



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# KIINTEISTÖJEN PÄÄVIRTA- PIIRIT JA NIIDEN ASEN- NUSTOIMINTAA TUKEVA SUUNNITTELUPROSESSI

TEKIJÄ: Jani Ratilainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Jani Ratilainen			
Työn nimi Kiinteistöjen päävirtapiirit ja niiden asennustoimintaa tukeva suunnitteluprosessi			
Päiväys	9.5.2020	Sivumäärä/Liitteet	43/0
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Voimatel Oy, Liiketoiminnan kehityspäällikkö Harri Smolander			
Tiivistelmä			
<p>Kiinteistöjen päävirtapiireihin kohdistuvat muutostyöt lisääntyvät Suomessa koko ajan kiinteistöjen energiajärjestelmien muutoksen ja kehityksen myötä. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Voimatel Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää kiinteistöjen päävirtapiireihin kohdistuvien muutostöiden suunnitteluprosessia sujuvaksi, kustannustehokkaaksi ja asennustoimintaa tukevaksi. Suunnitteluprosessin tuloksena haluttiin saada tehtyä toimiva ja turvallinen järjestelmä vastaamaan tulevaisuuden energiaratkaisujen tarpeita. Lisäksi työssä haluttiin tutkia ja hyödyntää uutta teknologiaa suunnitteluprosessissa ja kerätä yleistietoa päävirtapiireistä sekä siellä esiintyvistä sähkömagneettisista häiriöistä.</p> <p>Opinnäytetyössä kehitettiin suunnitteluprosessia ja sen yhteydessä tutkittiin erilaisia uuden teknologian hyödyntämismahdollisuuksia prosessissa, tutustuttiin kiinteistön sähköverkon ja päävirtapiirien rakenteeseen sekä tutkittiin päävirtapiirien sähkömagneettisia vaikutuksia. Opinnäytetyössä tiedon lähteenä käytettiin internettiä, alan kirjallisuutta, standardeja, sähköturvallisuuslakia ja muita opinnäytetöitä. Lisäksi työstä keskusteltiin työn tilaajan yhteishenkilön ja ohjaavan opettajan kanssa.</p> <p>Työn tuloksena kehitettiin kiinteistöjen päävirtapiirien suunnitteluprosessi sujuvammaksi ja asennustoimintaa tukevaksi. Työssä on kerrottu, mistä osioista suunnitteluprosessi koostuu ja pohdittu, mitä asioita tulee ottaa huomioon, että saadaan tuotettua riittävät dokumentit suunnitteluprosessin eri osioissa. Työssä todettiin, että uudesta teknologiasta on apua suunnitteluprosessissa, mutta kustannustehokkuus ei ole vielä halutulla tasolla. Uuden teknologian toimivuutta pitää testata käytännössä, jos halutaan tehdä tarkempia johtopäätöksiä. Huolella tehty suunnitteluprosessi saa aikaan taloudellisia säästöjä, joista hyötyvät sekä asiakas että urakoitsija. Yksi suunnitteluprosessin onnistumisen avaintekijöistä on tarpeeksi kattava ja yhtenäinen dokumentointi prosessin eri vaiheissa.</p>			
Avainsanat kiinteistöjen päävirtapiirit, suunnitteluprosessi, muutostyö			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Jani Ratilainen			
Title of Thesis Main Circuits in Real Estates and the Planning Process Supporting Their Installation			
Date	9 May 2020	Pages/Appendices	43/0
Client Organisation /Partners Voimatel Oy, Mr Harri Smolander, Business Development Manager			
<p><b>Abstract</b></p> <p>Alteration works of the main circuits in real estates are coming more and more common in Finland because of the development of the energy systems. This thesis was commissioned by Voimatel Oy. The purpose of the thesis was to improve the planning process of the main circuits in real estates. The commissioner wanted to improve the process to be more fluent and cost-effective. Also the planning process should support the installations. Another aim of the planning process was to draw up a functional and safe system which meets the needs of the energy solutions of the future as the result of the planning process. In addition, the purpose was to study the uses of new technologies in the planning process as well to gather general knowledge about the main circuits and electromagnetic interferences.</p> <p>The planning process was improved in the thesis and also the exploitation opportunities of new technologies were researched. To parts of the real estate's electrical networks and main circuits were acquainted with and the electromagnetic interferences by main circuits were researched. The internet, literature related to the field, standards, Electrical Safety Act and other theses were used as the sources of information. Also the process and contents were discussed with the client organization's contact person and the supervising teacher.</p> <p>As a result of the thesis, the planning process of the main circuits was improved to be more fluent and the process supports the installations. In thesis describes which parts the planning process consists of and what kind of things have to be taken into account to make the documentation sufficient. New technologies were found to be useful in the planning process but they were not cost-effectives. The functionality of new technologies has to be tested in practice if one wants to make more precise conclusions. A carefully made planning process will reduce costs which will benefit the customer and the contractor. One of the key factors of the success in the planning process is sufficiently comprehensive and consistent documentation through the process.</p>			
<p><b>Keywords</b> main circuits in real estates, planning process, alteration work</p>			

## SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 VOIMATEL OY .....	8
3 KIINTEISTÖJEN SÄHKÖVERKKO .....	9
3.1 Kiinteistön sähköverkkoon liitetyt laitteet.....	9
3.2 Laitteiden energian käytön profiili.....	11
4 PÄÄVIRTAPIIRIEN YLEISET RAKENTEET.....	12
4.1 Muuntaja.....	12
4.2 Virtatiet.....	13
4.2.1 Kiskosilta .....	13
4.2.2 Kaapelit .....	14
4.3 Pääkeskus .....	15
4.3.1 Kennokeskus .....	16
4.3.2 Kotelokeskus .....	17
4.3.3 Kehikkokeskus.....	18
5 SUOJAUS .....	19
5.1 Kiinteistön sähköverkon suojausrakenteita .....	19
5.1.1 Sulakesuojaus .....	19
5.1.2 Relesuojaus.....	19
5.1.3 Kytkimet ja katkaisijat .....	20
5.2 Muuntajan suojalaitteita ja lisävarusteita.....	21
6 SÄHKÖMAGNEETTISET HÄIRIÖT .....	22
7 UUDEN TEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN .....	24
7.1 Kohteen mallinnus alkukartoitus käynnillä .....	24
7.1.1 Mallinnukseen soveltuvia laitteita .....	25
7.1.2 KIRA-digi mallinnushankkeita .....	27
7.2 Nykyteknologian hyödyntäminen asennuksen aikana .....	28
8 SUUNNITTELUPROSESSI .....	30
8.1 Lähtötiedot.....	30
8.2 Alkukartoitus .....	31
8.3 Kartoituskäynnin dokumentointi .....	32

8.4	Tekninen suunnittelu .....	33
8.4.1	Sähkötekkinen ja mekaaninen suunnittelu .....	33
8.5	Tarjous asiakkaalle .....	35
8.5.1	Määrälaskentalistan tulostus CADSistä .....	35
8.6	Asennuksen suunnittelu .....	35
8.7	Tarviketilaukset ja logistiikka .....	36
8.8	Asennus ja käyttöönotto .....	37
8.8.1	Käyttöönottotarkastus .....	38
8.9	Loppudokumenttien päivitys .....	38
9	YHTEENVETO.....	40
10	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	41

## LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

2D	Kaksiulotteinen
3D	Kolmiulotteinen
A	Ampeeri
AC	Alternating current, vaihtovirta
CAD	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CADS	Sähkö- ja LVI-suunnitteluohjelma
DC	Direct current, tasavirta
IFC	Industry Foundation Classes, kansainvälinen tiedonsiirtostandardi
IP	International protection, kansainvälinen kotelointiluokitus
kA	Kiloampeeri
kV	Kilovoltti
LiDAR	Light detection and ranging
Pj-keskus	Pienjännitekeskus
SLAM	Simultaneous localization and mapping
Tekla BIMsight	Ohjelmisto tietomallien tarkasteluun
Tp	Tesla, magneettivuon tiheyden huippuarvon yksikkö
U	Jännite
UPS	Uninterruptible power supply, keskeytymätön virransyöttö
V	Voltti

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on kiinteistöjen päävirtapiirit ja niiden asennustoimintaa tukeva suunnitteluprosessi. Päädyin aiheeseen kuullessani siitä koulun sähköpostin kautta. Aihe vaikutti mielenkiintoiselta, joten otin yhteyttä aiheen tilaajaan, joka on Voimatel Oy. Yhteyshenkilönä toimii Harri Smolander.

Opinnäytetyön aihe syntyi siitä, kun työn tilaaja on alkanut tehdä erilaisia muutostöitä, jotka vaikuttavat kiinteistöjen päävirtapiireihin. Tällaisia muutostöitä ovat esimerkiksi hybridisuodatin-, aurinkosähkö- ja sähköautojen latausjärjestelmien asennukset. Erilaisia kiinteistön päävirtapiireihin kohdistuvia muutostöitä ei olla tehty paljoa vielä Suomessa, joten suunnitteluprosessi kaipaa hiomista. Työn tarkoituksena on kehittää työn tilaajalle tehokas ja toimiva kiinteistöjen päävirtapiirien suunnitteluprosessi, joka tukee asennustoimintaa ja jolla varmistetaan järjestelmän pitkä elinkaari. Prosessista halutaan saada sujuva ja kustannustehokas, joka optimoi energiajärjestelmäinvestoinnit. Työssä mietitään, kuinka suunnitteluprosessin eri vaiheet kannattaisi toteuttaa ja mitä tietoja kohteesta halutaan saada, että voidaan tuottaa riittävä dokumentointi prosessin seuraavaa osiota ajatellen. Tuotetut dokumentit edesauttavat tarviketilauksien ja asennusten suunnittelua sekä tuottavat asennusten ja käyttöönoton jälkeen elinkaaren hallintaan kattavan dokumentaation. Suunnitteluprosessin tarkastelu rajataan muuntajalta pienjännitepääkeskukseen.

Suunnitteluprosessin kehittämisen lisäksi opinnäytetyössä on tarkoituksena perehtyä kiinteistön sähköverkkoihin ja niihin liittyviin laitteisiin. Työssä tutkitaan kiinteistön päävirtapiirien yleisiä rakenteita ja erilaisia muuntajan ja keskuksen välisiä virtatieratkaisuja, kuten esimerkiksi kiskosiltoja. Työssä selostetaan erilaisista suojalaitteista, joilla suojataan kiinteistön sähköverkkoa vika- tai ylikuormitustilanteilta. Lisäksi tutkitaan, mitkä asiat yleensä aiheuttavat kiinteistömuuntamoissa sähkömagneettisia häiriöitä ja kerrotaan niiden mittaamisesta sekä, kuinka niitä voidaan vähentää. Etsitään uuden teknologian suomia keinoja, joita voidaan hyödyntää prosessin eri osissa, kuten esimerkiksi 3D-mallintamisen hyödyntämismahdollisuuksista alkukartoituskäynnillä. Opinnäytetyössä on etsitty tietoa internetin eri lähteistä ja standardeista sekä alan kirjoista ja lakiteksteistä.

## 2 VOIMATEL OY

Voimatel Oy on suomalaisomisteinen vuonna 2001 perustettu sähkö- ja tietoverkkojen sekä -järjestelmien elinkaari palvelujen ja ratkaisujen tuottaja. Perustajanosakkaina vuonna 2001 olivat Kuopion Puhelin Oy ja Savon Voima Oy. Lisäksi mukana oli myös IVO Transmission Engineering Oy, joka nykyään on Eltel Networks Oy. Vuonna 2014 Osuuskunta KPY osti Savon Voima Oyj:n osuuden Voimatel Oy:stä, minkä jälkeen KPY on omistanut koko Voimatel Oy:n osakekannan. (KPY, s. a.)

Voimatel Oy on yksi alansa suurimmista toimijoista. Henkilöstöä heillä on noin 900 ja liikevaihtoa oli vuonna 2018 noin 125 miljoonaa euroa. Voimatel Oy palvelee asiakkaitaan Suomesta, Virossa ja Puolasta käsin. Asiakkaita on sekä Suomessa että myös ulkomailla. Voimatelin pääkonttori sijaitsee Siilinjärvellä Toivalassa. (KPY, s. a.)



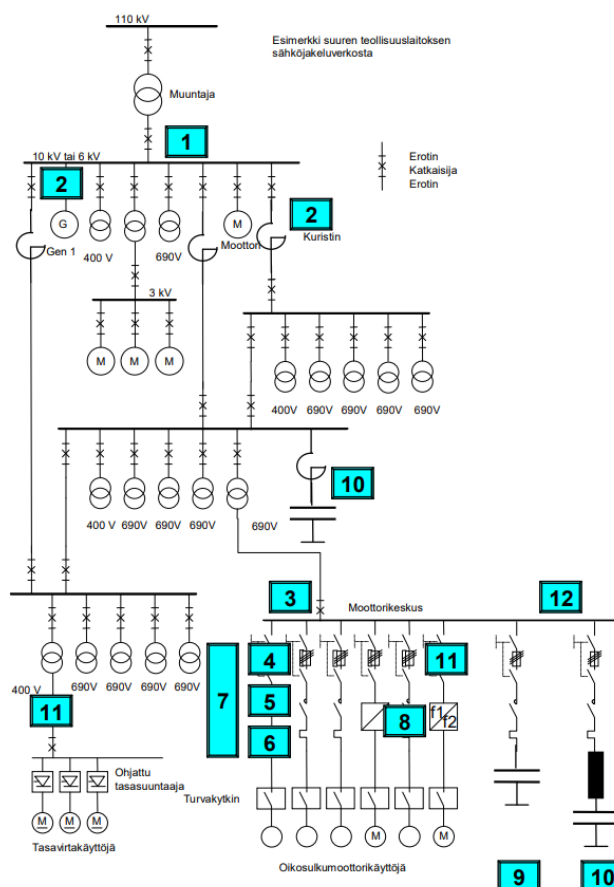
### 3 KIINTEISTÖJEN SÄHKÖVERKKO

Kiinteistöjen sähköverkot ovat rakenteeltaan yleensä puumaisia eli säteittäisiä. Pienet ja keskikokoiset kiinteistöt liittyvät yleiseen sähkönjakeluverkkoon 400/230 V jännitteellä. Suuret kiinteistöt liittyvät jakeluverkkoon suurjännitteellä oman kiinteistömuuntamon kautta. (Laininen, 2017)

Kuvassa 1 on esimerkkikuva suuresta teollisuuden sähköverkosta. Esimerkissä liittymisjännite on 110 kV, mutta yleensä se voi olla myös 20 kV. Tavallisesti jännite kiinteistöjen sähköverkoissa on 400/230 V ja tätä jännitettä hyödyntävät suurin osa sähkölaitteista. Suur- ja keskijänniteliittymillä jännitetasot verkon sisällä voivat vaihdella enemmän. Esimerkiksi muita jännitetasoja ovat 10 kV, 6 kV, 3 kV ja 690 V. Näitä jännitteitä voivat käyttää esimerkiksi erilaiset pienemmät ja suuremmat teollisuuden moottorit.

## Teollisuuden sähköverkko

1. Keskijännitekojeisto
2. Oikosulkuvirran rajoitus keskijännitteellä
3. 690 V:n kojeisto
4. Oikosukusuojaus
5. Kontaktori
6. Ylikuormitussuojaus
7. Integroidut komponentit
8. Taajuusmuuttaja
9. Loistehon kompensointi
10. Yliaaltojen suodatus
11. Virtayliaallot
12. Jänniteyliaallot



KUVA 1. Esimerkki suuren teollisuuslaitoksen sähköjakeluverkosta (Lyytikäinen, 2011, s. 24)

#### 3.1 Kiinteistön sähköverkkoon liitetyt laitteet

Kiinteistöjen sähköverkot koostuvat yksinkertaisuudessaan pääkeskuksesta, jakokeskuksista, johdoista ja kaapeleista sekä muista laitteista. Muita sähköverkon laitteita ovat muuntajat, generaattorit, aurinkosähköjärjestelmät, valaistus, sähkömoottorit, kompensointilaitteet ja akustot. Kiinteistön sähköverkon sisältämät laitteet määräytyvät kiinteistön käyttötarkoitusten mukaan. Teollisuudessa tehtaan käyttötarkoitusten mukaan löytyy monenlaisia suurikulutuksisia sähkölaitteita ja jännitetasoja on useampia.

