapaino monikäyttöisen ja tietyille toiminnalle tarkoitetun tilan välille. Vaarana voi muuten olla, ettei loppuen lopuksi tila tule palvelemaan hyvin mitään käyttötarkoitusta. (6, s. 9; 8, s. 34–44.)

### 3.4 Hyödyt

Muuntojoustavuuden avulla voidaan saada taloudellisia hyötyjä ehkäisemällä rakennuksen vanhanaikaistumista, pidentämällä sen käyttöikä ja helpottamalla laajennus- ja muutosprosesseja. Tilojen myynti- ja vuokrausarvot sekä niiden vuokrattavuus paranevat hyvän muunneltavuuden seurauksena. Muuntojoustavuuden avulla voidaan

parantaa myös tilojen käyttöastetta, joka mahdollistaa suuremmat käyttäjämäärät ja kustannusten jakautumisen. Kiinteistösijoittamisessa muuan muassa tilojen taloudellinen käyttöaste määrittää kannattavuutta. Tällä tarkoitetaan käytössä olevien tilojen suhdetta kokonaistilakantaan ja siinä ei oteta huomioon tilan käytön tehokkuutta, jota monikäyttöisyydellä saavutetaan. Monikäyttöisten tilojen taloudellisten vaikutusten arviointiin tarvittaisiinkin uusia määrittelyjä. (6, s. 18–19; 14, s. 2.)

Ympäristön ja kestävä rakentamisen kannalta muuntojoustavuuden hyödyt tulevat esiin rakennusaineiden säästöissä ja rakennuksen käytön aikaisten energia- ja materiaaliresurssien vähenemisestä. On kuitenkin huomioitava että, jos muunneltavuuden varautumistarve arvioidaan väärin voi resursseja myös tuhlautua. Tämä korostaa hyvän suunnittelun, selvitystyön ja muuntojoustavuuden tason määrittämisen tarvetta. Kuten aiemmin todettiin, muuntojoustavuus pidentää rakennuksen käyttöikää, mikä jo suoraan vähentää ympäristövaikutuksia. Muuntojoustavat rakennukset tarjoavat myös parempaa toimivuutta ja esimerkiksi energian käyttöä voidaan optimoida käyttöiän kuluessa. Tilojen monikäyttöisyyden ansiosta myös välimatkat lyhenevät ja liikenteen määrä vähenee. (6, s. 25.)

### 3.5 Muuntojoustavuuden tason määrittäminen

Muuntojoustavuuden tasoa, tarvetta ja tyyppiä määrittelevät tyypillisesti rakennuksen käyttötarkoitus ja rakennuksen tilaaja. Esimerkiksi liike-, toimisto-, koulu- ja asuinrakentamisessa lähtökohdat muuntojouston tarpeeseen ja tyyppiin yleisesti eroavat toistaan. Liikerakentamisessa muuntojouston tavoittelemisen on yleistä ja usein panostetaan muunneltavuuteen, jotta vuokralaisten vaihtuessa ei tarvita isoja remontteja. Toimisto- ja varsinkin koulukohteissa monikäyttöisyyteen pyrkiminen on taas yleisempää. Toimistokohteissa ennakoitaan myös mahdollisuuksia tilojen jakamiseen eri kokonaisuuksiin tai kokonaan eri vuokralaisille. Asuinrakentamisessa rakennuttajien halukkuus muuntojoustavuuteen on vähäisempää, mutta asuinrakentamisenkin tarjoaa potentiaalia muuntojoustavuuteen ja esimerkiksi ympäristöministeriö haluaa edistää asiaa kerrostalo- ja rivitalokohteissa. (6, s. 34, 48.)

## 4 Sähkönjakelu

### 4.1 Kiinteistöjen sähkönjakelun rakenne

Sähkönjakeluverkot kiinteistöissä ovat tyypillisesti pienjänniteverkkoja, joiden jännite on alle 1000 V AC. Suuremmissa tai paljon tehoa vaativissa kiinteistöissä voi olla käytössä myös keskijänniteliittymä ja sitä varten muuntaja tai muuntajia. Kiinteistön sähkönjakeluverkon rakenne riippuu kiinteistötyypistä. Keskijännitteeseen liittyvän varavoimalla varustetun tehtaan sähkönjakelu eroaa merkittävästi esimerkiksi pienjännitteeseen liittyvän rivitalokohteen sähkönjakelusta. Pääpiirteittäin kiinteistöiden sähköverkot koostuvat keskuksista, kaapeleista, suojalaitteista, sähkön laatua muokkaavista laitteistoista, kulutuskojeista ja mittalaitteista. (9, s. 10; 10, s. 2.) Kiinteistöjen sähkönjakelua havainnollistetaan nousujohtokaavioiden avulla.

Sähköliittymä toimii solmupisteenä sähköä toimittavan jakeluverkko-yhtiön ja kiinteistön välillä. Sähköliittymällä tarkoitetaan yleensä liittymiskaapelia, jolla sähkö siirretään jakeluverkosta pääsulakkeiden läpi kiinteistön pääkeskukselle. Pääsulakkeiden koko valitaan kiinteistön arvioidusta maksimitehosta saadun virran perusteella ja liittymiskaapeli mitoitetaan pääsulakkeiden mukaan. Jakeluverkko-yhtiö vastaa sähköverkon toiminnasta liittymiskohtaan asti ja takaa tarpeeksi laadukkaan jakelujännitteen kiinteistölle. Standardissa SFS-EN 50160 käsitellään jakelujännitettä, ja se sisältää vaatimuksia esimerkiksi jakelujännitteen taajuudelle, jännitetason vaihteluille, nopeille jännitteenmuutoksille, jännitekuopille, ja keskeytyksille. (9, s. 10–11.)

Pääkeskukselta sähkö siirretään mahdollisten nousukeskusten kautta jako- ja ryhmäkeskuksiin, jotka palvelevat kiinteistön tiettyjä osia. Pääkeskuksen jakoalueena toimii yleensä koko kiinteistö, ellei kiinteistön koon tai muun syyn takia haluta jakaa kiinteistön sähkönjakelua useampaan pääkeskukseen. Pääkeskuksessa sijaitsee kiinteistön pääkytkin, liittymän pääsulakkeet ja yleensä sähköenergian mittaus. (9, s. 11.)

Suurissa kiinteistöissä nousukeskuksia hyödynnetään sähkönjakelussa. Nousukeskuksiksi kutsutaan jakokeskuksia, jotka syöttävät muita keskuksia. Niiden jakoalueena toimii syötettävien alakeskuskusten jakoalue, joka voi käsittää esimerkiksi kiinteistön jonkin kerroksen. Suurissa kiinteistöissä nousukeskuksia käytetään niiden taloudellisen hyödyn

takia. On taloudellisempaa viedä yhdellä kaapelilla sähköenergia nousukeskuksiin ja jakaa siitä alakeskuksiin, joilla syötetään kiinteistön kuormia. (9, s. 11.)

Jako- ja ryhmäkeskukset palvelevat kiinteistön sähkönjakelussa pientä aluetta. Alueena voi toimia esimerkiksi kerrostalon yksi asunto tai kauppakeskuksen liiketila. Niillä syötetään kiinteistön sähkölaitteita ja -kuormia.

#### 4.2 Sähkötilat ja -keskukset

Muunneltavuuden kannalta sähkötilojen ja keskusten sijoittelu ja tilavaraukset tulisi miettiä tarkasti ja muutoksia tukeviksi. Mikäli rakennussuunnittelun alkuvaiheessa ei oteta sijoittelua ja tilavaruuksia huomioon oikein, voi mahdollisten virheiden korjaaminen olla mahdotonta rakentamisen yhteydessä tai tulevaisuudessa. Järkevillä sijoitteluilla ja tilavarauksilla voidaan vaikuttaa huomattavasti rakennuksen ylläpitämisen ja käytettävyyden helppouteen koko rakennuksen elinkaaren aikana. (11, s. 24, 58.)

Sähkökeskukset sijoitetaan tyypillisesti sähkötiloihin tai keskuskomeroihin. Paikoissa, joissa keskuksen sijoitustilan käytöstä ei aiheudu vaaraa, voidaan keskus sijoittaa vapaalle seinäpinnalle. Keskusten on haitattava mahdollisimman vähän muuta toimintaa ja niihin on oltava helppo pääsy. Huoltomahdollisuuksia varten on varattava riittävä hoitotila, jotta keskuksen suoritettavat asennus-, mittaus-, huolto- ja käyttötoimenpiteet voidaan suorittaa vaarattomasti. Jakokeskuksia tulee sijoittaa kiinteistöihin riittävän laajalle alalla, jotta ryhmäjohtojen pituudet eivät kasva liian pitkiksi, aiheuttaen ongelmia vikalaukaisuaikoihin ja jännitteenaleniin. (11, s. 61.)

Muunneltavuuden kannalta keskuksen sijoittelussa tulisi miettiä myös mahdollisia tulevaisuuden vuokralaisjakoja. Tyypillisesti tilaajalla on jo näkemys, miten tilat voidaan mahdollisesti jakaa tulevaisuudessa, jonka mukaan keskusjakokin voidaan tehdä. Monikerroksisissa rakennuksissa keskukset tulisi pyrkiä sijoittamaan päällekkäin johtokuilujen yhteyteen. Näin keskusten välinen kaapelointietäisyys saadaan pidettyä lyhyenä ja kaapelointi selväpiirteisenä. (11, s. 61; 12.)

#### 4.2.1 Sähkötilat

Huomioidessa muunneltavuus erillinen riittävän tilava sähkötila keskukselle on parempi ratkaisu komeroon verrattuna (12). Sähkötila on sähkötekniillejärjestelmille varattu huone, johon pääsevät vain sähköalan ammattihenkilöt tai opastetut henkilöt. ST-käsi-kirjan 35 (11, s. 18.) mukaan sähkötiloille on voimassa seuraavat säännöt:

- Sähkötilat on merkittävä selkeästi ja näkyvästi tarpeellisilla kilvillä.
- Sähkötiloihin saavat päästä vain henkilöt, joilla on lupa siihen.
- Sähkötilojen ovista pitää olla mahdollista poistua ulkopuolelle avaamalla ne ilman avainta, työkalua tai muuta laitetta, joka ei ole osa avausmekanismia.

Sähkötilaan liittyvien asennusreittien tulisi liittyä tilaan luontevasti ja olla mitoitettu tukemaan muutoksia tai mahdollisesti olla laajennettavissa. Huomiota tulee kiinnittää myös sähkötilassa olevien mahdollisten tieto- ja turvajärjestelmien kaapelireitteihin. Suuremmissa kohteissa eri järjestelmille asennetaan omat hyllyt ja pienimissä käytetään tyypillisesti yhteisiä hyllyjä, joissa tietojärjestelmien johdotukset asennetaan omaan kouruun ja turvajärjestelmien kaapeloinnit riittävän erilleen vahvavirtakaapeleista. Sähkötiloihin sijoitettavien keskusten ja muiden laitteistoiden sijoitukset toisiinsa nähden tulisi olla järkevästi toteutettu sekä tilantarpeet ja mahdolliset laajennukset ottaa huomioon. (11, s. 36; 12.)

Sähkötilojen tilantarpeissa on huomioitava niiden vaatima hoitoalue. Jakokeskuksille varattujen hoitoalueiden on sovelluttava työntekoa, käyttötoimintaa, hätätoimintaa, hätätilanteesta poistumista ja laitteiden liikuttelua varten. Laitteiden ovien ja saranoitujen seinien on avauduttava 90 asteen kulmaan ja ovet on suunnattava poistumisreitien suuntaisesti. Standardin SFS 6000-4-41 mukaan suojauksen ollessa toteutettu suojuksilla tai koteloinnilla sovelletaan taulukossa 2 olevia etäisyyksiä. (11, s. 61- 62.)



Taulukko 2. Minimietäisyyksiä suojauksen ollessa toteutettu suojilla tai koteloinnilla (11, s. 62).

<b>600 mm</b>	Käytävän leveys kytkinkahvojen ja erotusasennossa olevan katkaisijan tai kytkinkahvan ja seinän välillä
<b>800 mm</b>	Käytävän leveys suojusten ja kotelointien välillä tai suojusten ja kotelointien ja seinän välillä
<b>2000 mm</b>	Kattoverhouksen korkeus lattian yläpuolella
<b>2500 mm</b>	Jännitteisten osien korkeus lattian yläpuolella

Sähkötilojen vapaakorkeuden tulisi olla vähintään 2600 mm, mutta saneerauskohteissa joudutaan hyväksymään matalampia korkeuksia. Pääkeskushuoneen minimi-tilantarvetta voidaan arvioida suunta-antavasti rakennuksen bruttoalan ja käyttötarkoituksen mukaan. Taulukossa 3 esitetty arvioita minimi-tilantarpeista eri rakennustyyppien pääkeskustiloille. Taulukkoa voidaan käyttää myös jakokeskusten tilantarpeita arvioidessa. (11, s. 18.) Lopulliset tilantarpeet mitoitetaan keskusten todellisten mittojen ja arvoitujen laajennustarpeiden mukaan.

Taulukko 3. Pääkeskushuoneen minimi-tilantarve. Taulukossa on annettu keskushuoneen seinäviivan pituus, joka saadaan kertomalla kahdella huoneen leveyden ja pituuden summa. Mitat ovat sisämittoja eikä sisällä saa olla pilareita tai muita ulokkeita. (11, s. 19.)

<b>Rakennuksen tai osan bruttoala m<sup>2</sup></b>	<b>Julkiset rakennukset m</b>	<b>Liike-rakennukset m</b>	<b>Toimisto- ja majoitus-rakennukset m</b>	<b>Kevyen teollisuuden rakennukset m</b>
1 000	6,6	7,8	6,6	7,2
2 000	7,2	8,4	7,8	8,4
3 000	7,8	9,0	9,0	9,0
4 000	8,4	10,0	11,5	10,0
5 000	8,4	11,5	12,0	11,5
6 000	9,0	12,0	13,0	12,0
7 000	10,0	13,0	14,0	13,0
8 000	10,5	14,0	15,0	14,0
9 000	11,5	15,0	16,0	15,0
10 000	12,0	16,0	17,0	16,0
20 000	16,0	21,0	21,0	19,0
30 000	19,0	24,0	27,0	24,0
40 000	21,0	30,0	30,0	27,0
50 000	24,0			30,0

Sähkötilojen kokoa kasvattaessa on huomioitava vaatimukset laitteiden sijoittelulle ja oville. Sähkötilan ollessa yli 6 m pitkä suositellaan kulkumahdollisuus tilan kumpaankin päähän ja yli 10 m pitkissä se vaaditaan. Tämä voidaan toteuttaa jättämällä laitteiden ja päätyseinien väliin vähintään 800 mm tilaa kulkemista varten. Sähkötilan pituuden kasvaessa yli 20 m täytyy tilan kumpaankin päähän järjestää kulkuovi. (11, s. 62.)

