



Verkon käyttötoiminnot ja suunnittelutyökalut

Viviana Könssi

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkövoimatekniikka

KÖNSSI, VIVIANA:
Verkon käyttötoiminnot ja suunnittelutyökalut

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Kesäkuu 2022

Opinnäytetyön keskeisenä teemana oli tutkia jakeluverkon suunnittelun ja käyttötoiminnan tukityökaluja sähköverkon toiminnan näkökulmasta. Tutkimus toimi pohjana Tampereen ammattikorkeakoulun sähköverkkojen suunnittelun opetusohjelman päivittämisessä ja täydentämisessä.

Suunnittelun ja käyttötoiminnan tukityökalujen tutkiminen koostui pääasiassa kirjallisuusselvityksestä. Opetusohjelman asettamaan tarpeeseen vastattiin ehdottamalla tietoa suunnittelun ja käyttötoiminnan tukityökaluista. Tämän lisäksi suunnitteluohjelman (Trimble NIS) toiminnallisuutta tutkittiin testaamisen pohjalta Tampereen ammattikorkeakoulun käyttölisenssillä. Osana opinnäytetyötä oli tutkia SCADA:n käyttöä osana sähköverkkoa.

Työssä otettiin kantaa kurssimateriaalin kehittämisen suuntaan. Työssä tutkittavien suunnittelun ja käyttötoiminnan tukityökalujen yleiskatsausta voidaan tulevaisuudessa hyödyntää, mikäli toimeksiantajalla on tarve tutkimustietoon opetuskäytössä. Täydennettyä ohjeistusta voidaan tulevaisuudessa laajentaa tai päivittää, mikäli kurssityömateriaalin sisältö muuttuu.

Asiasanat: SCADA, Trimble, tukityökalut, jakeluverkko, ohjeistus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

KÖNSSI, VIVIANA:
Support Tools for Network Design and Operation

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 0 pages
June 2022

The purpose of this thesis was to study support tools for distribution network design and operation and explore the functionality of SCADA. The study was used to improve and update the course material for the planning of electric networks course at Tampere University of Applied Sciences.

The support tools were studied from the operational perspective of the electrical grid. The current coursework instructions were explored through the usage of the current tools.

The product of this thesis was an improved and updated instruction of the coursework. Suggestions were given about possible improvements for the course syllabus. These suggestions were related to the support tools in use.

This study can be used in the future to improve and expand the course material. The updated coursework instructions can be further expanded and updated if the contents of the course change.

Key words: SCADA, Trimble, support tools, distribution network, instruction

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	VERKON RAKENNE JA SUUNNITTELU	8
	2.1 Sähköverkon suunnitteluprosessi.....	8
	2.2 Verkon suunnittelun tavoitteet.....	8
	2.3 Jakeluverkon osat	9
	2.3.1 Verkostonrakenne	10
	2.3.2 KJ-verkon suunnittelu	11
	2.3.3 PJ-verkon suunnittelu	13
	2.4 Sähköasemat ja niiden suunnittelu.....	14
	2.5 Verkoston kaapelityypit	14
	2.5.1 PJ-verkon kaapeliratkaisut	15
	2.5.2 KJ-verkon kaapeliratkaisut	15
	2.6 Maakaapelin asennus	15
	2.7 Liittymäkaapelin valinta ja mitoitus	16
	2.8 Sähkösuunnittelun haasteet.....	18
	2.9 Tulevaisuuden sähköverkkojen haasteet	19
3	SCADA	20
	3.1 SCADA yleisesti.....	20
	3.2 SCADA käyttösovellutukset	20
	3.3 SCADA arkkitehtuuri	20
	3.4 SCADA-järjestelmän datakommunikointi	21
	3.5 Mittalaitteet.....	22
	3.6 Tiedonsiirtoyhteys	24
	3.7 Tietoturvallisuus	25
	3.8 SCADA:n käyttö jakeluverkon osissa	25
	3.9 Esimerkki SCADA verkostoautomaatio ohjauksesta	26
	3.10 SCADA vikatilanteessa.....	27
	3.11 SCADA sovellutukset.....	27
	3.11.1 MicroSCADA Pro	27
	3.11.2 Relion 630.....	28
4	KÄYTÖNTUKI- JA SUUNNITTELUOHJELMISTOT	29
	4.1 Yleistä käytössä olevista ohjelmista	29
	4.2 Trimble NIS	29
	4.2.1 Verkostolaskenta.....	30
	4.2.2 Verkon suunnittelu ja rakentaminen	31
	4.2.3 Omaisuuden hallinta.....	31

4.2.4	Verkkoinvestointien hallinta	31
4.2.5	Kunnossapito.....	32
4.3	Trimble DMS	32
5	TRIMBLE OHJEISTUS	34
5.1	Ohjeistuksen lähtökohdat.....	34
5.2	Kurssin sisältö	34
5.3	Ohjeistuksen nykyhetkinen tilanne	35
5.4	Suunnitteluohjelman yleisnäkymä	37
5.5	Suunnitteluohjeistuksen kehittäminen	37
5.5.1	Symbolit.....	37
5.5.2	Kaapelin esitys	39
5.5.3	Raporttien tulostaminen.....	41
6	JATKOKEHITYS JA POHDINTA	42
6.1	Tulosten analysointi	42
6.2	Ohjeistuksen päivittäminen	42
6.3	Kurssin kehityssuunta	43
	LÄHTEET	45