Esimerkki teollisuusverkosta (kuva 1) näyttää suuren teollisuuskiinteistön sähköverkon suuruusluokan. Verkko haarautuu päämuuntajan jälkeen keskijännitekojeistolla moneen eri haaraan. Haarat jakelevat sähköä kiinteistön jako- ja alakeskuksilla, jotka puolestaan jakelevat sähköä eri kulutuslaitteille. Erilaisia muuntajia on monia, koska verkossa on monenlaisia laitteita, jotka tarvitsevat tietyn käyttöjännitteen toimiakseen. Kuvassa esiintyvillä erottimilla, katkaisijoilla ja kuristimilla rajoitetaan oikosulkuvirtaa keskijännitteellä. Ne suojaavat alakeskuksia ja laitteita, joilla ei ole niin suuri oikosulkukestoisuus. Kuristin on yksinkertainen ja luotettava komponentti, mutta se aiheuttaa lisähäviötä. Kuristimen kyky rajoittaa oikosulkuvirtaa on rajallinen. (ABB, 2000, s. 11) Kuvassa 1 on 690 voltin kojeisto (kuvassa 1 laatikko numero 3), joka on moottorikeskus. Se syöttää oikosulkumoottorikäyttöjä. Lähes jokainen virtapiiri on suojattava oikosulkusuojalla. Joillakin moottoreilla on apuna taajuusmuuttaja, joilla voidaan ohjata syöttötaajuutta ja -jännitettä eli moottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia.

Eräät kulutuslaitteet, kuten esimerkiksi moottorit ja muuntajat, tarvitsevat toimiakseen loistehoa pätötehon lisäksi. Loistehon avulla ylläpidetään laitteen magneettikenttää. Kompensointilaitteistolla tuotetaan laitteiden tarvitsemää loistehoa paikallisesti. Laitteisto on mahdollista sijoittaa verkkoon kolmella eri tavalla: keskitetysti, ryhmä- ja laitekohtaisesti. Keskitetty kompensointi tarkoittaa kompensointipariston sijoittamista kiinteistön tai teollisuuslaitoksen pää- tai ryhmäkeskukseen. Kuvan 1 tapauksessa kompensointi on sijoitettu teollisuuslaitoksen moottorikeskukseen, jossa on suuri loistehon tarve useiden oikosulkumoottoreiden takia. Kompensointi toteutetaan kolmivaiheisella kondensaattoriparistolla. Kompensointiparistoa käytetään, jos verkossa ei esiinny yliaaltoja. Jos yliaaltoja esiintyy (eli käytännössä aina), käytetään estokelaparistoa. Kompensoinnin vaikutuksesta laitteiden tarvitsema loisteho tuotetaan paikallisesti, eikä sitä tarvitse kuljettaa syöttävästä verkosta, jolloin verkon näennäisvirta pienenee. Kompensoinnin myötä pienentynyt kokonaisvirta vaikuttaa myös häviöihin, koska sähköjakeluverkon häviöt pienenevät ja laitteiden lämpötilat alenevat. Lämpötilan alenemisen myötä muuntaja- ja keskustilojen jäähdytys- ja ilmanvaihtotarve pienenee. (Sähköinfo Oy, 2016)

Yliaaltoja esiintyy lähes aina sähköverkoissa. Laitteet, joiden ottama virta poikkeaa puhtaasta sinimuodosta, on verkon kannalta epälineaarista kuormaa. Tavallisimpia yliaaltolähteitä ST-kortin 52.16 mukaan ovat:

- AC-käytöt (taajuusmuuttajat)
- DC-käytöt
- UPS-laitteet
- erilaiset purkauslamput
- sähkösuodattimet (Sähköinfo Oy, 2014, s. 1)

Kuvan 1 verkon taajuusmuuttajat ovat siis epälineaarista kuormaa. Muuntaessaan verkosta saadun vaihtovirran perustaajuuden haluttuun taajuuteen, tuottavat ne samalla tässä prosessissa yliaaltoja. Lisäksi verkon tasasuuntaajat, jotka muuttavat sähkövirran vaihtovirrasta tasavirraksi DC-mootto-

reille, muodostavat yliaaltoja. Muunnoksen yhteydessä muodostuu harmonisia ja epäharmonisia yliaaltoja, koska muuntoprosessi ei ole ideaalinen. (Kuivinen, 2018, ss. 5-6) Yliaaltojen haittavaikutuksista verkkoon kerrotaan ST-kortissa 52.16. Haittavaikutuksia ovat:

- lisähäviöt johtuen eri verkkokomponenteista
- atk- ja automaatiojärjestelmien häiriöt ja vauriot
- televerkon häiriöt
- suoja- ja mittalaitteiden virhetoiminnot
- nollajohtimen ja -kiskojen ylikuormittuminen (3. yliaallot)
- jännitesärön kasvu

Yliaaltolähteet eivät aiheuta ongelmia pelkästään siinä sähköjakeluverkossa, missä ne sijaitsevat. Ne aiheuttavat ongelmia myös muille sähköjakeluverkon käyttäjille. Tämä ilmenee sähkönlaadun heikentymisenä. Yliaaltojen suodatus voidaan toteuttaa estokelaparistolla tai yliaaltosuodattimella. Estokelaparisto soveltuu käytettäväksi kohteisiin, joissa on vähän yliaaltolähteitä (esimerkiksi julkiset rakennukset), koska sillä on vähäinen yliaaltojen suodatusominaisuus. Yliaaltosuodatin soveltuu verkkoihin, joissa esiintyy paljon yliaaltolähteitä. Tästä esimerkkinä teollisuuden sähköverkot. (Sähköinfo Oy, 2014, s. 2)

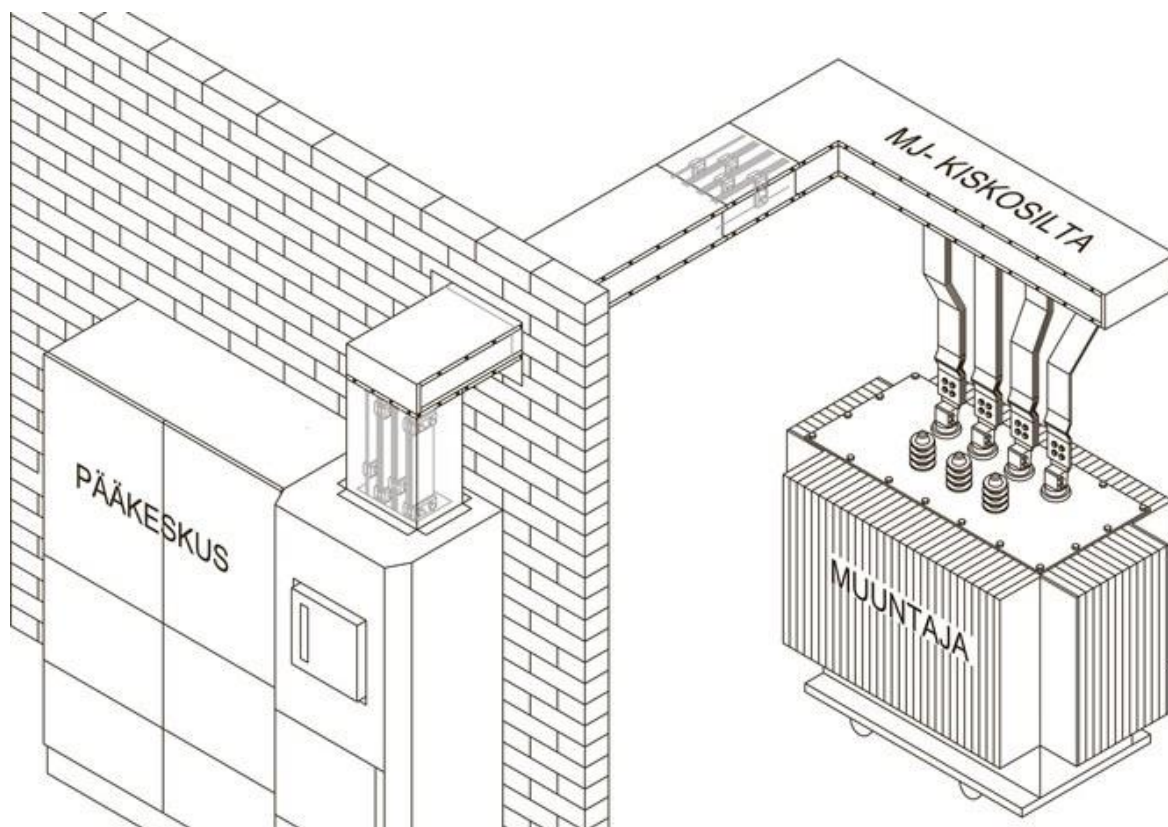
### 3.2 Laitteiden energian käytön profiili

Kiinteistön päävirtapiiriä tarkasteltaessa halutaan saada laitekohtaista tietoa verkon laitteiden sähkökulutuksesta ja vaikutuksesta sähkön laatuun. Yleensä näin tarkkoja laitekohtaisia mittaustietoja ei ole saatavilla ja tällaisten mittausten suorittamiseen kuluu turhan paljon aikaa. Myös mittausten toteuttaminen on kallista. Tällöin on tyydyttävä kiinteistön kokonaissähkökulutuksen tietoihin. Kiinteistön kulutustiedot saadaan selville, joko kiinteistön sähkömittarilta tai tekemällä itse mittauksia esimerkiksi tehoanalysointilaiteilla. Laitekohtaisista kulutuksista voidaan tehdä arvioita kiinteistön kulutustietojen perusteella, kun tiedetään laitteiden kilpiarvot, kuormitusasteet ja käyttöajat. Tähän tarkasteluun tulee huomioida kiinteistön oma tuotanto, mikäli sellaista on.

Suunnitteluprosessin kannalta on hyödyllistä saada tietoa laitekohtaisista, keskus- tai nousukohtaisista käytöistä, mutta käytännössä tämä ei ole vielä nykypäivää. Laite- tai laiteryhmäkohtaisen mittarin asentaminen koetaan usein turhaksi lisäkuluksi. Realistisempaa on asentaa mittareita alempiin keskustasoihin, kuten esimerkiksi ryhmäkeskuksiin. Vaihtoehtoisesti kiinteistön koon mukaan voidaan tehdä omat mittaukset ryhmäkeskustasolla, jos siihen on resursseja (mittalaitteita ja rahaa riittävästi). Ryhmäkeskuksissa olevat mittarit tai niissä tehdyt mittaukset antavat tarkempaa sähkön laadullista tietoa, kuin koko kiinteistön tarkastelu.

## 4 PÄÄVIRTAPIIRIEN YLEISET RAKENTEET

Kiinteistöjen päävirtapiirit koostuvat yleensä kuvan 2 mukaisesti tehomuuntajasta, virtateistä ja pääkeskuksesta. Päävirtapiirit hoitavat jännitetaso muuntamisen sopivaksi, virran syöttämisen pääkeskukseen ja sähkön jakelun kiinteistöverkon laitteille. Tässä kappaleessa kerrotaan muuntajista, erilaisista virtateistä ja keskuksista.



KUVA 2. Kiinteistön päävirtapiirin yleinen rakenne (Lapp Connecto Oy, 2020)

### 4.1 Muuntaja

Muuntaja on staattinen sähkölaite, joka muuntaa jännitetaso  $U_1$  jännitetasoon  $U_2$ . Tehomuuntajan varsinaisen tehtävän hoitavat käämitykset ja rautasydän, jotka ovat muuntajan aktiivisia osia. Passiivisia osia ovat erilaiset tukirakenteet, eristimet, jäähdytyslaitteet ja muuntajaöljy. Kolmivaiheisessa muuntajassa rautasydän on pylväänmuotoinen. Se sisältää jokaiselle vaiheelle erikseen ensiö- ja toisiökäämityksen. Ensiökäämitystä voidaan kutsua myös yläjännitekäämitykseksi ja toisiökäämitystä alajännitekäämitykseksi. (Korpinen;Silvennoinen;Lehtelä;Havunen;& Kaartinen, 1998, ss. 1-3)

Tehomuuntajat voidaan jakaa kahteen ryhmään: jakelumuuntajiin ja suurtehomuuntajiin. Jakelumuuntajat jakaantuvat paisuntasäiliöllisiin, hermeettisesti suljettuihin ja valuhertsieristeisiin jakelumuuntajiin. Paisuntasäiliölliset ja hermeettisesti suljetut muuntajat ovat öljyeristeisiä ja -jäähdytteisiä. Valuhertsieristeiset ovat kuivamuuntajia. (Korpinen ym. 1998, s. 3)

Yleisesti öljyeristeisiä muuntajia suositaan enemmän kuin kuivamuuntajia. On olemassa käyttökohteita, joissa on syytä harkita kuivamuuntajan käyttöä tai joissa ei ole muita vaihtoehtoja kuin kuiva-

muuntaja. Näitä kohteita ovat muun muassa tehdastila, jossa on suuri pistekuorma, kaivokset, tunnelit, vedenpuhdistuslaitokset, väestösuojat, sairaalat ja pohjavesialueet. Jos öljyeristeisen muuntajan valinnalle ei ole esteitä, on valinta helppo. Öljyeristeiset muuntajat ovat osoittautuneet luotettavimmiksi kuin kuivamuuntajat. Kuivamuuntajat ovat myös huomattavasti kalliimpia. (Sähköinfo Oy, 2018, ss. 8-9)

## 4.2 Virtatiet

Muuntajan ja keskuksen välillä on virtatie, jota käytetään sähkön siirrossa muuntajalta keskukselle. Virtatie voi olla alumiinista tai kuparista tehty kiskosilta tai alumiini- tai kuparikaapelia. Kiskojen tai kaapelien lukumäärä ja paksuus määräytyy pääasiassa siirrettävän virran määrän perusteella.

Virtatiet voivat siirtyä paloryhmästä toiseen esimerkiksi silloin, kun muuntaja ja sähköpääkeskus ovat sijoitettu eri huoneisiin. Tällöin täytyy huomioida vaatimuksien mukaisen palokatkon teko läpiviennin kohdalla. Standardissa ST 53.11 Kuluttajamuuntamot kerrotaan, että osastoivan rakennusosan läpi johdetut läpiviennit eivät saa heikentää olennaisesti rakennusosan osastoivuutta (Sähköinfo Oy, 2018, s. 4). Palokatkojen tekemiseen löytyy hyvin tietoa esimerkiksi Suomen Palokatko yhdistyksen nettisivuilta löytyvästä Palokatko-oppaasta (Suomen Palokatko yhdistys ry, s.a).