Kuljetusreitti sähkötilaan rakennuksen ulkopuolelta on mitoitettava riittäväksi keskusten ja muiden sähkölaitteiden siirtämiseksi tilaan. Huomioon kuljetusreitillä on otettava käytävien ja ovien korkeudet ja leveydet sekä lattian kantavuus. (11, s. 65.) Muunneltavuuden kannalta on olennaista varmistaa, että rakennuksen sähkötiloihin on toimiva kuljetusreitti koko sen elinkaaren ajan, jotta siellä olevat laitteet voidaan huoltaa ja korvata tarpeen vaatiessa.

#### 4.2.2 Sähkökeskukset

Sähkökeskukset sisältävät sähkön ohjaukseen, mittaukseen ja suojakseen liittyviä komponentteja, kuten kontaktoreja, releitä, varokkeita, johdonsuojakatkaisijoita ja energiamittareita. Keskuksen varustelu ja rakenne riippuvat käyttökohteesta. Tyypillisiä keskusrakenteita ovat kenno-, kotelo ja kehikkokeskukset.

Kennokeskuksia käytetään pääasiassa pää-, nousu- ja alakeskuksina, moottorien ohjauskeskuksina tai näiden yhdistelminä. Ne ovat tyypillisesti terälevyistä valmistettuja keskuksia, jotka koostuvat mekaanisesti yhteen liitetystä kentistä ja kennoista. Kentät ovat pystysuuntaisesti rajattuja tiloja, joissa voi olla yksi tai useampia kennoja. Kennot varustetaan syöttö- tai lähtöyksiköihin ja tarpeen vaatiessa muilla komponenteilla. Keskuksen sisäisessä sähkönjakelussa käytetään alumiinisia tai kuparisia virtakiskoja. Syöttöyksiköltä sähkö siirretään vaakasuuntaisilla kokoojakiskoilla pystysuuntaisiin haara/pystykiskoihin ja niistä kiskoin tai johtimin lähtöyksiköille. Kaapelointi kennoihin tapahtuu kaapelikenttien kautta, jolloin se on turvallista myös keskuksen ollessa jännitteinen. Kennokeskukset ovat yleensä nimellisjännitteeltään 400 V tai 690 V ja niitä on saatavilla useiden tuhansien ampeerien nimellisvirroille. Ne ovat tyypillisesti kotelointiluokaltaan IP20 tai IP30, mutta niitä on saatavissa myös korkeammilla IP-luokituksilla. (13, s. 27–32; 14, s. 80–81.)

Kotelokeskukset muistuttavat rakenteeltaan kennokeskuksia. Ne koostuvat metallista tai muovista toisiinsa liitettävistä modulaarisista rakenteista, jotka muodostavat kojekenttiä, joita kutsutaan koteloiksi. Kotelokeskukset soveltuvat hyvin vaativiin olosuhteisiin kotelointinsa ansiosta. Kotelointiluokaltaan ne ovat tyypillisesti IP44, mutta niitä on saatavissa myös korkeammille IP-luokituksille. Keskuksen nimellisjännite on usein 400 V ja nimellisvirta enintään 630 ampeeria. Osa valmistajista tarvittaessa rakentaa niitä kuitenkin yli 1000 ampeerin nimellisvirroille. (13, s. 32–34; 14, s. 82–83.)

Kehikkokeskusten tyypillisiä käyttökohteita ovat kiinteistökohteiden pää-, nousu- ja ryhmäkeskukset sekä teollisuuden valaistus-, ilmastointi- ja erikoiskeskukset. Rakenteellisesti ne koostuvat toisiinsa liitettävistä modulaarisista metalliosista, kuten pohjalevyistä, päätylevyistä ja suojaovista tai -kansista. Keskus muodostuu yhdestä tai useammasta kentästä, jossa komponentit ovat samassa tilassa. Rakenne nopeuttaa keskuksen johdottamista, kun johtimia ei tarvitse viedä kenttäkohtaisesti läpivientien läpi vaan suoraa kojeelta kojeelle. Keskuksen sisäinen sähkönjakelu toteutetaan virtakiskoilla tai haarotusaloilla. Yleinen nimellisjännite kehikkokeskuksilla on 400 V ja nimellisvirta 630 ampeeria. Tarvittaessa niitä on saatavissa myös suuremmille jännite ja virta arvoille. Kehikkokeskukset ovat tyypillisesti kotelointiluokaltaan IP20 tai IP30. (13, s. 35–38.)

Sähkökeskusten valmistamiseen ja asentamiseen on laadittu standardeja, jotka määrittelevät vaatimuksia keskuksille. Alla lueteltuna sähkökeskuksiin liittyvät standardit.

- SFS-EN 61439-1: Yleisvaatimukset
- SFS-EN 61439-2: Ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot
- SFS-EN 61439-3: Maallikkokäyttöön tarkoitetut kojeistot
- SFS-EN 61439-4: Työmaakeskukset
- SFS-EN 61439-5: Jakeluverkkokeskukset
- SFS-EN 61439-6: Jakelukiskot
- SFS-EN IEC 61439-7: Erityiskäyttöihin kuten venesatamiin, leirintäalueille, toireille ja sähköajoneuvojen latausasemiin käytettävät keskukset

Muunneltavuuden kannalta sähkökeskuksen kaikkia lähtöjä ei tulisi ottaa käyttöön ensiasennuksessa. Varalähtöjä tulisi jättää esimerkiksi 30 prosenttia vapaaksi mahdollisia muutoksia ja laajennustöitä varten. Varalähdöiksi jätetyt lähdöt eivät välttämättä palvele mahdollisia muutostarpeita optimaalisesti, jonka takia keskuksen kalustuksessa olisi hyvä miettiä myös täyttöastetta ja tilavarauksia. Tilavarauksia suunniteltaessa ei mahdollisia tulevaisuudessa tarvittavia lähtöjä ja komponentteja tarvitse valita etukäteen tarkasti. (12.) Komponenteista tarvitsee arvioida vain niiden tarvitsemat tilat.

Tilavarauksia mietittäessä olisi hyvä ottaa huomioon myös energiamurroksen vaikutus. Kohteesta riippuen voidaan miettiä esimerkiksi aurinkovoimalan, kysyntäjoustojärjestelmien tai sähköautojen latauspisteiden lisäsmahdollisuuksien huomioimista.

### 4.3 Asennusreitit

Kaapeleiden asennusreitit ovat merkittävässä roolissa muuntojoustavuuden kannalta. Vaikka muuntojoustavuutta ei rakennusprojektissa painotettaisikaan tulisi asennusreitit suunnitella tukemaan muutoksia.

Johtoreiteillä tulisi kiinnittää huomiota niiden systemaattiseen sijoitteluun ja varmistaa, että johtoreittien väliset yhteydet toimivat hyvin. Johtoreittien toteutuksessa voidaan hyödyntää kiinteistön rakenteita ja rakennusosia, mutta upotusta rakennuselementteihin tai muihin kiinteisiin rakenteisiin tulisi välttää. Reitit tulisi olla avattavissa ja käsiteltävissä muutoksia varten. Mitoittaessa johtoreittiä tulisi pitää mielessä riittävä laajennusvara mahdollisia muutoksia varten. (15, s. 4.)

Kaapelireitteinä käytetään usean tikas- tai levyhyllyjä. Pääjohtoreiteillä käytettävien hyllyjen leveydet ovat yleensä 500 mm tai 300 mm. Ensiasennuksessa tulisi 300 mm:n hyllylle asentaa enintään 15 kuormitettua kaapelia tai 60 muuta kaapelia ja 500 mm:n hyllylle enintään 25 kuormitettua kaapelia ja 100 muuta kaapelia. Päällekkäin asennettujen hyllyjen asennusväliksi suositellaan vähintään 300 mm:ä ja vierekkäin asennetuille vähintään 100 mm:ä. (11, s. 37.)

Johtoreittien sijoittelua suunniteltaessa olisi hyvä miettiä myös muiden taloteknisten järjestelmien vaikutusta johtoreittien käytettävyyteen. Johtoreitit tulisi sijoitella niin ettei

esimerkiksi LVI-laitteet estä johtoreitille pääsyä. Optimaalista on asentaa esimerkiksi käytävillä sähkö-, tele- ja turvajärjestelmien vaatimat hyllyt käytävän toisella puolella päällekkäin ja toisella puolella käytävää LVI-laitteet niin, että väliin jää vapaata tilaa molemmissa järjestelmien huolto- ja muutostöitä varten. (12.)

Tilakohtaisesti kaapeleiden johtoreitteinä voidaan hyödyntää kiinteistön rakenteita, rakennusosia ja tilojen kalusteita. Lattiatasolla johtoreitteinä hyödynnetään onttoja jalkalistoja, kalusteiden alasokkeleita sekä mahdollisia lattian alapuolisia johtoreittejä. Pystysuuntaisina johtoreitteinä käytetään esimerkiksi ovien pielirakenteita, kalusteiden pystysuuntaisia koteloita, kaappien takaosia sekä onttoja asennuslistoja. Kattotasolla johtoreiteissa voidaan hyödyntää alas laskettujen kattojen yläpuolista tilaa, kalusteiden yläsokkeleita, kattorakenteeseen esiasennettuja putkituksia ja katon rajaan asennettuja asennuslistoja. Huomiota kattotason johtoreiteissa tulisi kiinnittää käytettävyyteen esimerkiksi sijoittamalla tarpeeksi avattavia luukkuja alakattoihin ja toteuttaa kalusteiden yläsokkelit helposti avattaviksi. (15, s. 5–6.) Kaapelireitteinä voidaan käyttää myös erilaisia johtokanava asennuksia, joissa sähköpisteiden paikkoja voidaan vaihdella. Kuvassa 2 on esimerkki johtokanava asennuksesta.



Kuva 2. Johtokanava-asennus (16, s. 171).

#### 4.3.1 Alajakelu

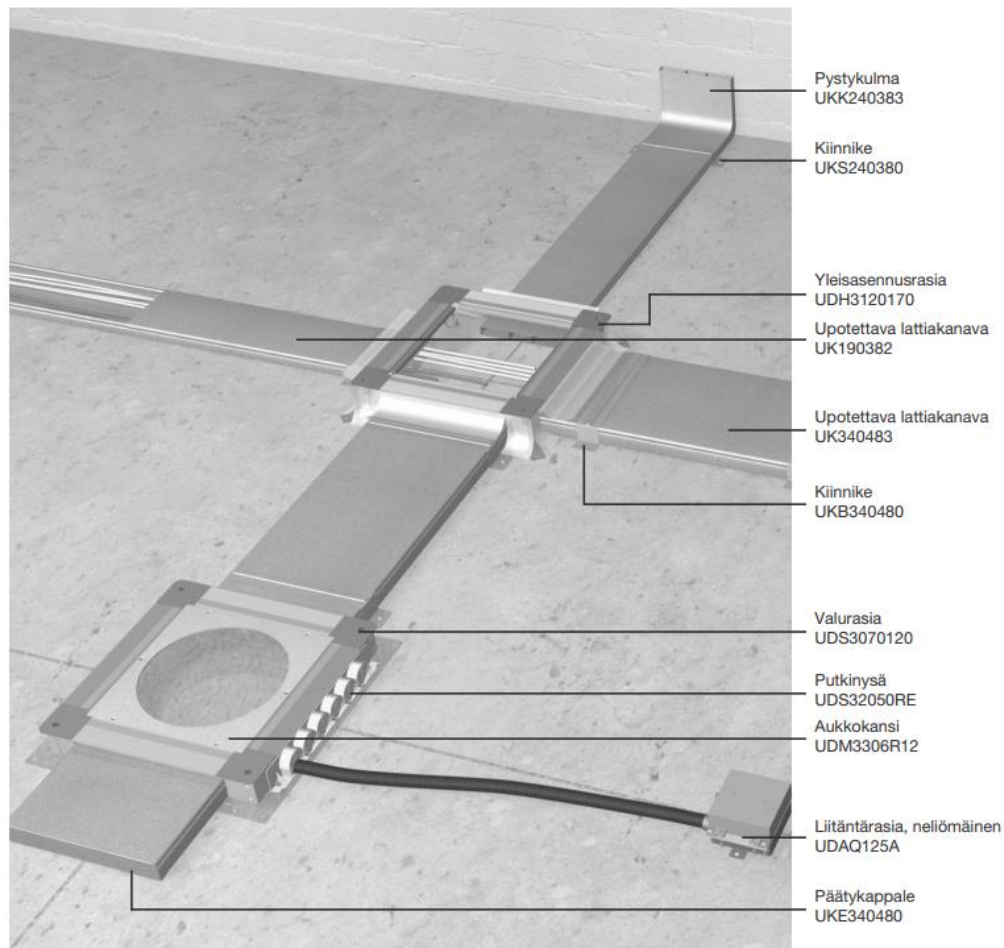
Sähkönjakelun toteuttamiseen lattian kautta vaihtoehtona on käyttää esiasennettuja putkituksia, lattiakanavajärjestelmiä ja asennuslattioita (15, s. 7). Näin vältetään kaapelien

viemistä ja asennusten tekemistä välisseiniin, joita saatetaan muunnella tulevaisuudessa. Eri toteutustavoilla saavutetaan eri tasoista muuntojoustavuutta.

Lattiaputkitusten avulla kaapelit voidaan tuoda lattiapistorasioille, joista sähkö saadaan siirrettyä kulutuskojeille. Lattiarasioita on saatavilla monilta eri valmistajilta ja ne voidaan kalustaa eri tarpeiden mukaan, niin sähkö- kuin telepistein. Lattian materiaali ja paksuus määrittelevät vaatimukset lattiarasia-asennuksille. Lattiarasioita on saatavilla eri asennussyvyyksille, ja esimerkiksi Hager tarjoaa lattiarasioita erittäin matalille asennussyvyyksille alle 50 mm. Lattiarasioiden ollessa kiinteästi sijoiteltuna eivät ne kuitenkaan tarjoa parasta muunneltavuutta tilaan ja rajoittavat kalusteiden sijoittelua muutoksissa. Huomioitavaa on myös niiden aiheuttamat puhtaanapito-ongelmat (12).