### 4.2.1 Kiskosilta

Tavallisesti kiskosilta (kuva 3) on rakennelma, jossa virtakiskot kulkevat suojassa kotelon sisällä esimerkiksi muuntajalta pienjännitekeskukseen. Perinteisestä versiosta löytyy erilaisia variaatioita. Kiskosiltojen suunnittelu ja mitoittaminen on tehtävä huolella, koska niissä yleensä kulkee suuria virtoja. Kiskosilta koostuu alumiinisista tai kuparisista virtakiskoista, teräksisestä kehikosta ja teräksistä tai alumiinisista kansilevyistä. Sähköä eristävillä tukieristimillä kiinnitetään virtakiskot kiskosiltaan. (Tommila, 2012)



KUVA 3. Kiskosilta (Norelco Oy, 2020)

Kiskosiltajärjestelmä voi olla myös avoin perinteisen koteloinnin sijaan. Tästä esimerkkinä ABB:n MDY-kiskosillat (kuva 4), jossa jokainen virtakisko on päällystetty muovieristyksellä. (ABB Oy, 2011)



KUVA 4. ABB:n MDY-kiskosilta (ABB Oy, 2011)

Kiskosiltana muuntajan ja pääkeskuksen välissä voidaan käyttää myös kompaktirakenteisia virtakiskoja (kuva 5). Niin sanotut "sandwich"-rakenteiset kompaktikiskot soveltuvat myös nousu- tai siirtoverkkojen jakelukiskoiksi. Esimerkkinä tästä on Lapp Connecton XP-jakelukiskot ja kiskosillat. (Lapp Connecto Oy, 2016)



KUVA 5. Kompaktirakenteisen virtakiskon rakenne (Lapp Connecto Oy, 2016)

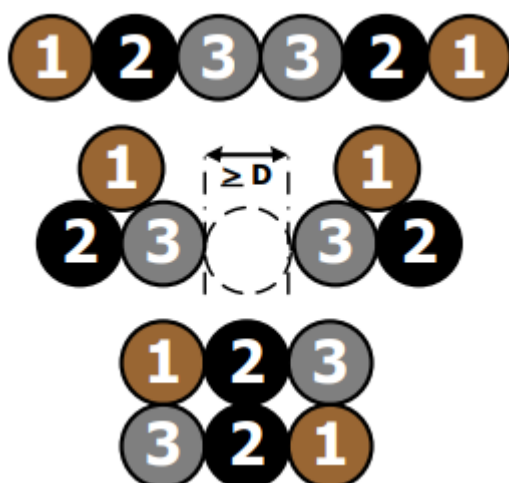
Kompaktirakenteiset virtakiskot ovat paljon pienemmän kokoisia kuin tavalliset ilmaeristeiset virtakiskot. Niiden vähäinen tilantarve johtuu johtimien pienestä etäisyydestä toisiinsa nähden. Esimerkiksi italialainen Zucchini valmistaa tällaisia virtakiskoratkaisuja. Heidän johtimensa ovat valmistettu galvanoidusta alumiinista ja niiden päälle on kiedottu eristeeksi kaksinkertainen polyesterikalvo. Lisäksi eristetyt kiskot asennetaan ulkokoteloon, joka on valmistettu kuumagalvanoidusta teräksestä. (Pirhonen, 2010)

#### 4.2.2 Kaapelit

Muuntajan ja pienjännitekeskuksen yhdistämiseen voidaan käyttää kiskosiltojen sijasta myös alumiinista tai kuparista valmistettuja kaapeleita (esimerkiksi joka vaiheelle AXMK 300 mm<sup>2</sup>). Tarpeen vaatiessa voidaan kytkeä useampi kaapeli vaihetta kohden rinnan, jotta vaadittu virrankestoisuus saavutetaan. Tällöin täytyy kuitenkin noudattaa tiettyjä määräyksiä.

Kun kytketään kaksi tai useampia kaapeleita rinnan samassa vaiheessa tai navassa, on noudatettava standardin asettamia kohdan 1) tai 2) määräyksiä:

- 1) On varmistettava, että kuormitusvirta jakaantuu tasan rinnankytkettyjen johtimien välillä. Tämä vaatimus katsotaan täyttyneeksi, jos johtimet ovat samaa materiaalia, niillä on sama poikkipinta, ne ovat lähes tulkoon yhtä pitkiä ja niitä ei haaroiteta. Edellä mainittujen ehtojen lisäksi joku seuraavista ehdoista täytyy täytyä:
  - rinnankytketyt johtimet ovat monijohdinkaapelia tai kierrettyjä yksijohdinkaapelia tai eristettyjä johtimia
  - rinnankytketyt johtimet ovat kolmio- tai tasomuodossa olevia yksijohdinkaapeleita, joiden johtimen poikkipinta on pienempi tai yhtä suuri, kuin  $70 \text{ mm}^2$  alumiinia tai  $50 \text{ mm}^2$  kuparia
  - rinnankytketyt johtimet ovat kolmio- tai tasomuodossa olevia yksijohdinkaapeleita ja niiden johtimen poikkipinta on suurempi kuin  $70 \text{ mm}^2$  alumiinia tai  $50 \text{ mm}^2$  kuparia, ja käytetään näille kaapelijärjestelmille tarkoitettuja muodostelmia. Nämä järjestelmien muodostelmat koostuvat eri vaiheiden tai napojen välisistä sopivista asennusväleistä ja ryhmityksistä.
- 2) Vaihtoehtoisesti käytetään erikoismenettelyjä, joiden avulla kuormitusvirtojen jakaantuminen vastaa määrättyjä vaatimuksia. (SESKO ry, 2017, ss. 229-230)



KUVA 6. Niputusvaihtoehtoja kahdelle rinnakkaiselle vaihekaapelille (Ijäs, 2019)

Mikäli sopivaa virranjakaumaa ei saavuteta tai jos johtimia pitäisi kytkeä rinnan neljä tai useampia, täytyy harkita kiskojärjestelmien käyttöä (SESKO ry, 2017, ss. 229-230). Kuvassa 6 on kahden rinnakkaisen vaihekaapelin niputusvaihtoehtoja. Kaapelit voidaan järjestää päästä katsottuna tasoon, kolmion muotoon tai päällekkäin. Pidemmällä kaapeli vedoilla on syytä käyttää myös kaapelien järjestyksen vaihtoa eli niin sanottua risteilyä (Ijäs, 2019).

#### 4.3 Pääkeskus

Pääkeskusta syötetään edellä mainittujen virtateiden avulla. Pääkeskus hoitaa sähköjakelun kiinteistön eri sähkölaitteille. Pääkeskus sisältää myös erilaisia suojalaitteita, jotka suojaavat keskuksesta lähteviä nousujohtoja ja niiden päässä olevia muita keskuksia ja laitteita. Keskuksessa ensimmäisenä, johon syöttävät virtatiet kiinnittyvät, on pääkatkaisija. Pääkatkaisijalla ohjataan keskukseen tulevaa virransyöttöä. Sen katkaisukyky täytyy olla riittävä oikosulkuvirran katkaisemiseen. Katkaisu

hoidetaan joko manuaalisesti tai automaattisesti asentamalla pääkatkaisijan yhteyteen suojarahkeen ja asettamalla sille sopivat laukaisu-arvot.

Sähkökeskukset valmistetaan joko muovista tai metallista. Keskuksien rakenteelta edellytetään tietynlaista suojausluokkaa, joka suojaa kosketusjännitteeltä sähköiskuja vastaan. Keskuksille määritetään kotelointiluokat kosketusta, epäpuhtauksia, vettä ja pölyä vastaan. Sähkökeskusten rakenteiden täytyy kestää sisäisiä vikatilanteita, kuten esimerkiksi valokaaren aiheuttaman paineen. Keskuksilta vaaditaan myös riittävä suojaus sähkömagneettisia häiriöitä vastaan. (Lyytikäinen, 2011, ss. 36-37)

Teollisuudessa ja julkisessa rakentamisessa eniten käytetyt sähkökeskusten rakenteet ovat kenno-, kotelo- ja kehikkokeskukset. Yleensä teollisuudessa ja kiinteistökohteissa päävirtapiirien pääkeskukseksi käytetään kennokeskuksia, kun nousee suurempiin virtamääriin. Kennokeskuksia käytetään myös teollisuudessa nousu- ja alakeskuksina sekä moottorien ohjauskeskuksina. Kotelokeskuksia käytetään kiinteistökohteissa pää- ja nousukeskuksina. Teollisuudessa niitä käytetään tyypillisesti nousu-, ala-, ilmastointi- ja erikoiseskuksina. Kehikkokeskuksia käytetään kiinteistöissä pää-, nousu- ja ryhmäkeskuksina, mutta teollisuudessa niitä käytetään valaistus-, ilmastointi- ja erikoiseskuksina. (Poutala, 2018, ss. 27, 32, 35)

#### 4.3.1 Kennokeskus

Kennokeskukset (kuva 7) ovat useimmiten lattialla seisovia rakenteita ja niiden kotelointiluokka on yleensä IP31, mutta tiivistyksellä on mahdollista saavuttaa jopa IP55. Nimellisjännite on joko 400 tai 690 voltia ja nimellisvirran kesto voi kohota useisiin tuhansiin ampeereihin. Nimellisvirraltaan yli 1000 ampeerin keskukset on voitava työmaadoittaa standardin SFS 6002 mukaan. Työmaadoituksen helppo ja turvallinen toteutustapa on sijoittaa keskukseen erillinen maadoituskytkin. (Poutala, 2018, ss. 27-28)



KUVA 7. Kennokeskus (UTU Oy, 2012)

Kennokeskuksen runko kootaan sokkelirakenteen päälle modulaarisesti toisiinsa liitettävistä metalliosista. Osastointi tapahtuu kentillä ja kennoilla. Pystysuuntaisesti rajattuja tiloja kutsutaan kentiksi ja kenttää, joka on rajattu vaakasuuntaisesti, kutsutaan kennoksi. Kentässä voi olla yksi tai useampi



kenno ja kennojen väliset läpiviennit tehdään muovisten läpivientilaippojen kautta. Keskuksat varustetaan kennokohtaisilla saranaovilla. (Poutala, 2018, ss. 28-29)

Kennokeskuksen syöttökentän kanssa on pääkatkaisijan ohjauspaneeli ja kuormankytkimen kahva. Kannessa voi olla lisäksi jännite- ja virtamittarit kuormituksen seurantaan. Kennokeskuksen sisäinen sähkönjakelu tehdään alumiinisilla tai kuparisilla virtakiskoilla. Vaakasuuntaisia kiskoja syöttää syöttöyksikkö. Vaakasuuntaiset kiskot yhdistyvät ja haarautuvat pystykiskoihin, joista haaroitetaan joko johtimilla tai kiskoilla eri lähtöyksiköihin. Keskuksen rungosta muodostuu kojettilan taakse näille virtakiskoille oma erillinen syvyysuuntainen tila, joka voi muodostua yhdestä tai kahdesta osasta. Suurilla virroilla kokooja- ja haarakiskoille on omat syvyysuuntaiset tilansa. Suurien virtojen takia kennokeskusten kattorakenne on suunniteltu ja tehty niin, että valokaaripaine pääsee purkautumaan ulos keskukselta sen katon kautta. (Poutala, 2018, ss. 29-32)

#### 4.3.2 Kotelokeskus

Kotelokeskuksen (kuva 8) nimellisjännite on joko 400 tai 690 voltia ja yleisesti niitä valmistetaan 630 A asti. Kotelointiluokka näillä keskuksilla kotelointiluokka on yleensä IP44. On kuitenkin mahdollista saavuttaa perusratkaisuilla jopa IP55. Ulkonäöllisesti kotelokeskukset muistuttavat kennokeskuksia. Ne rajataan samalla tavalla pystysuuntaisesti kenttiin kuin kennokeskukset, mutta vaakasuuntaiset rajaukset kotelokeskuksissa toteutetaan yleensä muovisilla tippusuojuilla. Kentät ja tippusuojuat muodostavat kojekenttiä, joita kutsutaan koteloiksi. Kotelot johdotetaan takaseinää pitkin eri kenttien ja kotelojen välillä. Keskuksen syöttöyksikkö syöttää vaakasuuntaisia kokoojakiskoja ja sähkönjakelu tehdään alumiinisilla tai kuparisilla virtakiskoilla. Kotelokeskuksen syöttökentän kanssa on pääkatkaisijan ohjauspaneeli tai kuormankytkimen kahva. Keskuksen kannessa kennokeskuksen tapaan voi olla lisäksi jännite- ja virtamittarit. Keskuksen syöttöyksikkö syöttää vaakasuuntaisia kokoojakiskoja, jotka syöttävät lähtöyksiköitä. Näille kokoojakiskoille muodostuu oma erillinen tila keskuksen ylä- tai alapuolelle. (Poutala, 2018, ss. 32-34)



KUVA 8. Kotelokeskus (UTU Oy, s. a.)

### 4.3.3 Kehikkokeskus

Kehikkokeskukset (kuva 9) voidaan asentaa suoraan seinää vasten ruuveilla tai telineraudoilla. Jälkimmäistä vaihtoehtoa käytetään, jos kyseessä on raskas keskus. Kehikkokeskusten kotelointiluokka on yleensä IP20, mutta perusratkaisuilla on mahdollista saavuttaa IP30. (Poutala, 2018, s. 35)



KUVA 9. Kehikkokeskus (UTU Oy, 2012)

Kehikkokeskukset valmistetaan toisiinsa liitettävistä metalliosista. Metalliosia ovat pohja- ja päätylevyt sekä suojaovet tai -kannet. Kaikki komponentit ovat samassa tilassa, vaikka keskukseen muodostuu yksi tai useampi kenttä. Kenttiä ei ole osastoitu kenttä- tai kojekohtaisesti. Sähkönjakelu toteutetaan joko virtakiskoilla tai haaroitusaluustoilla. (Poutala, 2018, ss. 36-37)

## 5 SUOJAUS

Tässä luvussa tarkastellaan sähköverkon ja muuntajan erilaisia suoja- ja lisävarusteita. Sähköverkon erilaisia suojalaitteita tarkastellaan omana osiona ja muuntajan suoja- ja lisävarusteita omana osiona. Suojalaitteilla ja -varusteilla suojataan sähköverkon eri laitteita ja virtateitä.

### 5.1 Kiinteistön sähköverkon suojausrakenteita

#### 5.1.1 Sulakesuojaus

Suomessa sulakesuojauksen käyttö on pienentynyt viime vuosikymmenten aikana, mutta siitä huolimatta sulakesuojauksella on vahva asema. Sulakkeissa olevat kirjainmerkinnät kertovat sulakkeen katkaisualueen ja käyttöluokan. (Sähköinfo Oy, 2017, s. 7)

Teollisuudessa käytetään pääasiassa kahvasulakkeita, mutta tulppasulakkeita ja automaattisulakkeita käytetään joillakin pienillä johtolähdöillä ja huoltoverkossa. Sulakkeita käytetään yleensä vain pienjännitteellä, mutta niitä käytetään myös keskijännitteellä moottorien ja jakelumuuntajien suoja-laitteena. Kahvasulakkeiden etuja ovat edullinen hinta, turvallisuus, selektiivisyys ja hyvä virranrajoituskyky, jonka takia niitä käytetään pienjänniteverkossa. (Lyytikäinen, 2011, s. 44) Yleensä kahvasulakkeiden nimellisvirta ulottuu 630 A:iin asti, mutta niitä esiintyy myös 1000 A ja 1250 A saakka. Kahvasulakkeiden katkaisukyky riittää aina yli 20 kA ja kaikista yleisin katkaisukyky on 50 kA. (Sähköinfo Oy, 2017, s. 7)

#### 5.1.2 Relesuojaus

Suojareleet mittaavat suureita ja ne toimivat silloin, kun mitattavan suureen arvo ylittää tai alittaa asetetun arvon. Rele asetellaan jollekin halutulle toiminta-arvolle ja sen havahtuminen tapahtuu, kun asetettua toiminta-arvoa sivutaan. Tällöin rele antaa katkaisijalle laukaisuvirikkeen. Releen toiminta on hetkellinen, jos releen toiminta-aika ei sisällä tahallista hidastusta. Suojauksen toimintanopeuteen pystytään vaikuttamaan oikeanlaisen suojaustavan valinnalla. Suojauksen nopea toiminta vähentää vaaratekijöiden ja vahinkojen määrää sekä verkon termistä rasitusta. Oikosulun aiheuttaman jännitekuopan kesto jää sitä lyhyemmäksi, mitä nopeammin suojaus toimii. Tällöin alijännitteen aiheuttamat haitat muille verkon osille jäävät mahdollisimman pieniksi. Erilaisia suojareleitä on olemassa monenlaisiin eri käyttötarkoituksiin. (Lyytikäinen, 2011, s. 46)

Ylivirtareleen toiminta perustuu suojattavan kohteen vaihevirtojen mittaamiseen. Vikatapauksen sattuessa rele hälyttää, ohjaa katkaisijaa tai käynnistää ulkoiset jälleenkytkentätoiminnot, jotka riippuvat valitusta suojaustavasta. Ylivirtarele havahtuu, kun jonkin vaiheen virta ylittää asetellun virta-arvon. Ylivirtareleellä pystytään toteuttamaan ylikuormitussuojaus. Tärkeät komponentit eli esimerkiksi moottorit, generaattorit ja kaapelit suojataan integroivalla ylikuormitussuojalla. (Lyytikäinen, 2011, s. 46)

Toiminta-ajallisesti asetettava vakioaikaylivirtarele saadaan yhdistämällä ylivirta- ja aikarele. Tämän releen toiminta-aika ei riipu ylivirran suuruudesta, mutta käänteisaikaisena toimiessaan sen toiminta on sitä nopeampi, mitä suurempi virta. Porrastamalla releen toiminta-aikoja voidaan sillä toteuttaa säteittäisten verkkojen oikosulkusuojaus, jolloin suojauksesta saadaan selektiivinen. (Lyytikäinen, 2011, s. 47)