Lattiakanavajärjestelmissä lattiapinnan alapuolelle, lattiapinnan kanssa samaan tasoon tai lattian päälle asennetaan kanava kaapelireitiksi, josta esimerkiksi lattiarasioin tarvittavat liittynät saadaan käytettäväksi. Järjestelmän rakenne on kestävä ja asentaminen helppo ja nopea suorittaa esimerkiksi lattiaputkituksiin verraten, jossa kaapelit on vedettävä putkiin. Kaapelien tilavuus ja määrä määrittävät kanavakoon. Muunneltavuuden vuoksi kanavien täyttöaste olisi syytä olla enintään 50 prosenttia. Myöhemmin lisättävien kaapelien veto kanavan läpi myös helpottuu, kun tilaa on riittävästi. (17, s. 8-16; 18, s. 21.)

Pintavaluun upotettavassa kanavajärjestelmässä (kuva 3) kanavat jäävät siististi piiloon valuun, ja lattiarasiat voidaan asentaa lattiapinnan kanssa samaan tasoon. Johtoreittiä voidaan jatkaa myös seinälle lisäämällä pystykanava, joka yhdistää lattiakanavan ja seinäkanavan. Järjestelmä soveltuu kaiken tyypisille pintavaluille, olipa kyseessä esimerkiksi valettu komposiittisementti, kelluva betoni tai liukuvalu. Kuumabetoniin asennettaessa on kanavat eristettävä bitumoidulla aaltopahvilla. (18, s. 22.)



Kuva 3. Pintavaluun upotettava kanavajärjestelmä (18, s. 16).

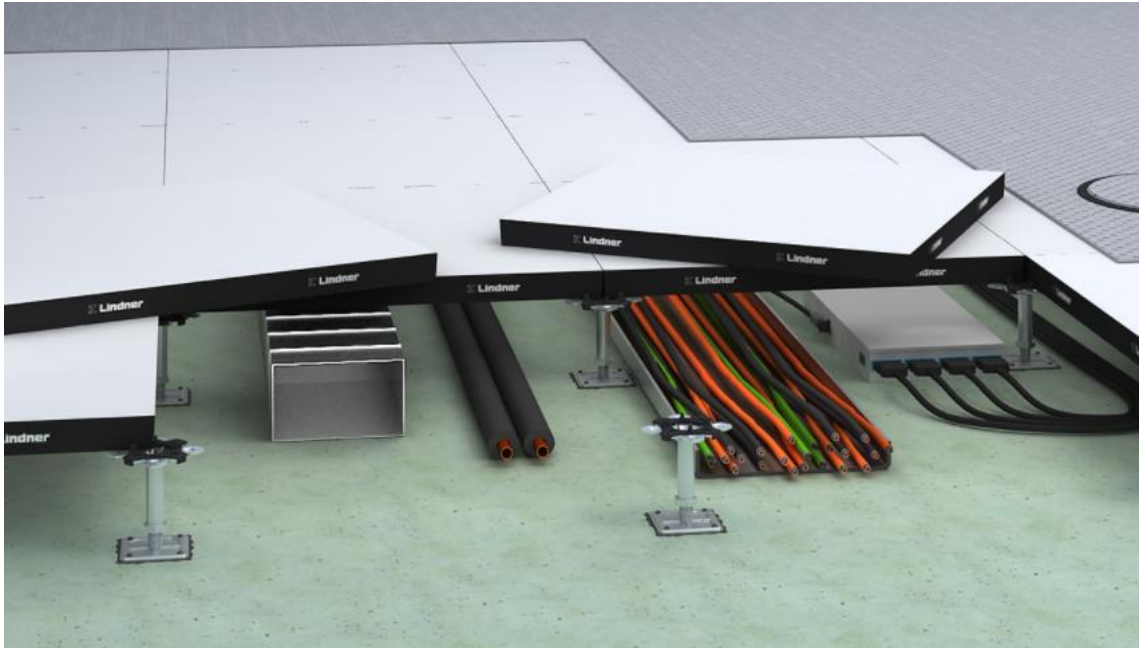
Lattiakanava voidaan asentaa myös samaan tasoon lattiapinnan kanssa, jolloin kanavan kansiosa päällystetään lattiamateriaalilla. Kansi voidaan poistaa ja näin päästään helposti käsiksi kaapeleihin muutos- tai lisäystarpeen ilmetessä. (17, s. 12–13.)

Pinta-asenteisia lattiakanavajärjestelmiä käytetään esimerkiksi saneerauskohteissa ja vanhoissa tiloissa, joissa määräykset kieltävät rakenteisiin kajoamisen. Kanavat asennetaan lattian päälle ja ne varustetaan erillisillä aukkokansilla, joihin voidaan asentaa esimerkiksi lattiarasioita tai jatkaa reittiä seinälle. Kanavat voidaan päällystää tilaan sopivalla materiaalilla esimerkiksi lattiamatolla. (17, s. 14–16.)

Sähkönjakelun toteuttaminen alakautta voidaan toteuttaa myös käyttäen asennuslattioita (kuva 4), joissa kaikki tekniikka voidaan asentaa korotetun avattavan lattian alle ja asennuksia voidaan tarvittaessa muunnella ja lisätä vaivattomasti. Ne koostuvat



elementtityyppisesti koottavista ja avattavista rakenteista, jotka valitaan käyttökohteen mukaan. Määrittäviä tekijöitä ovat mm. levyjen pistekuormitettavuus, rakenteen kantavuus ja pintamateriaalit. (19.) Asennuslattioille tyypillisiä käyttökohteita ovat erilaiset laitetilat, valvomot ja ohjaamot (17, s. 8). Niitä käytetään myös muissa kiinteistötyypeissä, joissa tekniikka halutaan sijoittaa lattian alapuolelle ja saavuttaa muuntojoustavuutta. Asennuslattioita on hyödynnetty muun muassa Keskustakirjasto Oodissa, Kauppakeskus Triplassa ja Eduskuntatalossa.



Kuva 4. Asennuslattia (20).

#### 4.3.2 Yläjakelu

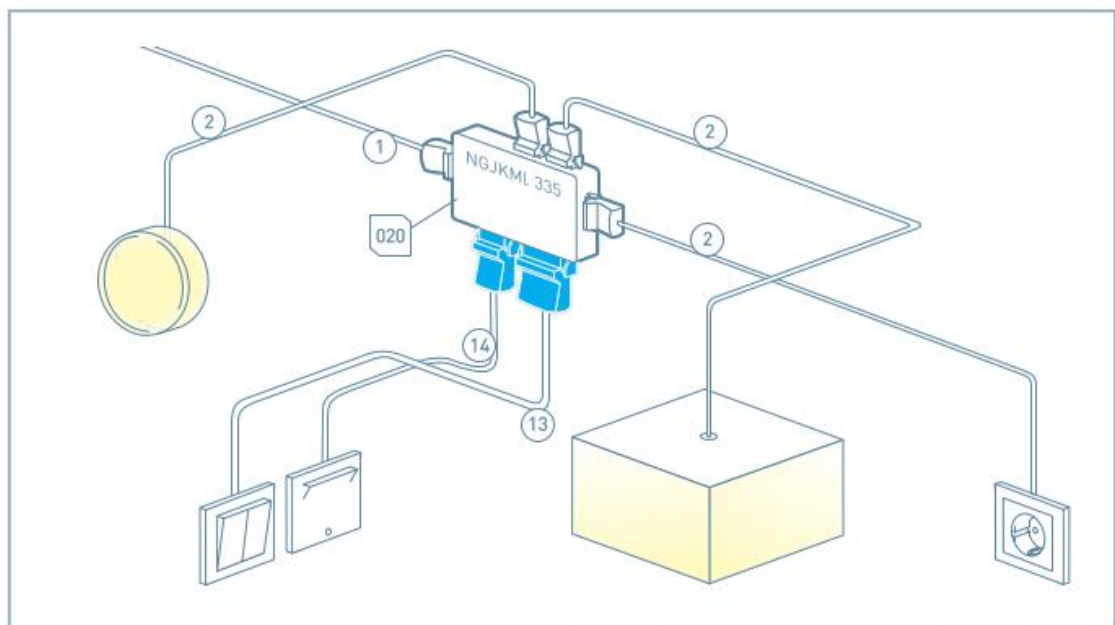
Yläjakelussa tilojen kattoon asennetaan kaapelihylly ja/tai ripustuskiskoverkosto kaapeleita, valaistusta ja liityntäpisteitä varten. Siisteyttä vaativissa kohteissa yläjakelu toteutetaan avattavan alakaton yläpuolelle, jolloin tekniikka saadaan siististi piiloon. Kaapelihyllyiltä sähkö voidaan siirtää kulutuspaikalle käyttäen muun muassa alasottojohtosarjoja, pistorasiapylväitä ja johtokanavia, jotka ovat tyypillisiä mm. muuntojoustavissa toimistoissa. (15, s. 8–13.)



Sähkönjakelun toteuttaminen yläjakelulla ei tyypillisesti rajoita tilan kalustusta ja siihen päästään käsiksi yleensä ilman kalusteiden siirtelyä (15, s. 9). Verrattuna alajakeluratkaisuihin on yläjakelu myös kustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto toteuttaa (12).

#### 4.4 Pistoliitin- ja johtosarjajärjestelmät

Pistoliitin- ja johtosarjajärjestelmät koostuvat kokonaan tehdasvalmisteisista rakennesista kuten johtosarjoista, haaroittimista ja pistorasiayksiköistä. Niiden avulla voidaan toteuttaa sekä tilan sähköliitäntätarpeet että valaistuksen ja laitteistoiden sähköistys. (15, s. 14.) Pistoliittimet liitetään toisiinsa lukitusmekanismilla eikä asentaminen vaadi työkaluja.



Kuva 5. Pistoliitinjärjestelmällä toteutettu sähkönjakelu (21, s. 50).

Merkittävää etua pistoliitinjärjestelmät tarjoavat lyhentämällä huomattavasti asennusaikaa, jolloin sähköistys- ja muutosprojektit saadaan suoritettua nopeammin. Korkeissa tiloissa tikastyöskentelyaika vähenee ja kytkentävirheiden mahdollisuus poistuu. Yleisimpänä käyttöalueena johtosarjajärjestelmille onkin valaistuksen sähkönjakelu. Järjestelmissä voidaan siirtää erilaisia ohjaussignaaleja sekä väyläratkaisuja, joko erikseen tai muun sähköistuksen rinnalla. Muutosten tekeminen asennuksiin on helppoa ja nopeaa kiinteistön elinkaaren aikana. (22, s. 6–7.)

Standardissa SFS 6000 osassa 8-813.7 käsitellään asennuspistoliittimiä ja niiden asentamiseen liittyviä määräyksiä. Standardin mukaan asennuspistoliittimien mitoitus on valmistajakohtainen, jonka takia samassa käyttötarkoituksessa on käytävä yhden valmistajan tuotteita. Eri jännitejärjestelmissä asennuspistoliittimien rakenteiden on myös erotettava toisistaan, jotta niitä ei voida kytkeä muiden järjestelmien liittimiin. Asennuspistoliittimien kaikki navat tulisi olla kytkettynä, lukuun ottamatta kytkentää luokan 2 laitteeseen, jolloin liitännäjohto saa olla ilman suojajohdinta tai kolmivaiheisen ryhmäjohtoon jatkaminen yksi tai kaksivaiheisena, jolloin ylimääräiset vaihejohtimet voidaan jättää käyttämättä. (23, s. 11.)

Luvussa 813.7.3 käsitellään liittimien kiinnittämistä ja sijoitusta. Asennuspistoliittimet ja haaroituskappaleet on asennettava

- erilliseen kytkentätilaan tai
- alakaton yläpuolelle tai ylös nostetun lattian alapuolelle edellyttäen, että nämä tilat eivät ole osa ilmanvaihtokanavaa tai
- kalusteissa niille varattuun tilaan siten, etteivät ne ole helposti kosketeltavissa tai
- muuhun vastaavasti suojattuun tilaan. (23, s. 11.)

Käytettävien kaapeleiden johtimien tulisi yleensä olla hienolankaisia siirrettäviä kaapeleita tai muutamalankaisia kiinteän asennuksen kaapeleita. Yksilankaisia kiinteän asennuksen kaapeleita voidaan käyttää, jos kaapelia ei jälkeempään jouduta liikuttamaan. (23, s. 11.)

Pistoliitinjärjestelmiä löytyy esimerkiksi Wagolta WINSTA- ja Enstolta EnstoNet-sarjat. Ensto tarjoaa myös EnstoNetin kanssa Ensto Plugi-järjestelmää, jossa sähkönjakelu toteutetaan hajauttamalla ryhmäkeskukset pienemmiksi kokonaisuuksiksi ympäri tilaa. Järjestelmän avulla pystytään säästämään materiaalien määrässä ja vähentämään sähköistyksen hiilijalanjälkeä. Työmaalla syntyvien hukkamateriaalien määrä myös vähenee käytettäessä asennusvalmiita komponentteja. (22, s. 8–9.)

#### 4.5 Lattakaapelijärjestelmät

Kaapeliksi kutsutaan moninapaista sähköjohtoa, ja kun johdot laitetaan vierekkäin, syntyy lattakaapeli (24, s. 46–47). Perinteisten sähköasennusten tilalle tai sen rinnalle asennettuun lattakaapelijärjestelmään laitteet ja kojeet liitetään suoraan syöttökaapelin haaroittimien avulla. KytKentä tehdään eristeen läpi käyttämällä kuvan 6 mukaisilla ruuvi- tai veitsiliittimiä, jolloin syöttökaapelia ei tarvitse katkaista. Haaroittimien paikkoja voidaan vaihtaa tai lisätä syöttökaapelissa helposti, mikä tukee järjestelmän muuntojoustavuutta. Vaihdettaessa haaroittimen paikkaa edelliseen kohtaan laitetaan eristeteippi kuvan 6 mukaisesti. (25, 26, s. 413.)