Pahin mahdollinen sähkökäyttöä tai sähkönjakelua kohtaava onnettomuus on kojeiston sisällä tapahtuva valokaarivaurio. Valokaarivaurio aiheuttaa suuria aineellisia vahinkoja ja vaaratilanteita huolto- ja käyttöhenkilöstölle. Valokaari-ilmiö syntyy, kun esimerkiksi likaa kertyy epäsuotuisiin paikkoihin ja se alkaa kehittämään johtavaa siltaa kahden vierekkäisen vaiheen välille. Valokaari-ilmiö synnyttää useiden tuhansien ampeerien suuruisen valokaaren lisäksi valtavan paineen. Kojestojen rakenteet pyritään tekemään niin, että valokaaren aiheuttamat vahingot jäävät mahdollisimman pieniksi. Valokaarireleet ovat kehitetty minimoimaan valokaaren kesto. Niiden antureilla pyritään havaitsemaan syntynyt valokaari ja katkaisemaan virtapiiri. (Lyytikäinen, 2011, s. 48)

### 5.1.3 Kytkimet ja katkaisijat

Kuormankytkintä tai tehokatkaisijaa käytetään keskuksen pääpiirin erottamiseksi ja luotettavan avausvälin aikaansaamiseksi. Kuormankytkintä käytettäessä keskuksen oikosulkusuojaus toteutetaan käyttämällä apuna erillistä relettä. Erillisen releen käyttö mahdollistaa myös kiskosillan tai keskuksen syöttökaapelien suojauksen, jos virtamuuntajat sijoitetaan heti muuntajan toisiokäämien jälkeen. Tehokatkaisija voi olla tyypiltään kompaktikatkaisija tai vaihtoehtoisesti vaunurakenteinen ilmakatkaisija. Tehokatkaisijalla voidaan toteuttaa ylivirtalaukaisu, oikosulkusuojaus ja katkaisijan kauko-ohjaus. (Lyytikäinen, 2011, s. 49)

Kuormankytkintä voidaan käyttää keskuksen pääkytkimenä, kiskostojen ja kaapeleiden erotuskytkimenä sekä eri laitteiden erotuskytkimenä. Kuormankytkimet soveltuvat myös turvakytkimiksi, jos halutaan estää laitteen odottamaton käynnistyminen. Kuormankytkimet kestävät virtapiirin kytkentä ja katkaisutapahtumien virrat sekä ne pystyvät johtamaan jonkin aikaa oikosulkuvirtoja. (Lyytikäinen, 2011)

Katkaisijat edustavat niin sanottua sulakkeetonta suojausta. Teollisuudessa niitä käytetään eri laitteiden suojaamiseen ja virtapiirien avaamiseen ja sulkemiseen. Katkaisijat ovat mekaanisia kytkinlaitteita ja ne ovat rakenteeltaan kennosta irrotettavia, keskuksen kennosta ulosvedettäviä tai kiinteästi kennoon asennettuja. Katkaisutapahtumassa katkaisijan koskettimien väliin syntyy valokaari, jonka täytyy sammua nopeasti, että katkaisijan suojaamat laitteet eivät altistu dynaamiselle ja termiselle rasitukselle. Ilmakatkaisijan koskettimet sijaitsevat vapaassa tilassa, jossa on normaali ilmanpaine ja ne on eristetty ympäristöstä valokaarisuojauksella. Ilmakatkaisijan avaus ja sulkeminen toteutetaan jousivoimalla, joka viritetään käsin tai moottorivoimalla. Jousen avaaminen ja sulkeminen tehdään katkaisijan painonapeilla tai kauko-ohjatusti. Kompaktikatkaisija on kiinteärakenteinen, katkaisijarun-

gosta ja siihen valittavasta suojareleestä muodostuva valettu kotelo. Kompaktikatkaisijaan on saatavilla erilaisia lisävarusteita, joita ovat muun muassa alijännitekela, vikavirtasuojakytkin ja moottorinohjain. (Lyytikäinen, 2011, s. 50)

Kompaktikatkaisijaa käytetään esimerkiksi kiskoston tai kaapelin suojana, pienempien keskusten pääkytkimenä ja erilaisten laitteiden, kuten esimerkiksi moottorien ja muuntajien suojauksessa. Ilmakatkaisijaa käytetään myös kiskostojen, kaapelien ja keskusten suojauksessa sekä lisäksi isojen moottorien kytkennässä ja suojauksessa. Kompaktikatkaisijoita käytetään lähes aina, kun virta on 630 A tai alle. Lisäksi 800–1600 A:n kompaktikatkaisijoita käytetään esimerkiksi liikekiinteistöjen pääkytkiminä ja alakeskuslähdeissä, joissa käyttökertoja tulee vähemmän. Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta kaikki suuremmat ovat ilmakatkaisijoita. Ilmakatkaisijoita suositellaan käytettäväksi pääkytkiminä tärkeissä kohteissa, kuten esimerkiksi suurissa liikekiinteistöissä ja teollisuudessa sekä yleisesti kohteissa, joissa käytetään kauko-ohjausta tai käyttökertoja tulee paljon. Ilmakatkaisijat kestävät kompaktikatkaisijoita paremmin laukaisujen hidastuksia, ovat monipuolisemmin varusteltavia ja mekaanisesti kestävämpiä. (Sähköinfo Oy, 2015)

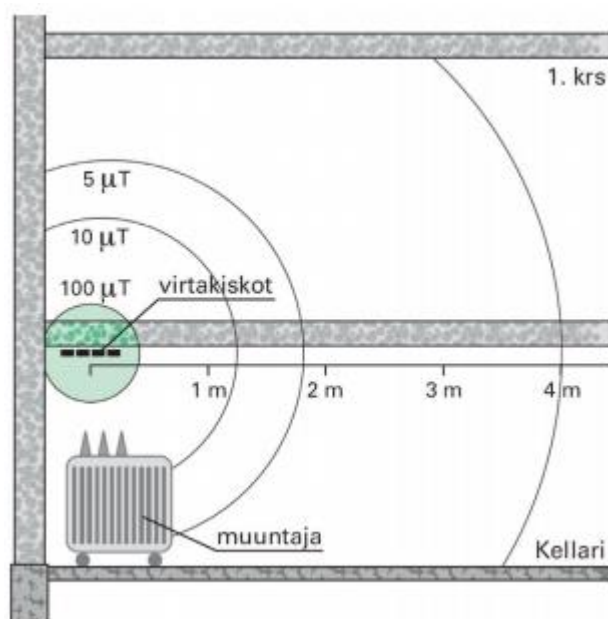
## 5.2 Muuntajan suojalaitteita ja lisävarusteita

Muuntaja voidaan suojata monenlaisilla laitteilla ja varustaa erilaisilla lisävarusteilla. Ylijännitesuoja suojaa muuntajaa jännitepiikeiltä, joita esimerkiksi salaman isku voi aiheuttaa. Ylijännitesuojia ovat metallioksidisuojat ja kipinäventtiilit. Paisuntasäiliöllä varmistetaan, että muuntajan öljytilassa on tarpeeksi öljyä. Kaasureleen tehtävä on toimia öljyeristeisen muuntajan suojana tilanteessa, jossa muuntajan sisällä esiintyy vikoja. Muuntajan sisäisiä vikoja voivat olla purkaus- ja valokaari-ilmiöt, ylikuumeneminen sekä sisäiset oikosulut. Käämikytkimen suojarele suojaa käämikytkintä vaurioitumiselta. Öljyn lämpötilamittari mittaa muuntajaöljyn lämpötilaa. Tavallisesti öljyn lämpötilamittari sisältää aseteltavat hälytys- ja laukaisukoskettimet. Öljynkorkeuden osoitin näyttää öljyn pinnan korkeuden paisuntasäiliössä. Se sijoitetaan paisuntasäiliön pätyyn. Suurissa muuntajissa öljynkorkeuden osoitin on varustettu ylä- ja alarajan hälytyskoskettimilla, jolloin liian matalasta tai korkeasta öljyn pinnan korkeudesta saadaan hälytys. (Lyytikäinen, 2011, ss. 30-31)

Ilmankuivain estää kosteuden pääsyn muuntajaöljyn sekaan keräämällä kosteuden itseensä, kun muuntaja imee ilmaa itseensä öljyn pinnankorkeuden vaihtelun takia. Muuntajan ylipaineventtiili estää paineen nousun muuntajan säiliössä liian suureksi, jos muuntaja vaurioituu. Ylipaineventtiilin avulla painetta pystytään laskemaan hallitusti. (Lyytikäinen, 2011, ss. 30-31)

## 6 SÄHKÖMAGNEETTISET HÄIRIÖT

Kiinteistömuuntamon suurimmat häiriön lähteet ovat virtakiskot ja kaapelit muuntajalta pj-keskukseen, muuntaja, keskijännitekojeisto, epäsymmetrinen kuormitus ja pitkä etäisyys muuntajalta pj-keskukseen. Kiinteistömuuntamon aiheuttamat sähkömagneettiset häiriöt täytyy ottaa huomioon erityisesti silloin, kun suunnitellaan uutta kiinteistömuuntamoita rakennukseen, jossa on vakituista asutusta. (Rinkinen, 2010, s. 7) Kun ryhdytään tekemään muutostöitä jo olemassa olevaan asuinrakennuksessa sijaitsevaan muuntamoon, täytyy silloinkin kiinnittää huomiota sähkömagneettisiin häiriöihin. Tehdyt muutokset päävirtapiirien rakenteissa eivät saa lisätä sähkömagneettisia häiriöitä niin, että ne ylittävät asetuksissa määritellyt suositellut sähkömagneettiset arvot.



KUVA 10. Kiinteistömuuntamon synnyttämät magneettikentät muuntamon yläpuolella olevassa tilassa (Sähköinfo Oy, 2018, s. 68)

Mittaamalla varmistetaan magneettikenttien voimakkuuksista. Tärkein tavoite mittaamiselle on selvittää, millä tavalla magneettikentästä aiheutuva altistuminen suhteutuu asetuksen suositusarvoihin. Lisäksi suoritetaan lisämittauksia asukkaille, jos magneettikentät huolettavat tai, jos halutaan selvittää laitteiden häiriöiden syitä. Käytännön oloissa altistumista ei voida määrittellä tarkasti, joten on tyydyttävä yksinkertaisempaan menettelytapaan. Se kuitenkin varmistaa, ettei suositusarvoja todennäköisesti ylitetä. Magneettikentän mittaukset kannattaa suorittaa ajankohtana, jolloin muuntaja on vähintään normaalikuormitettuna. Mittaamiseen sopii painottamattoman tehollisarvon mittari tai painotetun huippuarvon mittari. (Sähköinfo Oy, 2018, s. 71)

Ennen mittauksia hankitaan tekniset perustiedot mittauskohteesta. Näiden tietojen perusteella arvioidaan, ovatko mittaukset tarpeellisia. Kaikista tärkein tieto on muuntamon sijainti rakennuksessa. Lisäselvityksiä ei tarvita, jos muuntamotilaan ei rajoitu asuntoja tai asuntoihin rinnastettavia tiloja, tai kun muuntaja ja pienjännitekeskus on yhdistetty lattiaa pitkin asennetuilla kaapeleilla. Muunta-

mon teknisten tietojen perusteella arvioidaan laskennallisesti magneettikenttien voimakkuuksia vierisissä asunnoissa, joiden perusteella arvioidaan, tarvitaanko tehdä tarkempia kartoitusmittauksia. Kartoitusmittaus tehdään, jos tekninen selvitys osoittaa mittaamisen tarpeelliseksi. Käytännössä suoritetaan yksi tai muutama yksinkertainen magneettikentän mittaus, jotta saadaan karkea kuva kentän tasosta. Mittaukset tehdään huoneessa tai huoneissa, jotka ovat kaikkein lähimpänä muuntajan virtateitä. Painotetun huippuarvon ollessa korkeintaan  $140 \mu T_p$ , tarkempiin mittauksiin ei ole tarvetta. Jos arvot toisaalta ylittyvät, tehdään varmistusmittaukset. Varmistusmittauksissa määritetään tarkasti löytyneen maksimiarvon sijainti ja tulos skaalataan maksimikuormalle muuntamolta saatavien virtatietojen avulla. Magneettikentän mittauksella on tarkoitus varmistaa, että sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (294/2002) esitettyjä suositusarvoja ei ylitetä asuinhuoneissa tai niihin verrattavissa tiloissa. Tavallista voimakkaammat magneettikentät voivat ilmetä erilaisina laitehäiriöinä. Tavanomaisin laitehäiriö havaitaan tietokoneen näytöllä kuvan vääristymisenä. (Sähköinfo Oy, 2018, ss. 67, 71-73)

Muuntamon aiheuttamia häiriöitä saadaan vähennettyä pidentämällä etäisyyttä häiriölähteeseen, käyttämällä pienempiä vaihevälejä, lyhentämällä muuntajan ja pj-keskuksen etäisyyttä toisistaan, asentamalla virtatiet lattiaan katon sijasta, tasaamalla vaihekuormat symmetrisiksi, suojaamalla kiskosilta ja muuntamo, suodattamalla kolmas yliaalto muuntamossa ja käyttämällä tehdasvalmisteisia matalakenttäisiä muuntamoratkaisuja. (Sähköinfo Oy, 2018, s. 69) Lisäksi kannattaa käyttää suurjännitekojeistoissa hyvin koteloitua ja pienikokoista tekniikkaa, suljetulla metallisella säiliöllä varustettuja eristysnestettä O1 sisältäviä öljymuuntajia sekä käyttää muuntajan syöttökaapelina HXCMK-tyyppisiä kaapeleita ja niputtamalla ne aina kolmioon mahdollisuuksien mukaan (Sähköinfo Oy, 2018, s. 16).

Nykyaikaiset muuntamot aiheuttavat todella vähän hajamagneettikenttiä verrattuna vanhoihin muuntamoihin. On olemassa valmiita muuntamorakenteita, joissa magneettikentät ovat minimoitu. Käytännön häiriötilanteissa kannattaa ensiksi mitata magneettikenttä ja selvittää häiriön lähde. Syytä on yleensä lähellä häiriöitynyttä laitetta ja pienjännitejohtimien aiheuttamaa. Häiriön aiheuttaja on luultavasti helppo poistaa tai sen rakennetta tai sijoitusta voidaan muuttaa. Yllättäviä häiriöitä aiheuttavat nollausten aiheuttamat harhavirrat. Nollavirtoja löytyy putkistoista ja esimerkiksi rakennuksen ulkopuolella olevista sadevesiränneistä. (Sähköinfo Oy, 2018, s. 16)

## 7 UUDEN TEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN

Tässä kappaleessa tutkitaan erilaisia uuden teknologian tuomia mahdollisuuksia, joita voidaan hyödyntää kiinteistöjen päävirtapiirien suunnitteluprosessissa. Tarkastelussa on erilaisia mallinnukseen soveltuvia laitteita, joita voidaan hyödyntää kohteen alkukartoituskäynnillä. Tarkastelussa on myös joitakin hankkeita, joissa on hyödynnetty näitä tarkastelussa olevia laitteita ja ohjelmia sekä hanketta, jossa kokeiltiin uutta teknologiaa asennuksen aikana.

Tietolähteenä tässä osiossa käytettiin internetiä. Tietoa on saatu muun muassa erilaisten loppuutöiden raporteista ja laitevalmistajien sivuilta. Lisäksi tutkittiin erilaisia KIRA-digin kokeiluhankkeita eli kiinteistö- ja rakentamisalan digitalisaatiohankkeita.

### 7.1 Kohteen mallinnus alkukartoitus käynnillä

Koko suunnitteluprosessin kannalta parhaaseen tilanteeseen päästään mallintamalla kohde kolmiulotteiseksi kartoituskäynnin ohella. Tällöin saadaan laajempi ja tarkempi kokonaiskuva kohteesta, jonka avulla pystytään huomaamaan ja ratkaisemaan sekä tekniset, että asennusvaiheen ongelmat jo suunnitteluvaiheessa. Lisäksi suunnitelmia tehtäessä voidaan mitata korkotietoja ja etäisyyksiä, jolloin voidaan tarkastaa esimerkiksi virtateiden oikea reitti, jossa ne mahtuvat kulkemaan. Tällöin säästytään ylimääräisiltä kohteesta käymisiltä, kun voidaan tarkastella kohdetta toimistosta käsin. Suurimpia kysymyksiä ovat 3D-mallintamiseen liittyen:

- Kuinka helppoa on tehdä 3D-mallinnus?
- Kuinka paljon aikaa kuvaamiseen ja skannaamiseen kuluu?
- Paljonko laitteet maksavat ja maksavatko ne itsensä takaisin eli onko mallintaminen kannattavaa?
- Mikä on riittävä 3D-mittalaitteen mittaustarkkuus?
- Mikä on mittalaitteen tuottama tiedostomuoto ja onko se yhteensopiva käytettyjen ohjelmien kanssa?
- Kuvamateriaalin prosessoinnin vaativuus ja siihen kuluva aika?