Kuva 6. Wagon haaroitin malli lattakaapelijärjestelmään, jossa yhdistettynä myös pistoliitin. Kuvan haaroitin sisältää mahdollisuuden vaihteen valintaan kolmivaiheisesta lattakaapelista. (26, s. 413.)

Lattakaapelijärjestelmien nopean asentamisen ansioista, asentamiseen kuluva aika saadaan vähennettyä ja huoltovarmuutta parannettua tarvittavien liitosmäärien vähentyessä. Rakenteen selväpiirteisyys myös helpottaa suunnittelua ja toteutusta. Tyypillisiä käyttökohteita ovat muuntojoustavuutta vaativat toimistot, myymälät, varastot ja sähköautojen latauspaikat. Lattakaapelijärjestelmät soveltuvat hyvin myös kosteutta ja vedenkestävyyttä vaativiin tiloihin. (25, 24, s. 46–47.)

Sähköautojen määrän lisääntyessä lattakaapelien suosio on kasvanut. Lattakaapelointia hyödyntämällä saadaan muuntojoustavuutta sähköautojen latauspisteiden toteutukseen. Latauspisteiden toteutuksessa perinteisellä kaapeloinnilla, sähkökeskuksesta tuodaan latauslaitteille oma kaapeli tai laitteita ketjutetaan. Lattakaapelijärjestelmässä kuvan 7 mukaisesti seinään tai kaapelireitille asennetaan lattakaapeli, johon liitetään latauspisteitä haaroitusrasioiden avulla. Latauspisteiden määrää ja paikkoja voidaan lisätä joustavasti katkaisematta kaapelia. Aluksi kiinteistöön voidaan asentaa muutama

latauspiste ja myöhemmin tarpeen kasvaessa lisätä latauspisteiden määrää tai tehoa. Määrän ja tehon kasvaessa yli lattakaapelin kuormitettavuuden, uusilla sähkönsyötöillä lattakaapeli voidaan jakaa osiin koskematta jo olemassa olevaan latauspisteinfraan. (24, s. 46–47; 27, s. 1–6.)



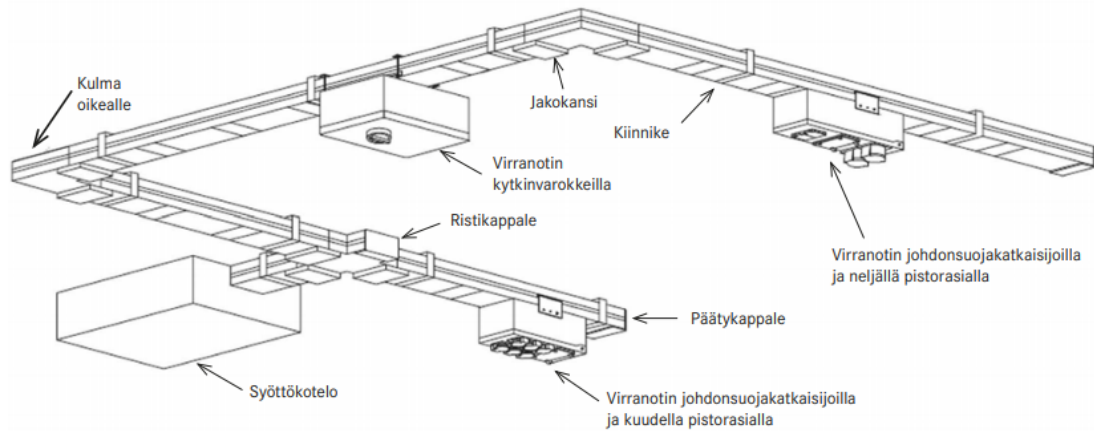
Kuva 7. Sähköautojen latauspisteet lattakaapelijärjestelmällä toteutettuna. Seinällä olevasta lattakaapelista haaroitusrasian avulla sähkö syötetään sähköautojen latauspisteille. (27, s. 2.)

Wagon aluemyyntipäällikön Esko Matikaisen mukaan sähköautojen latauspaikkojen toteutus lattakaapeloinnilla on sähköurakoinnin kokonaiskustannukset huomioiden edullisin ratkaisu toteutukseen. Perinteiseen kaapelointiin tai virtakiskoasennuksiin verrattuna asennuskulut jäävät huomattavasti pienemmiksi. (24, s. 46–47.)

#### 4.6 Jakelukiskojärjestelmät

Jakelukiskojärjestelmää käytettäessä sähkönjakelu kulutuspaikoille toteutetaan koteloituja virtakiskoja hyödyntäen. Järjestelmä koostuu virtakiskoista, virranottimista ja syöttöosista. Jakelukiskojärjestelmät rinnastetaan jakokeskuksiin ja niille pätevät samat

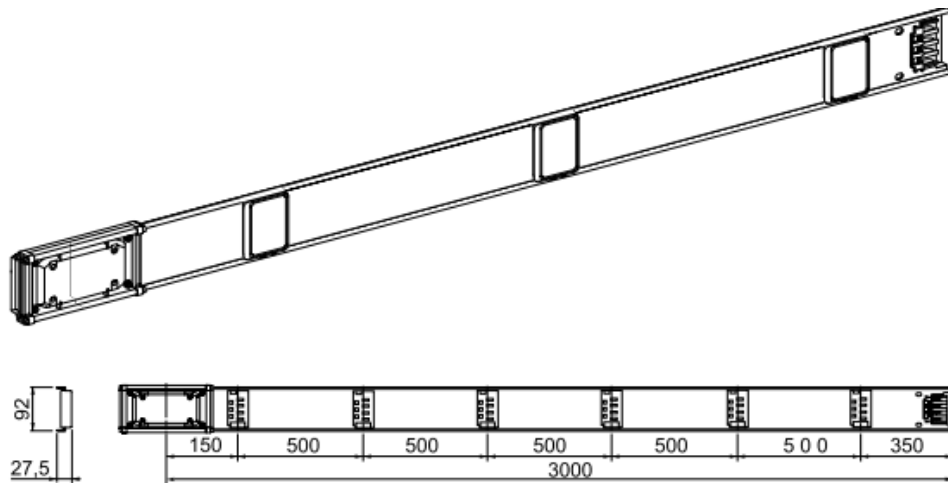
lainalaisuudet ja standardit kuin jakokeskuksille. (28, s. 1; 29, s. 7.) Kuvassa 8 on esitetty esimerkki jakelukiskojärjestelmän rakenteesta.



Kuva 8. Jakelukiskojärjestelmän rakenne (10, s. 3).

## Kiskot

Virtakiskot ovat eristettynä kouru- tai kanavatyyppisten koteloiden sisällä (28, s. 2). Kiskoja on saatavilla 1- ja 3-vaiheisina ja niihin on mahdollista lisätä ohjauspiirejä. Vakiopituudet vaihtelevat valmistaja ja kiskomallista riippuen ja myös vakiopituuksista poikkeavia malleja on saatavilla tilaustyönä. Virranottoaikoja voi mallista riippuen olla kiskon molemmin puolin tai vain toiselle puolella ja kiskoja on myös saatavilla sähkönsiirtoon ilman virranottoaikoja. Kiskoja on saatavilla monille eri virta arvoille riippuen valmistajasta. Schneiderilta on saatavilla kiskoja 20 A:sta aina 5000 A:iin asti. Yli 630 A:n suurivirtaisia jakelukiskoja käytetään yleensä ns. kiskosiltoina esimerkiksi muuntajien ja pääkeskusten välillä, pääkeskusten eri osien välillä ja pääkeskusten ja alakeskusten välillä. Kuvassa 9 esitettyä Schneiderin Canalis KN-jakelukisko (30, s. 2, 6–13; 28, s. 2.)

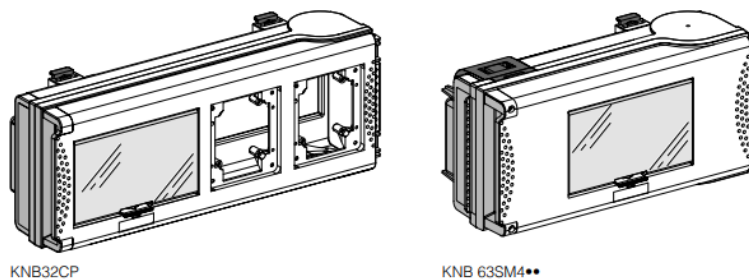


Kuva 9. Schneider Canalis KN-jakelukisko (30, s. 8).

Suunnanmuutoksia ja päätyjä varten suorien virtakiskojen lisäksi tarvitaan erilaisia kulma- ja päätyosia. Valmistajista riippuen vakiona on tyypillisesti pysty-, ja vaakakulmia sekä T- ja X-haaroja. Vakiokulmien lisäksi tilaustyönä on saatavissa muita tarvittavia kulmia.

#### Virranottimet

Virranottimilla virtakiskosta sähkö saadaan siirrettyä kulutuspiisteille ja kojeille, kuten kiinteistön jakokeskuksille. Ne voidaan varustaa esimerkiksi erityyppisillä varokkeilla, johdonsuojakatkaisijoilla, vikavirtasuojilla, kytkimillä, pistorasioilla, kaapelitiivisteillä, energiamittareilla ja väyläliittimillä. Valmistajat tarjoavat valmiiksi kalustettuja virranottimia tai tyhjiä kotelaita, joihin voi tehdä tarvittavan kokoonpanon. Kuvassa 10 esimerkit virranottimista. (31, s. 4; 30, s. 9.)



Kuva 10. Schneiderin virranotinmalleja (30, s. 9).

#### Syöttökotelot

Syöttökotelolla (kuva 11) syöttävältä keskukselta tulevat kaapelit liitetään jakelukiskoihin ja toteutetaan jakelukiskon virransyöttö. Ne voidaan varustaa esimerkiksi kytkimillä ja katkaisijoilla, joilla jakelukiskoja saadaan ohjattua ja suojattua. Syöttökoteloihin on myös mahdollista liittää energianmittaus. (31, s. 4.)



Kuva 11. Lapp Connecton syöttökotelomalleja (31, s. 4).

#### Jakelukiskojärjestelmän hyödyt

Jakelukiskojärjestelmät ovat selväpiirteisiä, modulaarisia, helposti laajennettavia ja niillä on pieni tilantarve. Tyypillisiä käyttökohteita ovat tilat, joissa tarvitaan useita lähtöjä lähellä toisiaan tai kojeiden sijoittelua tilassa muutetaan usein. (31, s. 3; 28, s. 1.) Jakelukiskojen asentaminen verrattuna perinteiseen kaapelointiin on myös nopeampaa, mikä parantaa rakennusten sähköistysprojektien läpimenoaikoja. Kiskossa virranottimia voidaan siirtää ja lisätä sen ollessa jännitteinen. Tällöin pääjakelun jännitettä ei tarvitse katkaista ja vältytään myös mahdollisilta kerrosten välisiltä palokatkojen avauksilta. (31, s. 2.) Muutostöiden aikaiset häiriöt kiinteistön sähkön käyttöön jäävät siis mahdollisimman pieniksi. Jakelukiskoja käytetäänkin esimerkiksi konesaleissa ja sairaaloissa, joissa sähkön käytön on oltava mahdollisimman keskeytymätöntä.

Jakelukiskojärjestelmän avulla voidaan korvata pitkät nousukaapelit, ja niiden tilan tarve on pienempi perinteiseen kaapelointiin verrattuna. Rakennusten nousukuilusta saadaan kompaktimpia ja muulle talotekniikalle jää enemmän tilaa. Lisäarvoa tuo myös

mahdollisuus yhteiskannakointiin muiden järjestelmien kanssa. Jakelukiskoja käytettäessä niiden mekaaninen suojaus pienentää merkittävästi ulkoisten tekijöiden, kuten kosteuden, epäpuhtauksien ja jyrstöiden aiheuttamia eristysvikojen riskiä. Kaapelien korvaaminen kiskoratkaisulla vähentää myös palokuormaa kaapelieristeiden vähentyessä. Samalla kaapelihyllyjen määrä vähenee ja voidaan käyttää kevyempiä hyllyjä. (31, s. 2; 32, s. 23.)

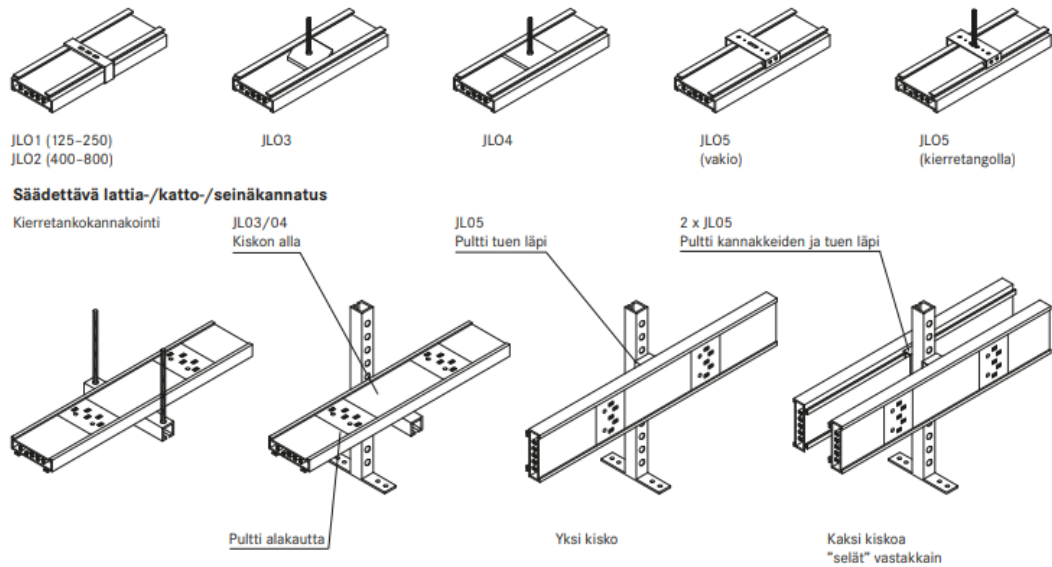
Suojauksen näkökulmasta saavutetaan myös parempi selektiivisyys suojauksen ollessa lähellä kuormaa. Useiden rinnakkaisten kaapelien käyttö suurvirtapiireissä voi myös johtaa virtojen epätasaiseen jakautumiseen ja poikkeavaan lämpötilan nousuun. Standardissa IEC 60364 kohdassa 5.5.23.6 virtakiskojen käyttöä suositellaan neljän rinnakkaisen kaapelin sijasta. (31, s. 2; 32, s. 22.)

#### Jakelukiskojärjestelmän suunnittelu

Jakelukiskojärjestelmää suunniteltaessa virtakiskojen reitin olisi hyvä olla mahdollisimman yksikertainen. Mitä vähemmän reitillä on kulmia ja läpivientejä, sen nopeampi kisko on asentaa. (33, s.12, 17.) Tällöin vältetään myös mahdollisilta tilaustyönä tehtäviltä kulmapaloilta, joita pienetkin törmäykset esimerkiksi LVI-järjestelmien kanssa saattavat vaatia. Yhteensovitus eri teknisten järjestelmien kanssa onkin tärkeässä roolissa hyvän ja kustannustehokkaan lopputuloksen kannalta.

Virtakiskoja voidaan asentaa monipuolisesti niin seinälle, kattoon kuin korotetun lattian alapuolelle. Kiskoja kiinnitetään toisiinsa joko suoraan tai välikappalein. Kiinnityksessä osalla valmistajista on käytössä momenttipultteja, jotka indikoivat oikean kireyden. Asentaminen perinteiseen kaapelointiin verrattuna on myös nopeampaa. Kuvassa 12 esitetynä eri kannakointi vaihtoehtoja (31, s. 7).





Kuva 12. Jakelukiskojärjestelmien kannakoiteja (31, s. 7).

Virtakiskojen mitoituksessa lasketaan kokonaisteho siihen liitettävistä laitteista. Suunnitteluvaiheessa kohteen kaikki tarpeet eivät välttämättä ole täysin tiedossa, jolloin käytetään likimääräisiä tehontarpeita ja käyttöasteita. Järjestelmä kannattaa hieman ylimitoitaa mahdollisia laajennuksia varten. Kokonaistehosta lasketaan virta kaavalla 1 ja saatu tulos jaetaan valmistajakohtaisella ympäristönlämpötilan huomioon ottavalla korjauskerroimella. Virtakiskoksi valitaan saatua virta-arvoa nimellisvirraltaan suurempi kiskosto. (29, s. 13–14.)

$$I_b = \frac{P \cdot \alpha}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (1)$$

$I_b$  on Virtakiskon virta.

$P$  on Virtakiskon laitteiden kokonaisteho.

$\alpha$  on Käyttöasteen tasoituskerroin.

$\cos \varphi$  on Tehokerroin.

$U$  on Pääjännite.

Käyttöasteen tasoituskerroin määräytyy kuormien määrän ja tyyppien perusteella (29, s. 14). Standardissa SFS-EN 61439-1 ja SFS-EN 61439-3 on kerrottu yleisesti sekä esimerkein tasoituskertoimista. Käytännössä kaikkien keskuksen piirien ei tarvitse syöttää mitoitusvirtaa samanaikaisesti ja jatkuvasti. Tyypillisesti kuormitusten tyyppi ja luonne vaihtelevat huomattavasti. Osa piireistä voi olla suuressa kuormassa, kun taas osa olla

ilman kuormaa ollenkaan. Varautuminen tilanteeseen, jossa kaikki piirit toimivat samanaikaisesti mitoitusvirrallaan onkin yleensä tämän takia tarpeetonta ja olisikin tehotonta materiaalien ja resurssien käyttöä. (34, s. 168–182)

Virtakiskoja mitoittaessa pitkillä etäisyyksillä myös jännitteenalenema tulee ottaa huomioon. Standardissa SFS 6000-5-52 liitteessä 52G määritellään maksimijännitteenalenemat pienjännitesähköasennuksille. Yleisestä jakeluverkosta syötettävien valaistusasennusten jännitteenalenema ei saisi olla 3 % ja muiden asennusten 5 % enempää nimellijännitteestä. Moottoreiden käynnistysten aikana tai laitteilla, joilla on suuri käynnistysvirta suurempi jännitteenalenema voi olla hyväksyttävää, edellyttäen kuitenkin jännitteen vaihteluiden pysyvän arvoissa, jotka on määritelty asianomaisissa laitestandardeissa. (29, s. 15; 35, s.67.)

## 5 Valaistus

Tilojen erilaiset käyttötarkoitukset- ja layout-muutokset vaativat usein myös valaistuksen muuttamista. Monikäyttöisissä tiloissa valaistuksen on kyettävä muuntumaan tilan eri käyttötarkoituksiin vaivatta jo mahdollisesti saman päivän aikana. Mahdollisuuksia valaistusjärjestelmien muunneltavuuden toteuttamiseen on erilaisia ja toteutustavan valinta riippuu, minkälaista joustoa valaistusratkaisuilta toivotaan.

ST kortin 27.01 (15, s. 15.) mukaan valaistusjärjestelmien muunneltavuus voidaan toteuttaa:

- lisäämällä valaisimien sijoituspaikkojen eli valopisteiden määrää
- toteuttamalla valaistus siirrettävää ja pika-asennettavaa ripustus- ja kiinnitysjärjestelmää käyttäen
- toteuttamalla valaistus muunneltavaa sähköliitäntäjärjestelmää (liitin- ja johtosarjajärjestelmä) käyttäen
- toteuttamalla useita vaihtoehtoisia valaistusratkaisuja
- toteuttamalla valaistus muunneltavaa ohjausjärjestelmää käyttäen.

Valopisteiden sijoituspaikkojen määrää ja siirrettävyyttä voidaan lisätä käyttämällä esimerkiksi valaisinripustuskiskoja tai kosketinkiskoja. Valaisinripustuskiskoihin valaisimien asentaminen on helppoa ja nopeaa ja ripustuskisko toimii samalla kaapelireittinä. Kosketinkiskoihin valaisimet liitetään kosketinkiskoadapterilla ja kiskolla valaisimia voidaan siirtää joustavasti ilman kaapelointimuutoksia. Kosketinkiskojen käyttö on yleistä esimerkiksi kohdevalaistuksessa (15, s. 14). Muuntojoustavuuden kannalta valaisimien sijoittelussa voidaan hyödyntää myös modulaarisuutta. Toimistokohteessa esimerkiksi neuvotteluhuoneisiin voidaan valita valaisimet ja niiden sijoittelut niin, että valaistus on toimiva ja yhtyy muiden tilojen valaistukseen myös väliseinien purkamisten jälkeenkin. (36.)

Siirrettävät ja pika-asennettavat ripustus- ja kiinnitysjärjestelmät nopeuttavat asennus- ja muutostöiden tekemistä, kuten myös muunneltavat sähköliitinjärjestelmät, joita käytäessä kaapelointi on nopeampaa. Sähköliitinjärjestelmissä pienien muutosten tekemiseen ei myöskään vaadita sähköalan ammattihenkilöitä. Sähköliitinjärjestelmiä on esitelty tarkemmin luvussa 4.4.

Älykkäiden ja muunneltavien valaistuksen ohjausjärjestelmien potentiaali valaistuksen muuntojoustavuuden saavuttamiseen on merkittävä. Niiden avulla tiloihin on helppo toteuttaa erilaisia valaistustilanteita ja tilojen käyttötarpeiden muuttuessa voidaan valaistusta muuttaa ohjelmallisesti ilman kaapelointi muutoksia. Muunneltavuuden kannalta järjestelmää valitessa huomiota tulisi kiinnittää muun muassa niiden ohjaus- ja säätömahdollisuuksien laajuuteen, järjestelmien skaalautuvuuteen, päivitettävyyteen ja käyttönoton ja käytettävyyden helppouteen (36.) Seuraavissa alaluvuissa esitellään tarkemmin yleisimpiä älykkäitä valaistuksen ohjausjärjestelmiä.

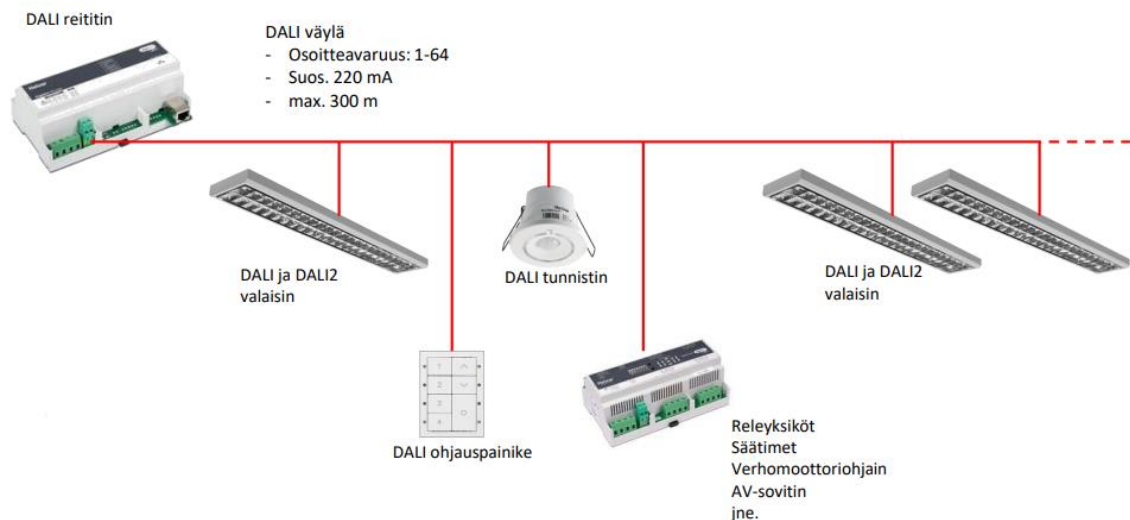
## 5.1 Väyläpohjaiset ohjausjärjestelmät

### 5.1.1 DALI

DALI (Digital Addressable Lightnin Interface) on digitaalinen valaistuksen ohjausprotokolla, joka perustuu IEC 62386-standardiin. DALI-järjestelmää ovat aluksi olleet kehittämissä Euroopan johtavat liitälaittevalmistajat kuten Helvar, Philips, Osram ja Tridonic ja myöhemmin DALI-laitteita on alkanut valmistaa monet muutkin valaistusalan yritykset. DALI-järjestelmässä jokaiselle valaisimelle ja ohjauslaitteelle annetaan yksilöllinen osoite ja laitteet liitetään kaksinapaisella kaapelilla DALI-väylään, jonka välityksellä ne

kommunikoivat keskenään. Osoitteellisuus mahdollistaa valaisimien ohjaamisen erikseen samassa järjestelmässä ja mahdollisuuden moniin eri ryhmyksiin ja valaistustilanteisiin. Järjestelmän toimintaa on helppo muuttaa jälkepäin ohjelmoinnilla ilman tarvetta kytkentämuutoksiin, jonka ansiosta se on hyvin muuntojoustava. (37; 38.) Mahdollisuus moniin eri valaistustilanteisiin tukee DALI-järjestelmän käyttöä myös monikäyttöisissä tiloissa, joissa eri toiminnot vaativat erilaisia valaistustilanteita.

DALI-väylä vaatii DALI-virtalähteen, joka voi olla esimerkiksi erillisenä komponenttina DIN-kiskossa tai integroituna mahdolliseen reitittimeen. DALI-väylän maksimivirta on 250 mA, ja yhden DALI-liitäntälaitteen virrankulutus 2 mA. Ohjauslaitteiden ottamaa maksimivirtaa ei kuitenkaan ole rajoitettu ja mallista riippuen ne saattavat vaatia huomattavia virtamääriä, kuten esimerkiksi Helvarin 331 RoomSet multisensori, jonka virrankulutus on jopa 40 mA. Väylässä suurin sallittu jännitteenalenema on 2 V. Maksimi kaapelointi pituuteen vaikuttaa johtimen poikkipinta-ala ja tyypillisesti käytetyllä 1,5 mm:n johtimella maksimi kaapelointi etäisyys on 300 metriä. Kaapelointietäisyyttä voidaan kuitenkin kasvattaa käyttämällä DALI-toistinta. (39, s. 147–151; 40, s. 49.) Kuvassa 13 esitetynä esimerkki DALI-väylän rakenteesta.



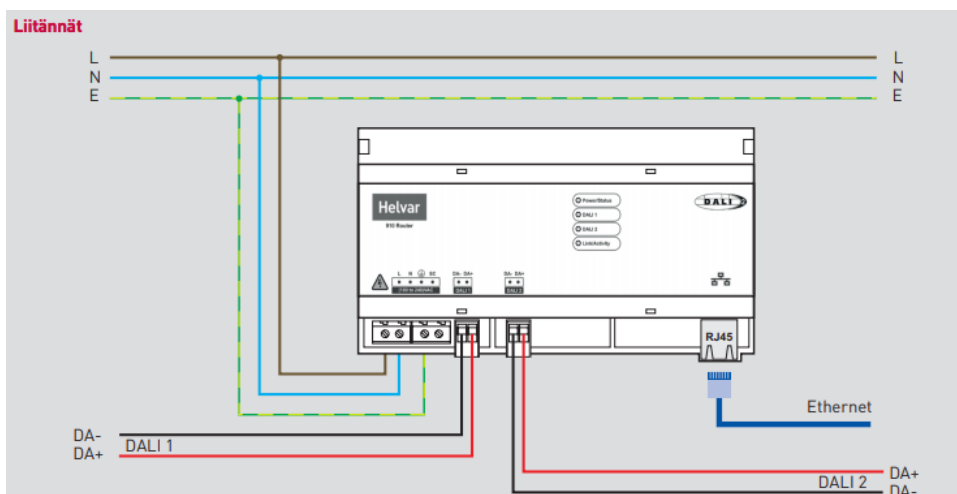
Kuva 13. DALI-väylän perusrakenne (41).

Yksi DALI-väylä voi sisältää 64 osoitetta, 16 ryhmää ja 16 valaistustilannetta. Väylä ei vaadi päätevastusta ja sen topologia on hyvinkin vapaa ja tyypillisesti käytetäänkin eri topologioiden yhdistelmiä. Rengas-topologia ei kuitenkaan ole sallittu. Laitteet voivat

kuulua yhtä aikaa useampaan ryhmään ja sisältää käyttötavasta riippuen erialisia valaistustilanteita. Valaistustilanteisiin voidaan määrittää esimerkiksi himmennysarvoja sekä syttymistasoja. Liitäntälaitteiden ohjaus voidaan toteuttaa erikseen tai yhtä aikaan broadcast tyyppisillä komennoilla. Järjestelmän älyn ollessa tallennettu hajautetusti laitteiden muisteihin voi yksittäisen laitteen hajotessa muiden laitteiden toiminta voi jatkua normaalisti. Kaksisuuntaisen tiedonsiirron ansiosta voidaan myös hyödyntää laitteiden informaatioita, kuten tila- ja mahdollisia virheilmoituksia. (38; 39, s.147–151.)