Kolmiulotteisen mallinnuksen toteuttamiseen on joitakin vaihtoehtoja. Perinteisin tapa on tuottaa 3D-malli fotogrammetrisin menetelmin 2D-valokuvista. Kuvien ottaminen on helppoa ja vaivatonta, mutta kuvien prosessoiminen vaatii asiantuntemusta, että saadaan kolmiulotteista tilatietoa. (Tähtinen, 2015, s. 9)

Toinen tapa on laserkeilaus, jossa mitattavasta kohteesta mitataan laserkeilaimella pistepilvi (Joala, 2016, s. 3). Laserkeilaimen etuina ovat tarkkuus, nopeus ja turvallisuus. Kolmiulotteisesta pistepilvestä voidaan mallintaa kolmiulotteisia malleja eri ohjelmien avulla. Laserkeilaukseen liittyy kuitenkin myös ongelmia. Rakennuksen sisätiloja keilattaessa on otettava useita keilauksia, ettei synny niin sanottuja sokeita pisteitä, joista ei ole ollenkaan mittaustietoa. Painavaa laserkeilainta on hankala siirrellä mittauspisteeltä toiselle ja ahtaat paikat ovat ongelmallisia. Laserkeilauksen esivalmisteluihin kuuluva koordinaatiston määrittäminen ja tähysmerkkien mittaaminen vievät aikaa. (Ala-Outinen, 2017, ss. 4-5)



Syvyyskamerat ovat viime vuosina alkaneet yleistyä kuluttajamarkkinoilla ja niillä on potentiaalia 3D-mallinnuksessa. Kameroita, jotka tuottavat värikuvia ja tallentavat syvyystietoa, kutsutaan RGB-D-kameroiksi. (Tähtinen, 2015, ss. 20-21) Esimerkkinä tällaisesta kamerasta on Matterportin 3D-kamerat. Toinen mielenkiintoisista tekniikoista on laserkeilauksen ja fotogrammetrisen mallinnuksen yhdistyminen, joita voidaan hyödyntää 3D-mallinnuksessa. Tässä tekniikassa käytetään hyväksi laserkeilauksen tarkkuutta ja samalla saadaan korkealaatuista kuvamateriaalia kohteesta. Tästä esimerkkinä Leica BLK360-laserkeilain. (Ala-Outinen, 2017, ss. 35-36)

### 7.1.1 Mallinnukseen soveltuvia laitteita

Matterport Pro2 3D -kamera (kuva 11) on niin sanottu RGB-D-kamera. Se tuottaa värikuvia, tallentaa syvyystietoa ja sitä operoidaan iPadin avulla. Laite ei tarvitse erillisiä tähysmerkkejä, vaan se osaa määrittää sijaintinsa ympäristön mukaan. Työn tulosta voidaan tarkastella iPadin näytöltä jo kohteessa eli nähdään, mistä ei olla vielä kuvattu ja saadaan kokonaisvaltainen kuva koko kohteesta. Maksimi kuvausetäisyys, joka ilmoitetaan valmistajan sivuilla, on 4,5 metriä. Akku kestää 8 tuntia kuvaamista ja sen lataaminen kestää 4,5 tuntia. Kuvattu materiaali ladataan Matterportin omaan pilvipalveluun, jossa materiaali prosessoidaan ja sidotaan yhteen automaattisesti. Tuloksena saadaan kohteesta yhtenäinen kuva-aineisto, jonka sisällä päästään navigoimaan ja tekemään mitauksia. Lisäksi kuvamateriaalin sisällä voidaan lisätä ”Matter-tägejä” eli merkkauksia eri kohtiin, joissa voi olla kuvia, tekstiä tai videoita. Lisäksi kohteesta saadaan pohjakuva ja ”nukkekotinäkymä, jossa päästään tarkastelemaan kuvattua kohdetta 3D-kokonaisuutena ulkopuolelta. Kameraa pitää kokeilla käytännössä, että tiedetään, onko se hyödyllinen työkalu ja hintansa arvoinen. Hintaa sillä on 3180 €. Lisäksi pilvipalvelusta pitää maksaa kuukausimaksua ja pilvestä ladatuista materiaaleista lisämaksuja. (Matterport, Inc., 2020; Geotrim Oy, 2017)



KUVA 11. Matterport Pro2 3D -kamera (Matterport, Inc., 2020)

Leica BLK360-skannerissa (kuva 12) yhdistyy laserskannaus ja värillisten panoraamakuvien otto, jotka on limitetty tarkkaan pistepilveen. Laitteen pieni koko ja keveys ovat etuina tavallisiin laserskannereihin nähden. BLK360 painaa vain yhden kilon ja on 20 senttimetriä korkea. BLK360 on huomattavasti kalliimpi, kuin esimerkiksi Matterportin kamera. Se maksaa 18 500 \$. Mittausalue on 0,6 metristä 60 metriin. IP-luokka on 54. Matterportin kameran tavoin tätä laitetta ohjataan iPadin avulla. Skanneri välittää kuvia ja pistepilvidataa iPadiin mobiilisovellusten (Leica Cyclone REGISTER 360 ja Autodesk ReCap Pro) avulla tai lopulliset projektitiedot langattomasti Cyclone REGISTER 360 -ratkaisuun. Näillä edellä mainituilla ohjelmilla prosessoidaan pistepilvidataa ja yhdistetään eri mittauksia yhteen, että saadaan yhtenäinen kuva kohteesta. Molemmat ohjelmat ovat maksullisia. ReCap Pro-ohjelma kustantaa 30–50 € kuukaudessa riippuen paketista ja Leica Cyclone REGISTER 360 maksaa 2200 \$ vuodessa tai vaihtoehtoisesti pysyvä lisenssi maksaa 4800 \$. (Leica Geosystems AG, 2020)



KUVA 12. Leica BLK360 (Leica Geosystems AG, 2020)

SLAM-teknologiaa hyödyntävät skannerit osaavat paikantaa sijaintinsa havainnoimalla ja mittaamalla ympäristöään (Saarimäki, 2015). GeoSLAMin käsiskanneri ZEB-HORIZON (kuva 13) on esimerkki SLAM-teknologiaa eli "simultaneous localization and mapping" käyttävästä laserkeilaimesta. ZEB-HORIZON on käsiskanneri, jota on helppo liikutella ja käyttää kevyen painonsa ja pienen kokonsa ansiosta. Painoa skannerilla on 3,7 kiloa ja mittaustarkkuus vaihtelee 1–3 senttimetrin paikkeilla riippuen kuvattavasta ympäristöstä. Kantamaa laitteelle luvataan 100 metriä. (GeoSLAM, 2020)



KUVA 13. GeoSLAM ZEB-HORIZON käsiskanneri (Geotrim Oy, 2020)

### 7.1.2 KIRA-digi mallinnushankkeita

KIRA-digihanke "Ketterä menetelmä rakennuksen mallintamiseksi" tutki SLAM (simultaneous localization and mapping) -keilauksen mahdollisuuksia kohteen mallintamiseen. SLAM-järjestelmät ovat nopeampia, kuin perinteiset laserkeilaukset, mutta mittausdata on epätarkempaa ja epäluotettavampaa. Hankkeessa oli tavoitteena kehittää ja testata uutta työprosessia, jossa yhdistyy nopea mittaus kentällä, lähes reaaliaikainen mallinnus ja mittaustyön ohjaus mallin kehittyessä. Kehitteillä olevassa työprosessissa siirrettiin jatkuvasti mittausdataa mallintajan työasemalle. Mallintaja luo mallia sitä mukaa, kun saa mittausdataa ja antaa ohjeita mittaajalle tämän ollessa kohteella. Mittaaja tekee tarpeen mukaan uusintamittauksia tai yksityiskohtaisempia mittauksia, kunnes malli on eheä ja täyttää tarkkuusvaatimukset. Hankkeen tuloksena mittausdatasta luotiin laatuvaatimukset täyttävä malli, mutta työprosessia pitää hankkeen loppuraportin mukaan kehittää. (KVA Arkkitehdit Oy; e mittaus/Myymore Oy, 2019) Monimutkaisissa ja miksei pienimmissäkin kohteissa tätä voi hyödyntää päävirtapiirien muutostöiden suunnitteluprosessissa. Alkukartoituksen yhteydessä tehtävä mallinnus saadaan aina varmasti riittäväksi, koska mallia syntyy kohteesta melkein sitä mukaa, kun saadaan keilausmateriaalia. Puutteelliset kohdat kuvamateriaalin osalta huomataan hyvissä ajoin ja ne saadaan kuvattua uudestaan.

Leican BLK360 laserkeilaimesta on tehty kokeiluhanke, jonka toteutti Skanska Oy. Hankkeen tavoitteena oli tutkia ja selvittää fotogrammetrian ja laserskannauksen mahdollisuudet suunnittelumallin luomisessa. Painopiste oli kustannustehokkuudessa, jonka takia hankkeessa hyödynnettiin suhteellisen edullista ja pienikokoista Leica BLK360 lidaria. LiDAR (light detection and ranging) on optinen tutka, joka toimii näkyvän valon, lähi-infran tai ultravioletin alueella. Lidaria käytetään etäisyyden

mittaamiseen. Hankkeessa valittiin erilaisia haastavia kuvauskohteita olympiastadionista, joka oli valittu hankkeen kohteeksi. Kohteesta haluttiin taltioida muun muassa LVI- sekä sähkökomponenttien läpivientejä. Tarkasteltavat tilat kuvattiin useaan kertaan läpi ja saadut tietomallit sekä kuvausaineisto koottiin samaan yhdistelmämalliin analysointia varten. Kuvat yhdisteltiin Faron-ohjelmalla. Analysoinnissa käytettiin ClearEdgen Verity-ohjelmistoa. Kokeiluhanke miellettiin omalla tavallaan onnistuneeksi. Kokeilun tuloksena saatiin kerättyä kattavasti korkeatasoista kuvausmateriaalia, mikä vastasi laatuvaatimuksia. Ratkaisu osoittautui kuitenkin hyödynnettävyyden suhteen kustannustehotomaksi. Kuvausaineiston käsittely ja kuvauksien yhdisteleminen on aikaa vievää ja raskasta. Nykyiset menetelmät vaativat liikaa manuaalista työtä. Hankkeessa käytetty Leican laite osoittautui todella tarkaksi, joten sen mittaustarkkuus riittää myös päävirtapiirien mallintamiseen. (Velinov & Nagy, 2019) Leican BLK360 vaikuttaa tarkkuuden perusteella tämän hankkeen myötä hyvältä laitteelta, mutta kuvausmateriaalin prosessointi ja yhdisteleminen osoittautuivat aivan liian aikaa vieväksi ja työlääksi. Kuvausmateriaalin prosessoinnin työmäärä voi johtua käytetystä kuvien yhdistelyohjelmasta, mutta siitä ei voida sanoa varmaa tietoa, koska hankkeen loppuraportissa ei siitä ole paljoa mainittu. On mahdollista, että jollain muulla ohjelmalla kuvien käsittely on sujuvampaa. Esimerkiksi Leican omilla sovelluksilla materiaalin käsittely voi olla helpompaa. Leican oma ohjelma Cyclone FIELD 360 mahdollistaa pistepilven tarkastelun ja niiden alustavan yhdistämisen jo työmaalla, joka vähentää lopullista työtä konttorilla. Cyclone REGISTER 360 -ohjelmalla pystytään tekemään lopullista pistepilvimateriaalien yhdistelyä.

## 7.2 NykYTEknologian hyödyntäminen asennuksen aikana

Fira Oy ja Sweco Rakennetekniikka Oy tekivät kokeiluhankkeen 2017–2018, jossa kokeiltiin tiedon välittämistä rakennustyömaalla työskenteleville reaaliaikaisesti lisättyä todellisuutta apuna käyttäen. Sweco toteutti valitusta tilasta tietomallin, jonka päälle VTT toteutti kohteen lisätyn todellisuuden ja sijaistiin perustuvan palvelun. Tietomalli antoi eri rakennustyömaan työntekijöille eri näkymän riippuen tehtäväalueesta. Tiedot olivat saatavilla puhelimeen ja niitä testattiin tabletilla. Hankkeen tavoitteena oli testata käytännössä mallia, jossa työmaan työntekijät saavat oman työalueensa mukaan oleellista tietoa työmaalle lisätyn todellisuuden avulla reaaliajassa. Tavoitteena oli myös kokeilla tietomallin tuomista prosessin päästä päähän, eli suunnittelusta asentajalle. Lisäksi haluttiin saada selville, mitä se vaatii sekä saada palautetta jatkokehitystä ajatellen. Tuloksista käy ilmi, että tällaisille työkaluille ja ratkaisuille on kysyntää työmailla, vaikka kokeilun aikainen malli ei ollut soveltuva vielä jokapäiväiseen työhön. Kokeilu toi esiin, että on hankalaa toteuttaa visuaalisesti ja teknisesti käyttökelpoinen tietomalli kännykkälaitteelle. (Haavisto & Alhava, 2018)

Tästä mallista olisi hyötyä kiinteistöjen päävirtapiirien suunnitteluprosessissa. Työmaalla ilmenevät ongelmat suunnitelmissa voidaan korjata internetin välityksellä vastaavan suunnittelijan toimesta ilman, että suunnittelija tulee työmaalle. Tällöin voidaan kertoa ongelma suunnittelijalle ja suunnittelija voi korjata tai tehdä vaihtoehtoisen ratkaisun suunnitelmiin, jotka päivittyvät asentajien mobiililaitteille. Näin saadaan päivitettyt ja korjatut asennussuunnitelmat asentajille tuossa tuokiossa ilman suurempaa pään vaivaa. Täytyy tietenkin selvittää, onko mallia kehitetty ja saatu toimivammaksi

viime kerrasta, kun kokeiluhanke lopetettiin vuonna 2018. Tulevaisuudessa voidaan harkita tällaisen apuvälineen käyttöä, kun se on kehitetty toimivammaksi.

## 8 SUUNNITTELUPROSESSI

Tässä luvussa käsitellään kiinteistöjen päävirtapiirien suunnitteluprosessin kulkua, ja mitä asioita eri kohdissa tulee ottaa huomioon. Kuvassa 14 on havainnollistettu suunnitteluprosessi. Suunnitteluprosessissa lähdetään etenemään lähtötietojen keruusta ja prosessi päättyy dokumenttien päivytykseen työmaan ollessa valmis.



KUVA 14. Suunnitteluprosessin kulku (Ratilainen, 2020)

## 8.1 Lähtötiedot

Asiakkaan yhteydenoton jälkeen on selvinnyt asiakkaan tarpeet ja toiveet muutostyötä koskien. Asiakkaan intressien lisäksi selvitetään tietoja, joita tarvitaan sujuvan suunnitteluprosessin toteuttamiseen. Selvitetään, minkälainen kohde on kyseessä. Kohteesta pyydetään perustietoja ja sähköpiirustuksia asiakkaalta ja kiinteistön haltijalta. Kohteesta halutaan saada selville minimissään tasopiirustukset muuntamo- ja keskustiloista. Dokumentit voivat olla sähköisessä tai paperisessa muodossa, mutta ensisijaisesti ne halutaan saada sähköiseen muotoon (esimerkiksi dwg-tiedostomuotona). Sähköiset kuvat edistävät suunnittelua ja sitä kautta myös asennusta. Kunnolliset kuvat ovat edellytys laadukkaille suunnitelmille ja tehokkaalle suunnittelulle. Paperiset kuvat hidastavat ja hankaloittavat koko suunnitteluprosessia. Paperikuvat voidaan muuttaa sähköiseen muotoon, mutta se vie aikaa ja tuo lisätyötä. Dokumentit saadaan sähköiseen muotoon skannaamalla. Kuvat pystytään skannauksen jälkeen tuomaan PDF-tiedostona CADSiin (suunnitteluohjelmaan) viitekuvaksi, jonka päälle voidaan tehdä suunnitelmia. Kohteesta haluttavia perustietoja ovat muuntajan kilpiarvot, pääkeskuksen kilpiarvot ja pääkatkaisijan tiedot, muuntajan ja pääkeskuksen välisen virtatien pituus ja laatu sekä kiinteistön tehon kulutus ja sähkön laatu. Lisäksi verkkoyhtiöltä halutaan saada selville

liittymän keskijännitepuolen oikosulku- ja maasulkuvirrat. Nämä tiedot pyritään selvittämään viimeistään kartoituskäynnillä.