DALI-väylän kaapeloinnissa ei tarvitse välittää napaisuudesta, mikä vähentää kytkentävirheiden mahdollisuutta. Väylä ei kuitenkaan täytä SELV-piirin vaatimuksia, jolloin väyläkaapelina on käytettävä verkkojännitteelle soveltuvaa kaapelia. DALI-väylän tiedonsiirtonopeus on 1200 bit/s ja informaatio välitetään bi-phase-menetelmällä, jota kutsutaan myös Manchester-koodaukseksi. Tämän ansiosta väylä sietää hyvin häiriötä, jonka takia se voidaankin viedä valaisimille syöttökaapelin yhteydessä käyttäen esimerkiksi MMJ-kaapelia. (39, s. 148, 151.)

Yhden DALI-väylän järjestelmää ja sen ominaisuuksia voidaan laajentaa käyttämällä reitittimiä. Reitittimet ovat valmistajakohtaisia ja ominaisuuksiltaan erilaisia. Reitittimellä voidaan järjestelmään lisätä toinen DALI-väylä käyttämällä kahden väylän omaava mallia kuten Helvarin Imagine 910, jonka liitännöistä kuvassa 14. Näin 64 osoitteen järjestelmä saadaan laajennettua 128 osoitteeseen. Reitittimiä on taas mahdollista yhdistää toisiinsa Ethernet-puolen kytkimillä. Yhdelle alueelle voidaan yhdistää 100 reitintä, jolloin osoitteita saadaan käyttöön jo 12 800. Reititin lisää myös ohjelmallista kapasiteettiä osoitemäärien lisäksi. Sen avulla on mahdollista toteuttaa erilaisia loogisia operaatiota, ajatuksia ja laitteiden toimitilojen vaihtoja kuten luonnollisen päivänrytmin seurausta. (42, s. 14–18; 40, s. 46.)



Kuva 14. Helvar Imagine 910 reitittimen liittännät (40, s. 46).

DALI-ohjaus vaatii ohjelmointia, jotta laitteiden ohjaukset saadaan toimimaan halutunlaisesti. Ohjelmointi ei ole välttämätöntä, jos riittää, että valaisimien ohjaukset toimivat yhdessä ja samaan aikaan broadcast tyyppisesti. Järjestelmän ohjelmointi voidaan tehdä ohjauspaneelilla, kaukosäätimillä tai tietokoneohjelmaa käyttäen. Yksinkertaisten järjestelmien ohjelmointiin voidaan käyttää esimerkiksi kaukosäädintä, mutta vaatimusten kasvaessa ohjelmointi tehdään tietokoneella, käyttäen laitetoimittajien on omia asennusohjelmistoja. Esimerkiksi Helvar tarjoaa ohjelmointiin Toolboxin- ja Designeri-ohjelmistot. (39, s. 147-151; 42, s. 14-18; 40, s. 105-107.)

DALI-järjestelmissä on huomattava, että eri valmistajien ohjauslaitteet kuten paneelit ja sensorit eivät ole keskenään yhteensopivia. DALI-standardista on kehitetty päivitetty versio DALI-2 standardi, jonka tavoitteena on yhtenäistää ohjauksia, laajentaa toimintoja ja tiukentaa valvontaa. Keskeisenä asiana olisi saada DALI-järjestelmä sellaiseksi, jossa kaikki eri valmistajien laitteet olisivat yhteensopivia. DALI-2-standardoidut ohjauslaitteet ovat yhteensopivia eri valmistajien kesken ja DALI-2 laitteet ovat myös suunniteltu taaksepäin yhteensopiviksi DALI-1 laitteiden kanssa. DALI-2 järjestelmällä lisäksi ohjaaville laitteille tulee oma 64 laitteen osoitevaraus, mikä mahdollistaa myös suuremman laitemäärän liittämisen samaan väylään. DALI-2 mahdollistaa myös pidemmät himmennysviiveet, energian kulutuksen seurannan, sytytyskertamäärien ja polttoaikatuntien laskennan ja laitetyyppien tunnistuksen. (41.)

### 5.1.2 KNX

KNX on avoin standardi koskien kotien ja kiinteistöiden ohjauksia, joka on luotu EIB, EHS ja BatiBus- standardien pohjalta. Avoimeen standardin ansioista KNX-järjestelmään soivia tuotteita on saatavilla suuri määrä eri laitevalmistajilta. Järjestelmän avulla voidaan ohjata ja seurata KNX-väylään liitettyjä laitteita. Tyypillisesti sitä käytetään ohjaamaan valaistusta, ilmastointia ja lämmitystä sekä seuraamaan energiankulutusta. KNX-järjestelmä mahdollistaa käytännössä rakennuksen taloautomaation ohjaamisen yhdellä järjestelmällä. (43, s. 11–14.)

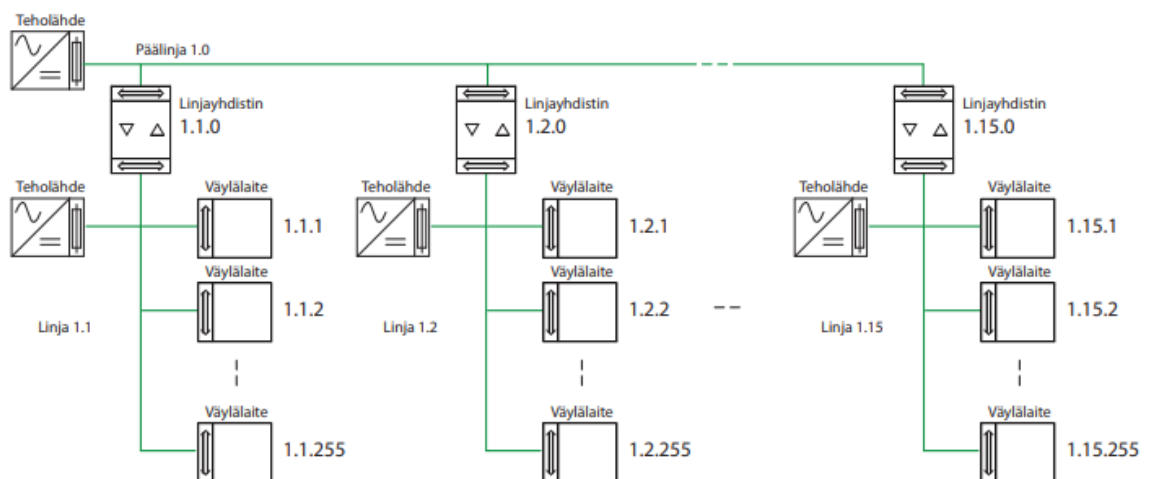
KNX-järjestelmän laitteet ovat myös osoitteellisia kuten DALI-laitteet ja niiden toimintaa muokataan ETS-ohjelmaa hyödyntäen. Toimintojen muuttaminen myöhemmin on helppoa ohjelmoinnin ansioista mikä tekee järjestelmästä muuntojoustavan. Kytkentämuutoksia tarvitaan yleensä vain suuremmissa muutoksissa ja silloinkin väylään perustuva ratkaisu on perinteiseen asennustapaan verrattuna joustavampi. (43, s. 37, 171.)

KNX-järjestelmän laitteet voidaan jakaa antureihin, toimilaitteisiin, järjestelmäkomponentteihin ja siirtomediaan. Anturit keräävät informaatioita toimintaympäristöstä ja lähettävät komentoja toimilaitteille. Toimilaitteet vastaanottavat komennot antureilta ja suorittavat niille ennalta määritellyt toiminnot. Järjestelmäkomponentit pitävät yllä KNX-järjestelmän infrastruktuuria ja niitä ovat esimerkiksi tehonlähteet, linjayhdistimet ja ohjelmointirajapinnat. Siirtomedian avulla järjestelmän komponentit välittävät informaatioita toisilleen ja järjestelmässä käytettäviä siirtomedioita ovat parikaapeli, Ethernet, radiotaajuus ja sähköverkko. (43, s. 19–20.)

Järjestelmässä informaatioita laitteiden välillä välitetään tyypillisesti väyläkaapelin avulla, joita järjestelmään sertifioituina ovat YCYM2x2x0,8 normaaleihin sisäasennuksiin ja J-Y(St)Y2x2x0,8 teollisuusympäristön olosuhteisiin. Asennuksissa myös muiden kuin sertifioitujen väyläkaapelien käyttö on yleistä ja Suomessa tyypillisesti käytetäänkin KLMA4x0,8-automaatiokaapelia. Langattomat ratkaisut ovat myös yleistyneet KNX-järjestelmässä, mikä lisää entisestään järjestelmän muuntojoustavuutta. Langaton tiedonsiirto ei kuitenkaan luotettavuudeltaan ole samalla tasolla kuin väyläkaapeli, jolloin sen käyttöä vältetään turvallisuuden kannalta kriittisissä sovelluksissa. Väyläkaapeli ja langaton tiedonsiirto tarjoavat kuitenkin yhdessä käytännöllisen ratkaisun, jossa

järjestelmän ydin toteutetaan väyläkaapelilla ja järjestelmää laajennetaan langattomilla laitteilla, paikoissa, joissa väyläkaapelointi on hankala asentaa. (43, s. 19, 107–108.)

KNX-järjestelmän topologia on vapaa, mutta suljettuun renkaaseen asentaminen ei ole sallittua. Pienin mahdollinen vyöhyke on linja ja asennus voi minimissään koostua yhdestä anturista, toimilaitteesta, tehonlähteestä ja väyläkaapelista. Väylälaitteiden määrä linjassa riippuu tehonlähteestä, mutta teoreettinen maksimi väylälaitteiden määrälle on 256 kpl. Väylälaitteen etäisyys tehonlähteestä saa olla maksimissaan 350 m ja linjassa käytetyn kaapelin kokonaispituus enintään 1000 m. Väylälaitemäärien tai kaapelointipituuksien kasvaessa voidaan muodostaa alueita, jotka koostuvat useista linjoista. Asennukseen voidaan lisätä päälinja, joka yhdistää linjayhdistimien avulla yksittäiset linjat. Alue voi sisältää maksimissaan 15 linjaa päälinjaan yhdistettynä. Järjestelmää voidaan vielä laajentaa taso ylöspäin lisäämällä runkolinja, johon voidaan alueyhdistimillä kytkeä 15 aluetta. Runkolinjaa hyödyntäen väylälaitteiden maksimimäärä järjestelmässä saadaan nostettua 57 600. Kuvassa 15 havainnollistettuna KNX-laitteiden muodostama alue. (43, s. 57–61.)



Kuva 15. KNX-laitteiden muodostama alue (43, s. 59).

KNX-järjestelmään voidaan liittää myös muita ohjausjärjestelmiä eri rajapintojen kautta. Valaistuksen kannalta olennaiset ovat DALI ja DMX. Näistä DALI:n yhdistäminen on yleisempää ja DMX:ää käytetäänkin yleensä erikoistilanteissa, kuten esitystekniikassa kun valaistukselta vaaditaan nopeaa reagointia. DALI-valaisimien yhdistäminen KNX-järjestelmään tapahtuu KNX/DALI-yhdyskäytävää (kuva 16) hyödyntäen. DALI-valaisimet



liitetään KNX-järjestelmään KNX-DALI-liitäntämoduulin avulla ja ohjaus toteutetaan yleensä KNX-komponentein. Monet eri laitevalmistajat valmistavat KNX/DALI-yhdyskäytävätuotteita. (43, s. 178–181.)



Kuva 16. Schneiderin KNX-DALI-rajapinta (43, s. 179).

## 5.2 Langattomat ohjausjärjestelmät

Langattomat ohjausjärjestelmät ovat kehittyneet paljon viime vuosien aikana ja monet valaisinvalmistajat ovat alkaneet valmistaa ja tukea kyseisiä tuotteita. Langaton tiedonsiirto edistää kiinteistön muuntojoustavuutta ja on usein hyvä ratkaisu esimerkiksi saneerauskohteissa, joissa uudet valaisimet voidaan asentaa vanhojen paikalle lisäämättä uusia kaapeleita ohjausjärjestelmää varten. Langattomien kytkimien ja ohjauslaitteiden paikkoja on helppo vaihtaa tilojen muuttuessa ja usein järjestelmiä ohjataan myös esimerkiksi älypuhelimella tai tabletilla, mikä lisää käyttäjäystävällisyyttä.

Langaton ohjaus voidaan toteuttaa usealla eri periaatteella. Ohjaukseen voidaan käyttää infrapunaohjausta tai erilaisia radio-ohjausprotokollia, joita ovat mm. Bluetooth, Bluetooth LE, ZigBee, EnOcean, Wi-Fi ja Z-Wave. Infrapunaohjauksessa IR-vastaanottimen on oltava johdotettuna ja siihen esteetön näköyhteys IR-lähtetimiltä. Toiminta-alue IR-lähtetimillä on lähetystehosta riippuen 10-25 metriä. Radio-ohjaukseen perustuvissa järjestelmissä taas hyödynnetään radiotaajuuksia signaalien välittämiseen. Yleisesti radiotaajuutena käytetään vapaasti kaupallisessa käytössä olevaa 433 MHz:iä. Vapaita taajuuksia käytettäessä saattaa kuitenkin esiintyä häiriötä, johtuen niiden laajasta

käytöstä eri yhteyksissä. Radio-ohjaukseen etuna on, ettei vastaanotin ja lähetyslaite vaadi näköyhteyttä toisiinsa. (41, s. 10–12.)