Samalla voidaan jo hieman etukäteen kysellä asiakkaalta, onko kiinteistölle tiedossa jotain tulevaisuuden laajennussuunnitelmia tilatun muutostyön lisäksi. Nämä työt on mahdollista sovittaa samaan projektiin. Tällä tavoin säästetään aikaa ja rahaa eri osa-alueilla.

### 8.1.1 Kuvan kolmiulotteinen tarkastelu

Kiinteistön kolmiulotteinen tarkastelu kohteesta on mahdollista, jos kiinteistöstä löytyy CAD-pohjaiset arkkitehti- tai sähköpiirustukset. Kolmiulotteinen tarkastelu onnistuu esimerkiksi joko CADSissä tai Tekla BIMsight:ssa. Aina ei arkkitehtikuvia kiinteistöstä ole saatavilla. Tällöin piirustusten kolmiulotteista tarkastelua ei voida toteuttaa yksinkertaisesti. Kolmiulotteinen malli voidaan kuitenkin toteuttaa kartoituskäynnin yhteydessä käyttämällä luvun 7 uutta teknologiaa.

Kolmiulotteista tarkastelua voidaan esimerkiksi toteuttaa tilanteessa, jossa kohteesta on käytettävissä valmiit arkkitehtikuvat sähköisessä muodossa. Tarkastelu onnistuu CADSin tasopiirustussovelluksessa, jossa aluksi generoidaan komponentit 3D-malleiksi. Tämän jälkeen on mahdollista tarkastella kohdetta kolmiulotteisesti.

Kolmiulotteista tarkastelua voidaan suorittaa myös muilla sovelluksilla kuin CADSillä. Esimerkiksi Tekla BIMsight on kätevä sovellus ja CADSistä saa suoraan muunnettua valmiit piirustukset oikeaan tiedostomuotoon (IFC) Tekla BIMsightille sopivaksi. Tarkastelu tässä ohjelmassa on sujuvampaa, kuin CADSissä ja siinä on joitakin käteviä toimintoja, joita CADSissä ei ole. Esimerkiksi etäisyyksien mittaaminen 3D-tarkastelussa on kätevä työkalu. CADS-suunnitelman vieminen IFC-malliksi onnistuu nopeasti CADSin 3D-toimintojen avulla "Vie IFC-tiedostoon" -komennon kautta.

## 8.2 Alkukartoitus

Alkukartoituksen yhteydessä selvitetään kaikki oleelliset tiedot kohteesta, jotka eivät tulleet ilmi lähtötietojen keruussa. Muuntajan ja pääkeskuksen kilpiarvot tarkastetaan sekä mitataan ja varmistetaan niiden välissä olevien virtateiden pituus ja laatu. Pääkeskuksen oikosulkuvirrankesto sekä sen pääkatkaisijan releasettelut ja katkaisukyvyt selvitetään. Kiinteistön tehon kulutus ja sähkön laatu selvitetään mittaamalla, jos ei ole muuta vaihtoehtoa. Tilojen paloluokat ja läpiviennit selvitetään. Ilmanvaihtokoneen jäähdytysteho tarkastetaan. Kohde kannattaa valokuvata kartoituskäynnin ohella, tai jos on päätetty mallintaa kohde, suoritetaan kohteen mallinnus valitulla laitteella. Täytyy muistaa, että näiden tietojen avulla täytyy pystyä tekemään määrämuotoinen dokumentaatio, joka välitetään suunnitteluun. Kartoituskäynnin tietojen huolellinen dokumentointi on tärkeää, koska se edistää suunnittelutyötä. Huolellinen dokumentaatio vähentää väärinkäsityksiä ja tekee suunnittelu-prosessista sujuvan.

Kohteen sähkölaitteiston käytönjohtajalla on velvollisuus huolehtia tai valvoa oman ja sähkölaitteiston omistajan puolesta asioita, jotka on syytä ottaa huomioon. Käytönjohtajalla on velvollisuus huolehtia tai valvoa sähköturvallisuuslain 1135 nojalla, että:

- säädösten edellyttämät käyttöönotto- ja varmennustarkastukset tehdään
- sähkölaitteiston kuntoa valvotaan
- huomatu viat ja puutteet poistetaan riittävän nopeasti
- käyttötöitä ja niihin rinnastettavia töitä tekevät ja valvovat henkilöt ovat riittävän kelpoisia tai ammattitaitoisia sekä opastettuja tehtäviinsä
- sähkölaitteiston käyttö on turvallista
- laitteiston haltijalle luovutetaan tarkastuspöytäkirjat ja havaitut puutteet korjataan
- laitteiston haltijan velvoitteisiin kuuluvat ilmoitukset tehdään
- tarvittavat välineet, kaaviot, piirustukset ja ohjeet sähkölaitteiston käyttöön ovat käytettävissä ja ajan tasalla. (Tukes, s. a.)

Kohteen tiedot käydään läpi asiakkaan ja käytönjohtajan kanssa sekä selvitetään kiinteistön mahdollisia tulevaisuuden näkymiä, kuten esimerkiksi laajennuksia. Kiinteistöön suunniteltu laajennus tarkoittaa suurempaa tehon kulutusta. Tällöin täytyy tutkia, kestäkö järjestelmä laajennuksen aiheuttaman tehon kasvun. Jos kiinteistön päävirtapiirin osiin ei ole jätetty laajennusvaraa riittävästi tai ollenkaan, täytyy niitä uusia tai vahvistaa. Tässä tapauksessa kysytään asiakkaalta, onko halua tehdä päävirtapiirien muutostöiden yhteydessä muitakin muutostöitä. Esimerkiksi muiden muutostöiden lisäksi voidaan vahvistaa muuntajan ja pienjännitekeskuksen välisiä virtateitä. Kohteesta olemassa olevien dokumenttien ajantasaisuus tarkastetaan.

Paikan päällä kohteessa voidaan hahmotella muutostyön alustavaa ratkaisua, komponenttien sijoituspaikkaa ja uusia kaapelointeja. Kulkureitit muuntamoon tarkastellaan ja mitataan. Näin voidaan varmistua siitä, että muutostyöhön tarvittavat komponentit mahdutaan kuljettamaan käytäviä pitkin suunnitelluille paikoilleen, kun niiden tarkemmat mitat selviävät suunnittelun yhteydessä. Lopuksi sovitaan jatkotoimet asiakkaan ja käytönjohtajan kanssa.

### 8.3 Kartoituskäynnin dokumentointi

Kartoituskäynnillä saadut tiedot, mittaukset, hahmotelmat ja huomiot kohteesta dokumentoidaan ja syötetään suunnitteluohjelmaan. Havaittuja puutteita täydennetään tasopiirustuksiin. Liitteeksi dokumenteille voidaan laittaa kohteesta otetut valokuvat ja liittää ne tasopiirustukseen oikeille paikoilleen. Näin on helpompi hahmottaa, mikä kuva on otettu mistäkin. Jos kohde mallinnettiin kartoituskäynnillä, tehdään mallinnumateriaalin prosessointi, mikäli se on tarpeen. Kohteesta tehdään alustavia suunnitelmia ja mietitään eri toteutusvaihtoehtoja projektille sekä suunnitellaan alustavaa järjestelyä muutostöille. Tehdyt suunnitelmat dokumentoidaan. Alustavissa suunnitelmissa suunnitellaan mahdollisia reittejä kaapeloinneille ja kaapelihyllyille sekä huomioidaan jo olemassa olevien kiskosiltojen ja kaapelireittien kulkua. Vanhojen kaapelihyllyjen, LVI-putkien, ynnä muiden sellaisten reittejä ja korkotietoja merkitään dokumentteihin. Nämä tiedot auttavat uusien reittien tarkassa suunnittelussa.



Asennuksen alustavassa suunnittelussa mietitään, kuinka purettavat laitteet saadaan pois kohteesta ja uudet tilalle. Kohteen perusteella mietitään käytön keskeytyksen mahdollisuuksia ja arvioidaan järjestelmän asennusajankohtaa. Täytyykö asennukset suorittaa ilta tai yöaikaan? Entä viikonloppuisin? Onko kohde toiminnassa ympäri vuorokauden ja joka päivä? Jos kohde on toiminnassa koko ajan, tarvitaan korvaava syöttö asennustöiden ajaksi. Kuinka korvaava syöttö järjestetään? Esimerkiksi, jos kiinteistössä on kaksi päämuuntajaa, voidaanko toisella muuntajalla syöttää koko kiinteistöä? Se riippuu muuntajasta ja keskusta tai keskuksia syöttävistä virtateistä. Jos korvaavan syötön järjestäminen ei onnistu näinkään, yksi vaihtoehto on viedä varavoimageneraattori kohteeseen ja hoitaa sillä korvaava syöttö.

#### 8.4 Tekninen suunnittelu

Tarkemmassa teknisessä suunnittelussa tehdään tarkka suunnitelma toteutettavasta muutostyöstä sekä täydennetään jo aiemmin tehtyjä dokumentteja ja tehdään valmiiksi kaikki muut tarvittavat piirustukset. Kartoituskäynnin dokumentoinnissa tehdyt hahmotelmat ratkaisuihin otetaan huomioon ja valitaan paras vaihtoehto. Hyödynnetään kartoituskäynniltä saatuja laitetietoja, virtatien tietoja ja otettuja kuvia tai mallinnettua materiaalia kohteesta. SFS-käsikirjan 600-1-1 mukaan täytyy jokaisesta sähköasennuksesta olla tarvittavat dokumentit (SESKO ry, 2017, s. 23). Toisin sanoen kaikki dokumentit, joihin muutostyö vaikuttaa, päivitetään. Esimerkiksi tasopiirustukseen ja muuntamon pääkaavioon tulee yleensä muutoksia. Uudet järjestelmät ja komponentit sijoitetaan siis tasopiirustukseen ja näille tehdään suunnitteluohjelmassa tuotekohtaiset tuotemallit. Tuotemallit helpottavat tarjouslaskennan ja tarviketilauksen tekoa. Suunnitteluohjelman tuotemallit ovat laitekohtaisia tietoja, joita voi syöttää manuaalisesti ohjelmaan. Suunnitteluohjelma tunnistaa tietomallit ja tekee esimerkiksi määrälaskennan tuotemallien esiintymisistä kuvassa. Tästä on hyötyä erityisesti silloin, kun kuvassa on erilaisia laitteita määrällisesti ja laadullisesti paljon.

Jos aiemmissa työvaiheissa on hyödynnetty arkkitehtikuvan 3D-mallinnusta, käytetään sitä hyväksi myös tässä. Eli annetaan tasopiirustukseen piirrettäville komponenteille kolmiulotteiset tiedot ja generoidaan ne kuvaan, jonka jälkeen tilaa voidaan tarkastella kolmiulotteisena. Kolmiulotteisesta tarkastelusta voidaan tehdä esimerkiksi CADSissä tai TeklaBIMSightissa. Kolmiulotteisesta kuvasta nähdään paremmin uusien järjestelmien viemä tila, kaapelihyllyjen tarkempi reitti ja muutostöiden vaikutus tilaan. Komponenttien kolmiulotteisten tietojen antaminen onnistuu tuotemallien teon yhteydessä.

##### 8.4.1 Sähkötekniinen ja mekaaninen suunnittelu

Sähköteknisessä ja mekaanisessa suunnittelussa tehdään uuden järjestelmän tarkka mitoitus. Lopulliset kaapelireitit ja kaapeleiden paksuudet suunnitellaan, lasketaan niiden pituudet ja merkitään niiden asennukseen tarvittavat tarvikkeet. Johtimien poikkipinnat määritetään sekä normaalissa käytössä, että vikatilanteessa SFS-käsikirjassa 600-1-1 lueteltujen tekijöiden perusteella, jotka ovat: suurin sallittu lämpötila, sallittu jännitteenalenema, maa- ja oikosulkuvirtojen todennäköisesti aiheut-

tamat mekaaniset rasitukset, muut johtimiin kohdistuvat mekaaniset rasitukset, suurin sallittu impedanssi vikavirtojen suojauksen toiminnan kannalta ja asennustapa. (SESKO ry, 2017, s. 22) Muutostyön vaikutus nykyiseen päävirtapiiriin lasketaan ja tarkastetaan. Jokaisessa pienjännitekeskuksessa (eli myös pääkeskuksessa) täytyy olla keskuksen pääkytkin, joka on mitoitettu kestäväksi muuntajan sallitun ylikuorman. Kytkimen täytyy olla kuormankytkin ja sillä täytyy pystyä avaamaan ja sulkemaan myös ylikuormassa oleva muuntaja. Pääkytkimenä on mahdollista käyttää myös katkaisijaa, joka voi releiden avulla toimia keskuksen ja muuntajan ylikuormitusuojana. (Sähköinfo Oy, 2018, s. 14) Katkaisijoiden katkaisukyky sekä releiden virta- ja aika-asettelut tarkastetaan. Suojauksen selektiivisyys ja toimivuus on todettava. Tarvittaessa releiden asetteluihin tehdään muutoksia ja suunnitellaan lisäsuojauksia. Termiset ja dynaamiset oikosulkuvirrat ja niiden vaikutukset laitteistoon sekä virtateiden ja pääkeskuksen kestoisuudet täytyy huomioida. ”Suojalaitteiden on toimittava sellaisilla virroilla ja jännitteillä sekä sellaisessa ajassa, jotka ovat sopivia ottaen huomioon virtapiirien ominaisuudet ja vaaratekijöiden esiintymismahdollisuudet” (SESKO ry, 2017, s. 23). Järjestelmän maadoitukset ja tarvittavat tietoliikenneyhteydet suunnitellaan ja huolehditaan kuntoon. Esimerkiksi tietoliikennekeskuksen paikka ja sen johdotukset suunnitellaan muuntamoon tai pääkeskustilaan mahdollista valvontaa ja etäohjauksia varten.

Sähköasennusten dokumentoinnissa tulee käyttää standardien SFS-EN 61082 ja SFS-EN 81346 mukaan laadittuja piirustuksia, kaavioita ja taulukoita, joista ilmenee erityisesti virtapiirien laji ja rakenne sekä tiedot, joiden avulla kytkin-, suoja- ja erotuslaitteiden ominaisuudet sekä niiden sijainti pystytään tunnistamaan. Dokumenttien täytyy sisältää seuraavaksi luetellut yksityiskohtaiset tiedot, siltä osin kuin ne ovat tarpeen kussakin asennuksessa: johtimien tyypit ja poikkipinnat, suojauksen ja jännitteenalennemien koskevien laskujen tekemiseen tarvittavat virtapiirien pituudet, suojalaitteiden lajit ja tyypit, suojalaitteiden asettelut ja mitoitusvirrat sekä suojalaitteiden katkaisukyvyt ja prospektiiviset oikosulkuvirrat. Nämä tiedot täytyy päivittää asennuksen jokaisen muutoksen jälkeen. Dokumenteista ja piirustuksista täytyy selvittää peitossa olevien laitteiden sijoitukset. Nämä edellä mainitut tiedot tarvitaan asennuksen suojauksen toimivuuden tarkistamiseen ja ne täytyy selvittää suunnitteluvaiheessa. (SESKO ry, 2017, s. 197)

On huomioitava, kestääkö tehtävä muutostyö valokaarioikosulun aiheuttaman paineen sekä vaikuttavatko tehdyt muutostyöt paloteknisiin asioihin. Asennuksien vaikutukset tilan ilmanvaihtoon tarkastetaan ja lasketaan. Ilmanvaihdon riittävyys pitää todeta. Jos ilmanvaihtokone täytyy uusiksi, tarkastetaan, että se mahdollistaan sijoittamaan suunnitellulle paikalleen. On muistettava, että ilmanvaihtokone täytyy pystyä huoltamaan muuntajan ollessa jännitteinen (Sähköinfo Oy, 2017, s. 5). Ilmanvaihtokoneen tarvittava poistettava ilmamäärä tunnissa saadaan laskettua, kun tiedetään muuntajaviöt ja tulo- ja poistoilman lämpötilaero (Sähköinfo Oy, 2017, s. 4; Sähköinfo Oy, 2018, s. 6).