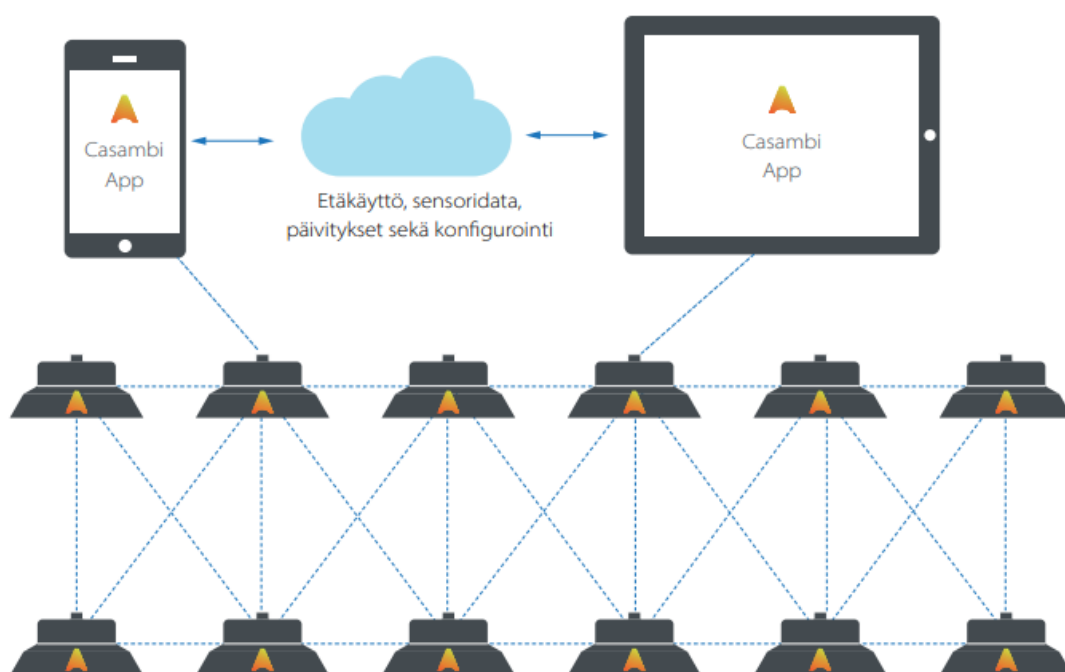
Bluetooth tekniikassa käytetään niin sanottua point-to-point- yhteyttä ja hyödynnetään 2,4 GHz:n-taajuutta ja 79 kanavaa tiedonsiirtoon laitteiden välillä. Perinteiseen Bluetooth-verkkoon voidaan liittää enintään 8 laitetta. Bluetooth LE (Bluetooth Low Energy) tekniikassa tiedonsiirtoon käytetään pienempiä datapaketteja, minkä ansiosta sen energiankulutus on saatu vähäiseksi. Järjestelmä mahdollistaa myös eri verkkotopologioiden käytön kuten mesh-verkon. (41, s. 11; 44) Mesh-verkko mahdollistaa esimerkiksi valaisimien kommunikoinnin keskenään. Yhden laitteen saadessa käskyn mesh-verkossa voi laite jakaa käskyn eteenpäin muille verkossa oleville laitteille. Kyseistä tekniikkaa hyödyntää esimerkiksi Helvarin ActiveAhead-valaistuksenohjausjärjestelmässä. (41, s. 11; 44.)

ZigBee on avoin standardi ZigBee-alianssiin kuuluvien jäsenten käyttöön. Alianssi vastaa ZigBee-standarin kehittämisestä ja siihen kuuluu monia suuria yrityksiä. Merkkiä voidaan käyttää vain laitteissa, jotka ovat hyväksytysti läpäisseet niille määritellyt testaukset. ZigBeen tiedonsiirto taajuus Euroopassa on 868 MHz ja tiedonsiirtonopeus 20 kb/s. Tekniikka hyödynnetään mm. Philipsin Hue -ledilampuissa sekä Fagerhultin eSense-ratkaisussa. (41, s. 11.)

EnOcean-tavaramerkin on rekisteröinyt EnOcean GmbH-yritys. Järjestelmä oli aluksi suljettu, kunnes perustettiin EnOcean Alliance, jonka ansiosta kaikki siihen kuuluvat jäsenet voivat hyödyntää kyseistä tekniikkaa. Standardin mukaisena lähetystaajuutena käytetään 868 MHz:iä ja viestintä tapahtuu point-to-point-yhteydellä. Verkossa lähetävä informaatio lähetetään kolmen sarjoissa satunnaista järjestystä muistuttavalla ajanhetkellä, parhaan toimivuuden takaamiseksi ruuhkaisissa verkoissa. Erikoisuutena EnOcean-tekniikassa on, että järjestelmän laitteet tuottavat itse tarvitsemansa energian. Laitteet keräävät energiaa ympäriltään esimerkiksi kineettisestä liikkeestä, valosta ja lämmöstä. Järjestelmän laitteet ovat siis erittäin huoltovapaita. EnOcean-laitteet voidaan liittää eri järjestelmiin kuten KNX- ja DALI-järjestelmiin omien gateway-laitteiden avulla. (39, s. 145; 41, s. 10.)

### 5.2.1 Casambi

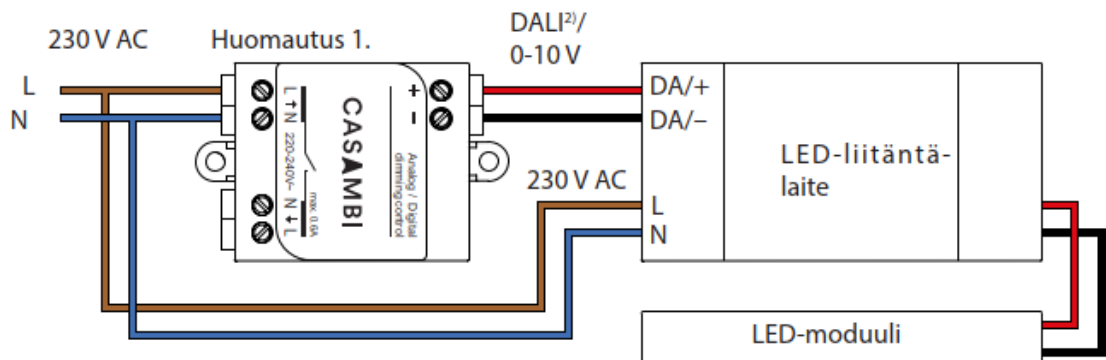
Casambi on Suomalaisen Casambi Technologies -yhtiön kehittämä langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä, jossa valaisimia ohjataan ja säädetään Bluetooth LE-teknologian avulla luotavan mesh-verkon (kuva 17) välityksellä. Yksinkertaisimmillaan järjestelmä voi koostua Casambi-integroidusta laitteesta ja älypuhelimesta. Järjestelmään voidaan liittää erivalmistajien Casambi-ready tuotteita, joita on saatavissa lukuisilta eri eurooppalaisilta laitevalmistajilta. Langattomuuden ja ohjelmoitavuuden ansiosta järjestelmä on joustava ja helposti laajennettavissa. (45.)



Kuva 17. Casambi-järjestelmässä jokainen laite välittää ja vastaanottaa tietoa mesh-verkossa (46, s. 9).

Casambilla voidaan ohjata ON/OFF-, 1-10V ja DALI-ohjattavia valaisimia. Ohjausyksikkö voi olla sisäänrakennettuna valaisimeen tai liitäntälaitteeseen, tai liitettynä erillisenä ulkoisena laitteena. Kuvassa 18 esitetty Casambin CBU-ASD LED-liitäntälaitteen Bluetooth-ohjausyksikkö ja sen kytkentäkuva. Laitteet muodostavat mesh-verkon, jonka avulla valaisimia voidaan ohjata yksittäin tai ryhmissä ja säätää mistä tahansa verkon laitteesta. Casambi laitteiden signaalin kantama on sisätiloissa korkeintaan 30 metriä ja

ulkona 50 metriä. Kantamaan vaikuttavat erilaiset esteet, kuten seinät ja eri rakennusmateriaalit. Casambin-toiminta aluetta voidaan kasvattaa käyttämällä Casambi-toistimia, jotka laajentavat mesh-verkkoa. (45.)



Kuva 18. Casambin CBU-ASD LED-liitännälaitteen Bluetooth-ohjauksyksikön kytkentäkuva (46).

Valaistusta voidaan ohjata mobiililaitteelle ladattavan Casambi-sovelluksen avulla sekä painikkeilla, Casambin omilla valaistustilan ohjaukseen tarkoitetuilla laitteilla ja monilla muilla ohjauslaitteilla. Casambi-sovellus toimii järjestelmän yhtenä käyttöliittymänä sekä käyttöönotto työkaluna ja soveltuu niin kuluttajille kuin ammattilaisille suunnattuihin valaistusratkaisuihin. Sovellus on saatavilla iOS- ja Android käyttöjärjestelmiin. Casambi-järjestelmässä valaistuksen ohjauksen ja säätömahdollisuudet ovat monipuoliset ja säädettäviä parametrejä ovat esimerkiksi valotasot, valonväri ja värilämpötila, valaistustilanteet ja häivytykset ja viivetoiminnot. (45.)

Casambi-sovelluksella luotavien verkkojen monikäytölle on neljä eri vaihtoehtoa:

- ei jaettu
- vain ylläpito
- suojattu salasanalla
- avoin

Ei jaettua verkkoa voi käyttää vain yhdellä kyseisellä laitteella eikä muilla laitteilla voi liittyä verkkoon. Vain ylläpidolle tarkoitettuun verkkoon voi kirjautua ylläpidon sähköpostilla ja salasanalla. Salasanalla suojattua verkkoa voi käyttää kuka tahansa

käyttäjäsalausalla ja avointa ilman salasanaa. Verkon muokkaaminen vaatii aina ylläpidon salasanan.

### 5.2.2 Helvar ActiveAhead

ActiveAhead on Helvarin kehittämä langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä, jossa laitteiden itseoppiva algoritmi kerää tietoa ympäristöstä ja mukautuu käyttötapojen muutoksiin. Järjestelmässä laitteet kommunikoivat keskenään Bluetooth-yhteydellä ja ennakoivat valaistustarpeen, jolloin valaistus säätyy huomaamattomasti ja valot ovat päällä oikeissa paikoissa oikeaan aikaan. Laitteet aloittavat oppimisen heti virtojen kytkemisen eikä asennus vaadi väyläkaapelointia, ohjelmointia tai käyttöönottoa. Riippuen tilojen käyttöasteesta, voi ensimmäiset kulkureitit olla opittuna jo muutamassa päivässä. Eri-laisten layout-muutosten ja väliseinien siirtelyiden jälkeen laitteet oppivat nopeasti uudesta ympäristöstään ja säättävät valaistuksen toimimaan optimaalisella tavalla. (40, s. 22.)

ActiveAhead-järjestelmässä valaisimiin asennetaan ohjausyksikkö ja sensori, jotka tyyppillisesti integroidaan valaisimeen tai asennetaan erilliselle pidikkeelle, jos sellaiseen on tarvetta. Ohjausyksikön tyyppi riippuu, onko valaisiminen liitännälaitte ActiveAhead-järjestelmään yhteensopiva vai perus DALI-liitännälaitteella varustettu. ActiveAhead-sensorit soveltuvat molempien ohjausyksiköiden kanssa, mutta DALI-järjestelmäsensarit toimivat vain tavallisille DALI-liitännälaitteille tarkoitetun ohjausyksiköiden kanssa. (40, s. 22.)

Järjestelmässä sensorit havaitsevat tiloissa liikkumisen ja välittävät tiedon ohjausyksiköille. Ohjausyksiköt välittävät informaatiota toisilleen Bluetooth LE-teknologiaan perustuvassa mesh-verkossa ja oppivat toisiltaan tilojen käytöstä. Valaisimien ennakoiva säätö tapahtuu todennäköisyyksien perusteella. Ennakoinnin ansioista tiloissa ja reiteillä on valot jo valmiina päällä niihin tultaessa. Laitteita verkkoon voidaan liittää rajaton määrä, kunhan kahden laitteen välinen etäisyys pysyy sallituissa rajoissa mesh-verkon ylläpitämiseksi. Hajautetussa järjestelmässä yhden valaisimen rikkoutuminen ei myöskään vaikuta muun järjestelmän toimintaan ja uusi valaisin oppii vanhan toiminnallisuuden itsenäisesti. (40, s. 22; 48.)

ActiveAhead-valaisimia voidaan ohjata myös langattomin kytkimin ja ActiveAhead-mobiilisovelluksella, joka on saatavilla iOS ja Android-käyttöjärjestelmille. Kytkimet on

ohjelmoitava ennen käyttöönottoa ja ne liitetään järjestelmään mobiilisovelluksen avulla. Mobiilisovelluksella voidaan valaisimia esimerkiksi ryhmitellä ja säätää parametrejä kuten valotasoja, sytytys- ja sammutusviiveitä, kirkastumis- ja himmennysaikoja ja päivänvaloasetuksia. Valaisimien yhdistäminen mobiilisovellukseen tapahtuu viemällä mobiililaitte lähelle valaisimen sensoria, jolloin sovellus havaitsee lähimmän Bluetooth-laitteen osoitteen ja yhteys voidaan muodostaa. (49, s. 17–20.)

## 6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja esitellä eri vaihtoehtoja, joilla kiinteistöjen sähköjakeluun ja valaistukseen saadaan muuntojoustavuutta ja mitä muuntojoustavissa ratkaisuissa tulisi ottaa huomioon. Sähköjakelun kannalta keskeiseksi asiaksi nousi riittävät tilavaraukset, järjestelmien sijoittelut, asennusreitit ja rakenteisiin upottamisen välttäminen. Asennusreittien tulisi olla avattavissa koko matkaltaan ja niiden tulisi sijaita muihin taloteknisiin järjestelmiin niin, että muutostöiden tekeminen on mahdollista. Kohteissa, joissa väliseinien paikkoja saatetaan muuttaa useasti, tulisi sähköasennusten tekemistä väliseiniin välttää. Sähköjakelu voidaan tällöin toteuttaa ylä- tai alajakeluna hyödyntäen esimerkiksi liikuteltavia pistorasiapylväitä, lattiapistorasioita tai johtokouruja.

Sähköjakelussa hyödyksi voidaan käyttää myös muunneltavuutta tukevia jakelujärjestelmiä kuten pistoliitin-, lattakaapeli-, ja jakelukiskojärjestelmiä. Järjestelmille yhteistä on niiden modulaarisuus ja asennus- ja muutostöidentöiden nopeus. Järjestelmää valittaessa olisi hyvä miettiä, kuinka usein muutoksia oletetaan kiinteistöön tehtävän, kuinka paljon muutostyöt saavat häiritä sähköjakelua ja ketkä muutostöitä tulevat tekemään.