## 8.5 Tarjous asiakkaalle

Tarjouksen teossa asiakkaalle tehdään tarjouslaskenta, jossa huomioidaan tavaroiden hankintahinnat ja kaikki mahdolliset muut kulut. Jos tuotemallit on tehty huolellisesti tarkemman suunnittelun yhteydessä, niin määrälaskenta CADSilla onnistuu automaattisesti tasopiirustuksesta. Määrälaskennan yhteydessä saadaan tulostettua tarvikelistaa CADSiin tai Exceeliin. Tätä määräluetteloa voidaan käyttää oman mielen mukaan ja se voidaan siirtää haluttuun tietokantaan tai ohjelmaan. Määräluetteloa tehdessä CADSissä voidaan määrittellä tarvittavat johtotietarvikkeet metriä kohden, jolloin ohjelma laskee automaattisesti metrimäärän mukaan johtoteille tarvittavat tarvikkeet.

CADS-ohjelmalla tuotetut luettelot voi siirtää yleisimpiin tarjouslaskennassa käytettyihin ohjelmistoihin ja tällöin määrälaskentatiedot ovat hyödynnettävissä tarjouslaskennan pohjana. Määrälaskentalistan voi siirtää moniin eri ohjelmiin, kuten esimerkiksi: Broker, Ecom ja Excel. (CADMATIC EAC Oy, s. a.)

Määrälaskennasta saatu lista tarkastetaan sekä täydennetään, jos huomataan puutteita. Korjattuun ja täydennettyyn määrälaskentalistaan lisätään komponenttien hankintahinnat. Laskentaan arvioidaan asennuksen suunnittelun ja toteutuksen kulut. Eli mahdollisen korvaavan syötön tai varavoiman järjestäminen kohteeseen. Lisätään kokemusperäinen arvio purkamiseen ja asennukseen kuluva ajasta, jonka perusteella lasketaan asennusryhmän kulut (palkat, lisät, kilometrikorvaukset yms.). Tuloksena saadaan tarjouslaskelma, joka kirjoitetaan puhtaaksi asiakkaalle. Tarjous halutaan saada selkeään ja ymmärrettävään muotoon. Tarjouksesta voi näkyä eritellyt kustannukset (työ, komponentit jne.), jota asiakkaan on helppo tulkita.

### 8.5.1 Määrälaskentalistan tulostus CADSistä

Määrälaskennan yhteydessä saadaan CADSissä tehtyä tarvikelistaa yhdestä tai useasta dokumentista kerralla. Tarvikelistaa voidaan liittää auki olevaan CADS kuvaan ja se on myös automaattisesti kopioitu leikepöydälle. Se voidaan siis liittää "liitä"-toiminnolla haluttuun ohjelmistoon.

Määrälaskenta ja tarvikelistan tulostus onnistuu CADSin tasopiirustussovelluksella valitsemalla CADSin valikoista laskentatoiminnot ja määrälaskenta. Määrälaskentavalikosta valitaan halutut asetukset, jonka jälkeen ohjelma tekee laskennan.

## 8.6 Asennuksen suunnittelu

Asennuksen suunnittelu aloitetaan hyväksytyyn tarjouksen jälkeen. Asennuksen suunnittelussa suunnitellaan tarkasti asennusten toteutus ja asennusryhmän koko sekä tilataan kohteeseen asbestikarvoitus, jos se nähdään tarpeelliseksi. Sähköasennusten tekemiseen pitää käyttää henkilöitä, jotka ovat riittävän ammattitaitoisia ja päteviä. Sähköturvallisuuslaissa (1135/2016) on määritelty sähköasennusten tekijöiltä ja sähkötöiden johtajalta vaaditut pätevyudet. Sähkölaitteet täytyy asentaa siten, että niiden asentamiseen ja mahdollisesti myöhemmin tapahtuvien yksittäisten laitteiden vaihtamiseen on varattu tarpeeksi tilaa sekä laitteisiin on päästävä käsiksi käyttöä, testausta, tarkastusta,

huoltoa ja korjausta varten. (SESKO ry, 2017, ss. 23, 25) Asennusprosessi voidaan jakaa neljään osaan, jotka ovat: alkutoimet, purkaminen, uusien osien asentaminen ja lopputoimet (Supperi, 2017, s. 20). Asennusten huolellinen suunnittelu ja dokumentointi edesauttavat asennusten toteutusta.

Alkutoimiin kuuluu asennusajankohdan suunnitteleminen ja sopiminen asiakkaan kanssa. Joissain tapauksissa suunnitellaan korvaavan syötön tai varavoimageneraattorin järjestäminen kohteeseen, jos asiakas ei halua kohteeseen käyttökeskeytyksiä. Tällöin myös korvaavan syötön kaapeloinnit tai varavoimageneraattorin liittämistapa keskukseen huomioidaan. Työmaalla tarvittavat työvälineet käydään läpi ja varmistetaan, että niitä löytyy. Jos huomataan puutteita työvälineissä, tehdään tarvittavia hankintoja. Joissakin kohteissa joudutaan tekemään asbestin poistoa riippuen muutostyön luonteesta.

Alkutoimien jälkeen alkaa purkamisvaihe. Ennen purkamisen aloittamista suunnitellaan mahdolliset varvoimajärjestelyt, päävirtapiirin maadoittaminen ja sen jännitteettömäksi teko, jännitteettömyyden toteaminen ja työmaadoitusten teko, jonka jälkeen aloitetaan purkamaan suunniteltuja osia. Osien purkaminen ja purkamisjärjestys mietitään. Suunnitteludokumenteissa tulee selkeästi näkyä, mitä päävirtapiirin osia halutaan purkaa, ja mitä halutaan jättää ennalleen. Puretut osat viedään pois uusien osien asennuksen tieltä. Täytyy siis suunnitella, minne puretut osat viedään ja varastoidaan purkamisen jälkeen.

Purkamisvaihetta seuraa uusien osien asennus. Jos kulkureitit tai oviaukot tilaan ovat kapeat, tutkitaan, voidaanko suuria komponentteja purkaa pienempiin osiin. Komponenttien viemisjärjestys tilaan suunnitellaan. Siihen vaikuttaa tilan koko, muoto ja tarvikkeiden suunniteltu sijoituspaikka tilassa. Mietitään, voidaanko käyttää painavien osien kuljettamisessa koneita apuna. Pienemmät komponentit mahdollistaan tuomaan lopuksi käsivoimin. KytKentä- ja asennusjärjestyksessä suunnitellaan, missä järjestyksessä on järkevintä suorittaa kytkennät ja asennukset.

Lopputoimiin suunnitellaan tilan viimeistelyyn kuuluvat toimet sekä käyttöönottotarkastuksen tekeminen. Lisäksi tilan viimeistelyyn kuuluu kaapeliosoitteiden tekeminen ja standardien mukaisten kylttien asentaminen. Lopuksi tila täytyy siistiä asiakkaalle kelvolliseen kuntoon.

## 8.7 Tarviketilaukset ja logistiikka

Tarviketilaukset halutaan automatisoida. Tämä onnistuu, kun käytetään samoja tarvikelista kuin tarjouslaskennassa. Tarvikelista on tarkastettu ja täydennetty jo tarjouslaskentavaiheessa, joten se on ajan tasalla. Kuitenkin, jos kyseisessä listassa on huomattu tarjouksen teon jälkeen joitain puutteita, täydennetään siihen havaitut puutteet. Varastoissa löytyy joskus yleisimpiä asennustarvikkeita, joita voidaan käyttää ennen kuin tilataan uusia.

Tarvikelista voidaan lähettää tavaroiden toimittajalle esimerkiksi Excel-tilukkona tai tietojärjestelmien rajapintojen välityksellä. Näin saadaan sama määrä komponentteja, mitä oli tarjouslaskennassa ja suunnitteluvaiheessa suunniteltu. Tavaroiden toimitukset sovitaan ja järjestetään niille varastointitila, jos niitä joudutaan säilyttämään pitkiä aikoja. Tavaroiden kuljetukset työmaalle huolehditaan kuntoon, jos on esimerkiksi suuria tai hankalan muotoisia komponentteja kuljetettavana. Tarvittavan kuljetuskaluston järjestäminen on siis muistettava.

## 8.8 Asennus ja käyttöönotto

Asennusten toteutus tehdään suunnitelmien pohjalta ja asennuksen suorittavat henkilöt ovat luvun 8.4.2 mukaisesti päteviä. Suunnitelmia päivitetään työmaalla sitä mukaa, jos täytyy poiketa suunnitelmista. Tämä helpottaa loppudokumenttien päivittämistä.

Asennusten valmistelu aloitetaan alkutoimilla. Aluksi hoidetaan korvaava syöttö tai varageneraattori kohteeseen, jos sellaista tarvitaan. Tarvittavat luvat hankitaan kohteeseen (esimerkiksi tulityölupa). Asukkaita on muistettava tiedottaa alkavasta työmaasta ja muista heihin vaikuttavista asioista, kuten esimerkiksi sähkökatkoista. Tarvittavat työvälineet hankitaan ja tarkastetaan niiden kunto ja toimivuus. Työryhmän on hyvä käydä tutustumassa ennakkoon alkavaan työmaahan ja varautua mahdollisiin ongelmatilanteisiin. Tässä vaiheessa on mahdollista vielä tehdä asennussuunnitelmiin muutoksia, jos se nähdään tarpeelliseksi. Verkonhaltijan käyttökeskuksesta hankitaan kytkentäsuunnitelma, jossa on eritelty, mitä pitää tehdä missäkin vaiheessa. (Supperi, 2017, s. 21)

Purkamisen aloitetaan, kun alkutoimet on tehty. Aluksi todetaan jännitteettömyys jännitteen koettimella ja tehdään tarvittavat työmaadoitukset, jonka jälkeen saadaan käyttökeskuksesta lupa aloittaa. Purkamisessa noudatetaan tehtyjä suunnitelmia. Suunnitelmissa on mietitty jo valmiiksi, missä järjestyksessä purettavat asiat on helpointa purkaa. Suunnitelmiin on merkitty selvästi ja tarkasti ennalleen jätettävät asiat. Purkamisen jälkeen voidaan tehdä asbestin poisto, jos se on nähty tarpeelliseksi asbestikartoituksessa. Kaikki mahdolliset sähköiskuvaarat on muistettava suojata asbestityöntekijöiltä. (Supperi, 2017, ss. 22-27)

Purkamisen jälkeen aloitetaan uusien osien asentaminen suunnitelmien mukaan. Tilan muoto vaikuttaa paljon uusien osien asentamisjärjestykseen. Esimerkiksi, jos tila on pitkä ja kapea täytyy huoneen perälle menevät suuret komponentit viedä paikalleen ensin. Viimeisenä voidaan tehdä kytkennät ja tuoda pienemmät komponentit paikoilleen. (Supperi, 2017, ss. 28-37) Asennettavien jakelukiskojärjestelmien on oltava standardin SFS-EN 61439-6 mukaisia ja kiskokanavajärjestelmien täytyy olla standardin SFS-EN 61534 mukaisia. Niitä asentaessa on noudatettava valmistajan asennusohjeita ja samalla ottaen huomioon ulkoiset olosuhteet. (SESKO ry, 2017, s. 222) Käytettäessä kahta tai useampaa kaapelia rinnan täytyy muistaa noudattaa luvussa 4.2.2 lueteltuja ehtoja. Erottamista, kytkentää, ohjausta ja valvontaa toteuttavat asennettavat laitteet tulee asentaa valmistajan ohjeiden mukaisesti niin, että laitteiden ja johdotusten välissä oleviin liitoksiin ei kohdistu laitteen ennakoitavissa olevassa käytössä kohtuutonta vetoa tai räsitusta. (SESKO ry, 2017, ss. 295, 301)

Lopputoimiin kuuluu kohteen viimeistely asennusten jälkeen. Merkitään kaapeleiden ja maadoitusten osoitteet. Osoitteista näkee niiden tyyppin, laadun ja määränpään. Standardien mukaiset tarvittavat kyltit sijoitetaan paikoilleen. Tilan loppusiivous tehdään ja otetaan kuvat valmiista muuntamosta. Lisäksi tehdään käyttöönottotarkastus ja muut tarvittavat mittaukset sekä täytetään tarkastuspöytäkirja. Lopuksi annetaan tarvittava perehdytys asennetusta laitteistosta asianomaisille henkilöille. (Supperi, 2017, ss. 38-39)

### 8.8.1 Käyttöönottotarkastus

Sähkölaitteisto voidaan ottaa käyttöön sen jälkeen, kun käyttöönottotarkastuksessa on selvitetty, ettei siitä aiheudu sähköturvallisuuslain 1135/2016 6 §:ssä tarkoitettua häiriötä tai vaaraa. Lain 6 §:n mukaan sähkölaitteistosta ei saa aiheutua kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Niistä ei saa aiheutua sähköisesti tai sähkömagneettisesti kohtuutonta häiriötä, eikä niiden toiminta saa häiriintyä helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016, ss. 6 §, 43 §) Käyttöönottotarkastus on tehtävä myös sähkölaitteiston muutos- ja laajennustöille. Sähkölaitteiston rakentajan täytyy huolehtia käyttöönottotarkastuksen suorittamisesta. Sähkölaitteiston rakentajan täytyy tehdä käyttöönottotarkastuksesta tarkastuspöytäkirja sähkölaitteiston haltijan käyttöön. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016, s. 43 §)

Tarkastusten toteuttamista varten kannattaa laatia työmaan tarkastussuunnitelma, johon kuuluvat tarkastusohjelmaan sisällytetyt aistinvaraiset arvioinnit, testaukset, mittaukset ja muut tarkastukset, jotka projektin aikana on tarkoituksena suorittaa. Aistinvaraista tarkastamista tehdään koko asennustyön ajan. Mittaukset ja testaukset tehdään työmaan loppuvaiheilla. Muutos- ja laajennustöiden käyttöönottotarkastuksen dokumentoinnissa täytyy selkeästi rajata, mille laitteiston osalle käyttöönottotarkastus on tehty. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2018, ss. 342-343)

### 8.9 Loppudokumenttien päivitys

Lopuksi dokumentit päivitetään ajan tasalle. Tuotetut dokumentit tarkastetaan ja tehdään korjaukset, jos on tarve. Dokumenttien tulee sisältää seuraavaksi luetellut yksityiskohtaiset tiedot siltä osin, kuin ne ovat tarpeen kyseisessä dokumentissa ja asennuksessa:

- johtimien poikkipinnat ja tyypit
- virtapiirien pituudet
- käytettyjen suojalaitteiden lajit ja tyypit
- suojalaitteiden mitoitusvirrat tai asettelut
- prospektiiviset oikosulkuvirrat sekä suojalaitteiden katkaisukyvyt (SESKO ry, 2017, s. 197)

Nämä edellä luetellut tiedot pitää olla saatavilla asennuksen jokaisesta piiristä ja peitossa olevien laitteiden sijoitus pitää näkyä dokumenteista (SESKO ry, 2017, s. 197). Ajan tasalla olevat dokumentit viedään muuntamoon. Loppudokumenttien päivitystä helpottaa se, että asennuksen aikana noudatetaan suunnitteludokumentteja. Jos jotain joudutaan tekemään eri tavalla, kuin on suunniteltu, se korjataan dokumentteihin esimerkiksi punakynällä tai otetaan ylös paperille.

Käyttöönottotarkastuksen lisäksi sähkölaitteistolle on tehtävä myös varmennustarkastus, jos kyseessä on luokan 1, 2 tai 3 sähkölaitteisto. Varmennustarkastus tulee tehdä sähkölaitteiston merkittävälle muutos- tai laajennustyölle. Sähkölaitteiston rakentajan täytyy huolehtia sähkölaitteiston varmennustarkastuksesta ja varmennustarkastuksen saa suorittaa vain valtuutettu laitos tai valtuutettu tarkastaja. Varmennustarkastuksessa varmistetaan riittävällä laajuudella pistokokein tai jollain muulla soveltuvalla tavalla, että sähkölaitteisto täyttää sähkömagneettiselle yhteensopivuudelle ja sähköturvallisuudelle asetetut vaatimukset. Lisäksi varmistetaan, että sähkölaitteistolle on tehty asianmukainen käyttöönottotarkastus. (Säköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016, ss. 45 §, 46 §)

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä paneuduttiin kiinteistöjen päävirtapiirien rakenteisiin ja niiden suunnitteluprosessiin. Ennen kaikkea työssä haluttiin kehittää työn toimeksiantajalle asennustoimintaa tukeva kiinteistöjen päävirtapiirien suunnitteluprosessi, jota voidaan soveltaa erilaisiin päävirtapiireihin kohdistuviin muutostöihin. Työssä havaittiin, kuinka monesta eri osasta suunnitteluprosessi koostuu ja kuinka tärkeätä on huolellinen suunnittelu, että koko prosessi saadaan onnistumaan. Tärkeimpiä kohtia, joita voidaan nostaa esille suunnitteluprosessissa ovat: tarvittavien tietojen keruu kohteesta kartoituskäynnillä, sähkötekniinen ja mekaaninen suunnittelu, asennuksen huolellinen suunnittelu sekä dokumentaation päivitys asennuksen ja käyttöönoton jälkeen. Kaikissa kohdissa korostuu dokumentoinnin tärkeys. Dokumentoinnin täytyy olla riittävällä tasolla jokaisen suunnitteluprosessin osion jälkeen. Suunnitteluprosessi näyttelee tärkeää roolia projektien onnistumisen kannalta.

Uuden teknologian tuomat mahdollisuudet saattavat muuttaa suunnitteluprosessia nykyiseen verrattuna. Teknologia on kehittynyt huimaa vauhtia ja se on avannut uusia ovia, joita ei ollut aiemmin uskonutkaan mahdolliseksi. Pääpaino uuden teknologian hyödyntämisessä opinnäytetyössä oli selvästi kohteen mallintamisessa alkukartoituksen yhteydessä. Siihen löytyi muutamia sopivia laitteita, joita oli kokeiltu rakennusalan kokeiluhankkeissa. Ongelmana joissakin näistä laitteista oli kuitenkin kuvamateriaalin prosessoinnin viemä aika, joka teki mallintamisen lopulta epäkannattavaksi. Laitteita pitää kokeilla käytännössä, jos haluaa tehdä tarkempia johtopäätöksiä niiden soveltumisesta kiinteistöjen päävirtapiirien mallintamiseen.

Opinnäytetyössä avattiin yleisesti kiinteistöjen päävirtapiirien rakennetta ja vertailtiin joitakin järjestelmiä keskenään (esimerkiksi erilaiset kiskosillat). Tutkittiin erilaisia suojalaitteita, joilla voidaan suojata päävirtapiirin osia ja kiinteistön sähköverkkoa. Sähköverkoissa voi esiintyä erilaisia vikatilanteita ja niitä vastaan pitää olla tarvittavat suojalaitteet, että omaisuus- ja henkilövahingot saadaan minimoitua. Suurin sähkölaitteistoa uhkaava vaurio on kojeiston sisällä syntyvä valokaari, jota vastaan on kehitetty oma suojalaitteensa. Lisäksi työssä selvisi, mitkä osat päävirtapiirien rakenteissa aiheuttavat sähkömagneettisia häiriöitä. Häiriöiden ehkäisyyn löytyi useita keinoja, kuten esimerkiksi muuntajan ja pienjännitekeskuksen välisten virtateiden pituuden lyhentäminen ja tehdasvalmisteisten muuntamoratekniikoiden suosiminen.



## 10 LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABB. (2000). Luku 7: Oikosulkusuojaus. Teoksessa ABB, *Teknisiä tietoja ja taulukoita*. Vaasa, Suomi: Suomalaiset ABB-yhtiöt. Haettu 16. Maaliskuu 2020 osoitteesta [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07\\_1\\_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf)
- ABB Oy. (2011). Esite. *MDY-kiskosiltajärjestelmä*. Vaasa, Suomi. Haettu 25. Helmikuu 2020 osoitteesta <https://library.e.abb.com/public/bd0aeb1197f65ccec1257aa9003d1d7d/MDY%20kiskosiltajarjestelma%20e-site%20suomi.pdf>
- ABB Oy. (2011). Verkkomateriaali. *MDY-kiskosiltajärjestelmä*. Vaasa, Suomi: ABB Oy. Haettu 31. Tammikuu 2020 osoitteesta <https://docplayer.fi/12631946-Mdy-kiskosiltajarjestelma-luotettava-ja-turvallinen-ratkaisu-tehonsiirtoon-muuntajalta-kojeistoon-ja-kojeisto-osien-valilla.html>
- Ala-Outinen, J. (26. Toukokuu 2017). *Sisätilojen mallintaminen fotogrammetrisin keinoin*. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Maanmittaustekniikka. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Haettu 30. Tammikuu 2020 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126021/AlaOutinen\\_Juuso.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126021/AlaOutinen_Juuso.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- CADMATIC EAC Oy. (s. a.). Määrälaskenta hetkessä ja tarkasti. Kotka, Suomi: CADMATIC EAC Oy. Haettu 7. Helmikuu 2020 osoitteesta <http://www.cads.fi/ohjelmistot/cads-electric/urakointi/maalalaskenta-hetkessa-ja-tarkasti>
- GeoSLAM. (2020). *geoslam.com*. Haettu 5. Maaliskuu 2020 osoitteesta ZEB-HORIZON Datasheet: <https://geoslam.com/solutions/zeb-horizon/>
- Geotrim Oy. (2017). *3d-malli.fi*. Haettu 30. Tammikuu 2020 osoitteesta 3d-malli.fi: <https://3d-malli.fi/>
- Geotrim Oy. (2020). *geotrim.fi*. Haettu 5. Maaliskuu 2020 osoitteesta GeoSLAM ZEB-HORIZON käsiskanneri: <https://geotrim.fi/tuotteet/laserkeilaus/kasiskannerit/geoslam-zeb-horizon-kasiskanneri/>
- Haavisto, A.; & Alhava, O. (2018). *RoPa - Rakennushankkeen digitalisointi päästä päähän rooli- ja paikkatietopohjaisesti*. KIRA-digi. Haettu 17. Helmikuu 2020 osoitteesta [http://www.kiradigi.fi/media/hankemateriaali/loppuraportit/fira\\_ropa-raportti.pdf](http://www.kiradigi.fi/media/hankemateriaali/loppuraportit/fira_ropa-raportti.pdf)
- Ijäs, J. (2019). Kj- ja pj-kaapeleista. *Sähkön laatu opetusmateriaali*. Kuopio, Suomi: Jari Ijäs. Haettu 26. Helmikuu 2020
- Joala, V. (2016). Verkkodokumentti. *Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu*. Espoo, Suomi: Leica Nilomark Oy. Haettu 30. Tammikuu 2020 osoitteesta <http://docplayer.fi/7209674-Laserkeilauksen-perusteita-ja-mit-tauksen-suunnittelu.html>
- Korpinen, L.; Silvennoinen, S.; Lehtelä, R.; Havunen, I.; & Kaartinen, S. (1998). Muuntajat ja sähkölaitteet. Teoksessa L. Korpinen, *Sähkövoimatekniikkaopus*. Tampere, Suomi. Haettu 19. Helmikuu 2020 osoitteesta [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)
- KPY. (s. a.). *Voimatel Oy*. Haettu 2. Huhtikuu 2020 osoitteesta <https://www.kpy.fi/voimatel-oy>
- Kuivinen, D. (2018). *Yliaallot ja niiden vaikutus Carunan verkkoon*. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu. Helsinki: Aalto-yliopisto. Haettu 16. Maaliskuu 2020 osoitteesta [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/34371/master\\_Kuivinen\\_Dani\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/34371/master_Kuivinen_Dani_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- KVA Arkkitehdit Oy; e mittaus/Myymore Oy. (31. Tammikuu 2019). *Ketterä menetelmä rakennuksen mallintamiseksi*. Haettu 17. Helmikuu 2020 osoitteesta KIRA-digi:

<http://www.kiradigi.fi/kokeiluhankkeet/kokeiluhankkeet/kettera-menetelma-rakennuksen-mallintamiseksi.html>

- Laininen, H. (2017). Sähkösuunnittelun perusteet kurssimateriaali. Kuopio, Suomi. Haettu 11. Maaliskuu 2020
- Lapp Connecto Oy. (2016). *Jakelukiskojärjestelmät*. Tampere, Suomi: Lapp Connecto Oy. Haettu 25. Helmikuu 2020 osoitteesta [https://lappautomaatio.fi/lapp/images/Jakelukiskojarjestelmat-18.pdf/\\$FILE/Jakelukiskojarjestelmat-18.pdf](https://lappautomaatio.fi/lapp/images/Jakelukiskojarjestelmat-18.pdf/$FILE/Jakelukiskojarjestelmat-18.pdf)
- Lapp Connecto Oy. (2020). *MJ-kiskosillat*. Haettu 25. Helmikuu 2020 osoitteesta Lapp Connecto: <https://lappconnecto.lappgroup.com/kiskosillat/mj-kiskosillat.html>
- Leica Geosystems AG. (2020). *Leica Geosystems*. Haettu 4. Maaliskuu 2020 osoitteesta BLK360: <https://shop.leica-geosystems.com/learn/reality-capture/blk360>
- Leica Geosystems AG. (2020). *leica-geosystems.com*. Haettu 30. Tammikuu 2020 osoitteesta leica-geosystems.com: <https://leica-geosystems.com/>
- Lyytikäinen, H. (2011). *Teollisuuden sähköjakeluverkon mallintaminen*. Savonia-ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikka. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 20. Helmikuu 2020 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38348/Lyytikainen\\_Heikki.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38348/Lyytikainen_Heikki.pdf?sequence=1)
- Matterport, Inc. (2020). *matterport.com*. Haettu 30. Tammikuu 2020 osoitteesta matterport.com: <https://matterport.com/cameras/pro2-3D-camera>
- Norelco Oy. (2020). *Norbus 5000 kiskosillat*. Haettu 25. Helmikuu 2020 osoitteesta Norelco: <https://norelco.fi/tuotteet/norbus-5000-kiskosillat/>
- Pirhonen, R. (Toukokuu 2010). *Virtakiskojen mitoituksen ja dokumentoinnin kehittäminen*. Tampereen teknillinen yliopisto, Automaatiotekniikka. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 31. Tammikuu 2020 osoitteesta <https://docplayer.fi/43689045-Risto-pirhonen-virtakiskojen-mitoituksen-ja-dokumentoinnin-kehittaminen.html>
- Poutala, J. (2018). *Keskusten rakenteet sähkösuunnittelijan näkökulmasta*. Tampereen ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja automaatiotekniikka. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Haettu 24. Helmikuu 2020 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149049/Poutala\\_Juho.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149049/Poutala_Juho.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ratilainen, J. (2020). Asennustoimintaa tukeva päävirtapiirin suunnitteluprosessi. *Prosessikaavio*. Kuopio, Suomi. Haettu 13. Helmikuu 2020
- Rinkinen, H. (2010). *Kiinteistömuuntamon työohje*. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikka. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Haettu 28. Helmikuu 2020 osoitteesta <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13872/HeikkiRinkinenT066SN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saarimäki, A. (2015). *Kamerapohjainen paikannus*. Kandidaatintyö, Tampereen teknillinen yliopisto, Signaalinkäsittely ja multimedia, Tampere. Haettu 5. Maaliskuu 2020 osoitteesta [http://vision.cs.tut.fi/data/publications/saarimaki\\_bscthesis\\_2015.pdf](http://vision.cs.tut.fi/data/publications/saarimaki_bscthesis_2015.pdf)
- SESKO ry. (2017). *SFS-käsikirja 600-1-1 Pienjännitesähköasennukset. Osa 1-1: Yleisvaatimukset (SFS 6000 osat 1-6)* (Ensimmäinen p.). Helsinki, Suomi: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Haettu 18. Maaliskuu 2020
- Suomen Palokatkoehdistys ry. (s.a). *Suomen Palokatkoehdistys ry*. Haettu 7. Toukokuu 2020 osoitteesta <https://palokatkoehdistys.fi/>
- Supperi, V. (2017). *Kiinteistömuuntamon saneeraus*. Oulun ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. Haettu 13. Tammikuu 2020 osoitteesta

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/135579/Kiinteistomuuntamon%20saneeraus%20VS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. (2018). *D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista* (26. p.). (E. Tiainen, Toim.) Espoo, Suomi: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- Sähköinfo Oy. (15. Syyskuu 2014). ST 52.16 Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. *ST 52.16*. Espoo, Suomi: Sähkötieto ry. Haettu 17. Maaliskuu 2020
- Sähköinfo Oy. (15. Syyskuu 2015). ST 53.45 Sulakkeeton suojaus. *ST 53.45*. Espoo, Suomi: Sähkötieto ry. Haettu 20. Maaliskuu 2020
- Sähköinfo Oy. (15. Joulukuu 2016). ST 52.15 Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. *ST 52.15*. Espoo, Suomi: Sähkötieto ry. Haettu 17. Maaliskuu 2020
- Sähköinfo Oy. (23. Marraskuu 2017). ST 53.24 Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta. *ST 53.24*. Espoo, Suomi: Sähkötieto ry. Haettu 20. Maaliskuu 2020
- Sähköinfo Oy. (2. Kesäkuu 2017). ST 53.61 Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys. *ST 53.61 Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys*, 10. Espoo, Suomi: Sähkötieto ry. Haettu 13. Tammikuu 2020
- Sähköinfo Oy. (2018). *ST 53.11 Kuluttajamuuntamot*. Espoo, Suomi: Sähkötieto ry. Haettu 21. Helmikuu 2020 osoitteesta Sähköinfo Severi.
- Sähköinfo Oy. (2018). *ST-käsikirja 37 EMC ja rakennusten sähkötekniikka* (3. uudistettu painos p.). (T. Ylinen, Toim.) Espoo, Suomi: Sähkötieto ry. Haettu 27. Helmikuu 2020
- Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. (16. Joulukuu 2016). *Sähköturvallisuuslaki*. Helsinki, Suomi: Oikeusministeriö. Haettu 31. Maaliskuu 2020
- Tommila, J. (Huhtikuu 2012). *Kiskosilta*. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikka. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Haettu 31. Tammikuu 2020 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40785/Tommila\\_Janne.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40785/Tommila_Janne.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tukes. (s. a.). Sähkölaitteiston haltija ja käytönjohtaja. Suomi. Haettu 20. Huhtikuu 2020 osoitteesta <https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/sahkolaitteiston-haltija-ja-kaytonjohtaja>
- Tähtinen, S. (20. Toukokuu 2015). *Sisätilan mallinnus - Case Startup Sauna*. Aalto yliopisto, Fotogrammetria ja kaukokartoitus. Espoo: Aalto yliopisto. Haettu 30. Tammikuu 2020 osoitteesta <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/16694>
- UTU Oy. (2012). Kehikkokeskus. *UTU-kehikkokeskus, ILVES*. Suomi. Haettu 25. Helmikuu 2020 osoitteesta <https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/kehikkokeskus-ilves.pdf>
- UTU Oy. (2012). UTU-kennokeskus 630–2000 A, NALLE. *Kennokeskus*. Suomi. Haettu 24. Helmikuu 2020 osoitteesta <https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/nalle-kennokeskukset-esite-2012.pdf>
- UTU Oy. (s. a.). *UTU*. Haettu 24. Helmikuu 2020 osoitteesta Kotelokeskus AHMA (IP44/54): <https://www.utu.eu/sahkokeskukset/kiinteistojen-jakokeskukset/kotelokeskus-ahma-ip4454>
- Velinov, V.; & Nagy, S. (2019). *As Built -mallin rekonstruktio fotogrammetrian ja laserkeilauksen avulla*. Skanska; 3D Talo. Haettu 17. Helmikuu 2020 osoitteesta [http://www.kiradigi.fi/media/hankemateriaali/loppuraportit/skanska\\_as\\_built\\_loppuraportti.pdf](http://www.kiradigi.fi/media/hankemateriaali/loppuraportit/skanska_as_built_loppuraportti.pdf)