Jakelukiskojärjestelmät sopivat hyvin teollisuuskohteisiin, joissa lähtöjä tarvitaan paljon vierekkäin, sekä sairaaloihin ja konesaleihin, joissa käytön tulisi olla mahdollisimman häiriötöntä. Kiinteistöt, jotka omaavat tiheät muutossyklit ja korkeat rakennukset, joissa kiskoilla voidaan korvata pitkät nousukaapelit ovat myös potentiaalisia kohteita jakelukiskojärjestelmien hyödyntämiseen. Sähköautojen latauksen lisääntyessä lattakaapelijärjestelmät ovat kasvattaneet suosioitaan niiden kustannusten ja laajennettavuuden ansiosta. Lattakaapelit sopivat erityisen hyvin myös väyläjärjestelmiä sisältäviin rakennuksiin ja moduulirakentamiseen esimerkiksi hotellikohteisiin. Pistoliitinjärjestelmille tyypillisiä käyttökohteita ovat muun muassa valaistuksen kaapelointi esimerkiksi liiketiloissa.

Pistoliitinjärjestelmät mahdollistavat myös pienien järjestelmä muutosten tekemisen maallikolle.

Valaistuksen muuntojoustavuuden kannalta merkittäväksi tekijäksi nousi älykkäiden valaistuksen ohjausjärjestelmien hyödyntäminen. Niiden avulla valaistukseen tehtävät muutokset saadaan suoritettua helposti ohjelmallisesti ilman kaapelointimuutoksia ja luotua erilaisia valaistustilanteita, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi monikäyttöisissä tiloissa. Valaistuksen ohjausjärjestelmää valittaessa voidaan valita joko väyläpohjainen tai langaton ratkaisu, tai mahdollisesti yhdistellä molempia. Eri valmistajien järjestelmiä valittaessa muuntojoustavuuden kannalta huomiota tulisi kiinnittää niiden ohjaus- ja säätömahdollisuuksien laajuuteen, järjestelmien skaalautuvuuteen, päivitettävyyteen ja käyttöönnoton ja käytävyyden helppouteen. Valaistuksen muuntojoustavuudessa huomiota tulisi kiinnittää myös valaisimien asennuspaikkoihin, valaisimien kiinnitysjärjestelmiin sekä mahdollisuuteen käyttää edellä mainittuja muunneltavia sähköliitännäjärjestelmiä kuten pistoliitinjärjestelmiä, jotka nopeuttavat muutostöiden aikaisten asennusten tekemistä.

Muuntojoustavia ratkaisuja mietittäessä on myös hyvä huomioida, ettei rakennusvaiheessa välttämättä kannata investoida liian pitkälle tulevaisuuteen tekniikan kehittyessä eteenpäin. Järjestelmien sijoittelut ja reitit olisi kuitenkin aina hyvä suunnitella tukemaan muutoksia. Haasteena muuntojoustavuuteen pyrittäessä on arvioida tulevaisuuden tarpeita ja määrittää ja mitoittaa kohteen järjestelmät kustannustehokkaiksi ilman ali- tai ylimitoitusta. Haasteetta tuo myös kustannuslaskennan painottuminen investointivaiheeseen eikä kiinteistön koko elinkaareen.

Työssä esiteltiin sähkönjakelun ja valaistuksen muuntojoustavuuden kannalta huomioon otettavia asioita sekä eri vaihtoehtoja ja järjestelmiä niiden toteuttamiseen. Työssä pohdittiin myös kestävästä rakentamisesta ja muuntojoustavuutta käsitteenä. Mielenkiintoista olisi myös arvioida ja vertailla työssä esiteltyjen eri vaihtoehtojen investointi- ja elinkaarikustannuksia. Eri kiinteistötyypeistä olisi myös hyvä kerätä dataa niissä tapahtuvista tila- ja käyttötarkoituksimuutoksista ja muutossykleistä. Näiden pohjalta elinkaarikustannuksia voitaisiin arvioida helpommin ja kustannustehokkaat ja järkevät toteutustavat muuntojoustavuuden saavuttamiseen olisi helpompi valita.

## Lähteet

- 1 Meistä. Verkkoaineisto. Granlund Oy. <<https://www.granlund.fi/granlund/meista/>>. Luettu 3.3.2021.
- 2 Kestävä rakentaminen - kestävä rakennus. Verkkoaineisto. Ympäristö osaava. <<https://www.ymparistoosaava.fi/rakennusala/index.php?k=22796>>. Luettu 17.1.2021.
- 3 Rakentaminen ja rakennukset. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kestavat\\_julkiset\\_hankinnat/tietopankki/rakentaminen\\_ja\\_rakennukset](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset)>. Luettu 17.1.2021
- 4 Kestävä rakentaminen on vastuullista rakentamista. Verkkoaineisto. RT - rakennusteollisuus. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/>>. Luettu 17.1.2021.
- 5 Häkkinen, Tarja. 2011. Kestävän rakentamisen prosessit. VTT.
- 6 Häkkinen, Tarja & Ala-Kotila, Paula. 2019. Monikäyttöisyys ja muunneltavuus kestävässä rakentamisessa. VTT.
- 7 ISO. 2020. ISO 20887 Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance.
- 8 Mustila, Lilja. 2017. Monikäyttöinen koulu: Joustavuudella ekologisuuutta tilasuunnitteluun. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laboratorio. Tutcris-tietokanta.
- 9 Wilen, Heikki. 2011. Toimistokiinteistön sähköenergian mittaustiedon analysointi ja hyödyntäminen. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma.
- 10 Rantala, Pekka. 2014. Kiinteistön sähköverkko. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/62073245-Kiinteiston-sahkoverkko.html>>. Luettu 4.2.2021.
- 11 ST-Käsikirja 35. 2015. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien tilavaraukset. Espoo: Sähkötieto ry.
- 12 Lindström, Ralf. 2021. Projektipäällikkö Granlund Oy, Helsinki. Haastattelu 25.2.2021.
- 13 Poutala, Juho. 2018. Keskusten rakenteet sähkösuunnittelijan näkökulmasta. Insinööriö. Tampereen Ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja automaatiotekniikka. Theseus-tietokanta.



- 14 Mäkinen, M. & Kallio, R. & Tantarimäki, R. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Helsinki: Otava
- 15 ST-27.01. 2018. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien muunneltavuus. Espoo: Sähköinfo ry
- 16 Ductel-johtokanavat. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <<https://www.ensto.com/globalassets/brochures/brochures/johtotiejarjestelmat/finnish/ductel-johtokanavat.pdf>>. Luettu 7.2.2021.
- 17 Hager flexyoffice -toimistojakelujärjestelmä. Verkkoaineisto. UTU. <[https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/13fi0470\\_pro\\_flexyoffice-fi.pdf](https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/13fi0470_pro_flexyoffice-fi.pdf)>. Luettu 28.1.2021.
- 18 Pintavaluun upotettava kanavajärjestelmä electraplan.UK. 2013. Electraplan. UK. <[https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/12fi0507\\_kat\\_unterflur-finnland\\_k01\\_4ka.pdf](https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/12fi0507_kat_unterflur-finnland_k01_4ka.pdf)>. Luettu 2.2.2021.
- 19 Asennuslattiat konesaleihin ja toimistoihin. Verkkoaineisto. Oy Atlas Environment Ab. <<https://www.atlas-environment-finland.com/tuotteet/asennuslattiat>>. Luettu 1.2.2021.
- 20 Nortec raised floor for high demands. Verkkoaineisto. Lindner Group. <<https://www.lindner-group.com/en/fit-out-products/floors/raised-floors/nortec/>>. Luettu 1.2.2021.
- 21 Suunnittelijan opas, Ratkaisuja esivalmistettuun asentamiseen. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <<https://www.ensto.com/globalassets/brochures/brochures/enstonet/finnish/suunnittelijan-opas.pdf>>. Luettu 3.2.2021
- 22 EnstoNet Pistoliitinjärjestelmät. Verkkoaineisto. Ensto Finland Oy. <<https://www.ensto.com/globalassets/brochures/brochures/enstonet/finnish/enstonet-pistoliitinjarjestelmat.pdf>>. Luettu 3.2.2021.
- 23 SFS 6000-8-813. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-813: Täydentävät vaatimukset. Pistokytkimien valinta ja asentaminen. Helsinki: SESKO ry.
- 24 Antti, Leikas. 2020. Sähköautojen latausasemia rakennetaan lisää kiihtyvällä vauhdilla. Plaani. 2/2020. Luettu 5.2.2021
- 25 Woertz lattakaapelijärjestelmät. Verkkoaineisto. Hedengren. <<https://www.hedengren.com/fi/woertz-lattakaapelijarjestelmat>>. Luettu 7.2.2021.
- 26 WAGO Pluggable Connection System WINSTA Full Line Catalog Volume 5. 2020/2021. Verkkoaineisto. WAGO. <[https://www.wago.com/fi/d/Info\\_60391258](https://www.wago.com/fi/d/Info_60391258)>. Luettu 12.2.2021

- 27 WAGO lattakaapelijärjestelmä. Verkkoaineisto. WAGO. <[https://www.wago.com/fi/d/Info\\_15000005](https://www.wago.com/fi/d/Info_15000005)>. Luettu 13.2.2021.
- 28 ST-51.14. 2008. Jakelukiskojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo ry
- 29 Pohjoinen, Mikko. 2011. Jakelukiskojärjestelmät. Tampereen ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma, Talotekniikka. Theseus-tietokanta.
- 30 Schneider Canalis jakelukiskojärjestelmä keskeiset tuotteet. 2013. Schneider. <[https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=Canalis\\_E1015\\_10\\_2013\\_BCANALIS13TUOTTEET\\_owres.pdf&p\\_Doc\\_Ref=E1015\\_10\\_2013\\_BCANALIS](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Canalis_E1015_10_2013_BCANALIS13TUOTTEET_owres.pdf&p_Doc_Ref=E1015_10_2013_BCANALIS)>. Luettu 22.1.2021.
- 31 Jakelukiskoosite. 2021. Verkkoaineisto. Lapp Connecto. <[https://t3.lappcdn.com/fileadmin/DAM/Lapp\\_Finland/PDF/lapp-connecto-jakelukiskojarjestelmat.pdf](https://t3.lappcdn.com/fileadmin/DAM/Lapp_Finland/PDF/lapp-connecto-jakelukiskojarjestelmat.pdf)>. Luettu 22.1.2021.
- 32 Sähköpalojen torjuntaopas. 2020. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <[https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=998-20636077\\_GMA\\_FI\\_1\\_LR.pdf&p\\_Doc\\_Ref=sahkopalojen\\_torjuntaopas](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=998-20636077_GMA_FI_1_LR.pdf&p_Doc_Ref=sahkopalojen_torjuntaopas)>.19.10.2020. Luettu 7.2.2021.
- 33 Help, Mikko. 2019. Jakelukiskojärjestelmien hyödyt. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja automaatiotekniikka. Theseus-tietokanta.
- 34 SFS-EN 61439-1. 2013. Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset. Helsinki: SESKO ry.
- 35 SFS 6000-5-52. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki: SESKO ry
- 36 Huttunen, Jukka. 2021. Projektipäällikkö Granlund Oy, Helsinki. Haastattelu 5.3.2021.
- 37 DALI manual 1.1 03-2020. Verkkoaineisto. Tridonic. <[https://www.tridonic.se/se/download/technical/DALI-manual\\_en.pdf](https://www.tridonic.se/se/download/technical/DALI-manual_en.pdf)>. Luettu.20.2.2021.
- 38 DALI – standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla. 2020. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/valonohjaus/e-sense-customised/dali/>>. Luettu 20.2.2021.
- 39 ST-käsikirja 21. 2017. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Espoo: Sähköinfo ry.

- 40 Valaistuksenohjausjärjestelmät katalogi. 2020. Verkkoaineisto. Helvar. <<https://helvar.com/wp-content/uploads/2020/01/FIN-Catalogue-2020.pdf>>. Luettu 20.2.2021.
- 41 Måns, Paul. 2021. Seuraavan sukupolven valaistuksenohjaus DALI, DALI 2. Granlund Oy sisäinen koulutus, Helvar koulutusmateriaali.
- 42 ST-kortti 58.31.2016. Valonlähteiden säätö ja ohjaus. Espoo: Sähköinfo ry.
- 43 ST-käsikirja 23. 2019. KNX-järjestelmän perusteet. Espoo: Sähköinfo ry.
- 44 Learn about bluetooth. 2021. Verkkoaineisto. Bluetooth SIG, Inc. <<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/radio-versions/>>. Luettu 1.3.2021.
- 45 Casambi valaistuksen ohjausjärjestelmä. Verkkoaineisto. Flinkenberg. <<https://www.flinkenberg.fi/energy/led-tuotteet/valaistuksen-ohjaus/casambi/>>. Luettu 3.3.2021.
- 46 AIRAM. 2020. Valintaopas langattoman valaistuksenohjauksen suunnittelijoille. Verkkoaineisto. <<https://www.airam.fi/ammattivalaistus/valintaopas-langattoman-valaistuksenohjauksen-suunnittelijoille>>. Luettu 5.3.2021.
- 47 Casambi CBU-ASD manuaali. Verkkoaineisto. Casambi. <<https://www.flinkenberg.fi/wp-content/uploads/Casambi-CBU-ASD-User-Guide-v18-Flinkenberg.pdf>>. Luettu 3.3.2021
- 48 Feilo Sylvania Finland Oy. 2018. ActiveAhead-valonohjausjärjestelmä. Verkkoaineisto. <[https://www.sylvania.fi/images/ajankohtaista/ActiveAhead\\_-valonohjausj%C3%A4rjestelm%C3%A4\\_tuote-esitys.pdf](https://www.sylvania.fi/images/ajankohtaista/ActiveAhead_-valonohjausj%C3%A4rjestelm%C3%A4_tuote-esitys.pdf)>. Luettu 29.3.2021.
- 49 Hiltunen, Jukka. 2018. Langattomat valaistuksen ohjausjärjestelmät toimitiloissa – testiasennusten käyttökokemuksia. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja automaatiotekniikka. Theseus-tietokanta.