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
KJ-verkko	Keskijänniteverkko
PJ-verkko	Pienjänniteverkko
HMI	Human-machine interface
RTU	Remote terminal unit
PLC	Programmable logic unit
DLMS	Device Language Message Specification
COSEM	Companion Specification for Energy Metering
Trimble NIS	Verkkotietojärjestelmä
Trimble DMS	Käyttötukijärjestelmä
SaaS	Software as a device
Gerako	Infraomaisuuden tiedonhallintapalveluihin erikoistunut yritys

1 JOHDANTO

Sähköverkkojen toiminnan taustalla on monia vaikuttavia tekijöitä. Tässä opin-
näytetyössä tutkittiin verkon toimintaa ja sen vaatimuksia suunnittelun osalta.
Työssä on tutkittu verkoston suunnittelun etenemiskohtia. Tarkoituksena on käsitellä
verkoston tärkeitä osia sekä suunnittelun haasteita.

Työssä oli lisäksi tarkoitus tutkia SCADA:n hyötykäyttöä osana sähköverkon toi-
mintaa. Tästä muodostui ymmärrys, missä yhteydessä SCADA:a voidaan hyö-
dyntää, sekä mitä tällä voidaan toteuttaa sähköverkon käytön osalta. Työssä on
kuvattu esimerkin avulla SCADA:n sovellutuksista, jolloin lukijalle muodostuu
kuva sen käytöstä. Tämän lisäksi tutkittiin sähköautomaation vaikutuksia
SCADA:n tarjoaman tiedon hyödyntämisessä.

Työn luoman katselmuksen pohjalta muodostui sähköverkon suunnittelun kurs-
sityön ohjeistuksen päivitys, joka toteutettiin tutkimalla Trimble suunnittelutyöka-
lun toimintaa. Tätä on kuvattu työssä kirjallisen selvityksen kautta, sekä suunnit-
teluohjelman tutkinnan myötä. Tässä huomioitiin työkalun osalta oleva kirjallinen
ohje, josta lähdettiin selvittämään sen puutteelliset osat.

2 VERKON RAKENNE JA SUUNNITTELU

2.1 Sähköverkon suunnitteluprosessi

Sähköverkon suunnittelu lähtee käyntiin koko suunnitteluprosessin kannattavuudesta. Tähän vaikuttavat verkon suunnittelun pitkän aikavälin tavoitteet sekä sen jakeluosalle kuin sen hinnalle. Suunnittelussa on hyvä selvittää, että se vastaa nykyhetken tarpeeseen. Kannattavuutta voidaan miettiä eri näkökulmista, kuten selvittämällä minkä suuruinen kuormitus sen osalle tullaan kytkemään tai onko prosessi taloudellisesti toteutettavissa. Kun taas mietitään laajemmalla perspektiivillä, tulisi verkon vastata tulevaisuuden kasvavaan kulutukseen ja verkon ylläpitämiseen. Tärkeintä on saavuttaa verkon syöttö, turvallisuus sekä palvelu, kun tämä jaetaan koko verkon elinajalle. (Lakervi & Holmes 1995, 20–21.)

2.2 Verkon suunnittelun tavoitteet

Verkoston suunnittelussa lähdetään ensimmäisenä miettimään, että sen pitkän aikavälin strategia toteutuu. Tämän pohjana toimii Lakervin & Partasen (2008, 212) mukaan verkostostrategia, jossa kuvataan seuraavat asiat:

1. *Yleiset toimintaympäristön kehitystekijät*
 - *muun kuin verkkotekniikan kehittyminen*
 - *asiakatarpeet, regulaatio*
 - *ympäristökysymykset*
 - *kuormitusten kehittyminen*
2. *Suunnittelua ohjaavien laskentaparametrien ja verkoston kehittämisen peruseriaatteiden määrittäminen*
 - *laskelmissa käytettävien laskentaparametrien arvot*
 - *suunnitteluperiaatteet*
 - *käyttövarmuuden tavoitetasot*
 - *tähtipisteiden maadoittamisperiaate*
 - *verkostossa käytettävät jänniteportaat*
 - *verkostossa käytettävät verkkorakenteet, komponenttisarjat ja automaattioratkaisut*

3. Verkoston sähkötekniinen ja mekaaninen nykytila

4. Verkoston kehittämisen päätoimenpiteet tulevina 10–20 vuotena

- alueverkon johtojen saneeraus ja uudet johdot
- uudet sähköasemat
- sähköasemien saneeraus
- keskijänniteverkon runkojohdot (Lakervi & Partanen 2008, 216.)

2.3 Jakeluverkon osat

Jakeluverkon osat jaetaan yleensä suunnittelussa tehtäväkohtaisesti, eli pien- ja keskijännitealueisiin. Kun suunnittelua tehdään pienjänniteverkon osalta, voidaan alueesta rajata pois keskijänniteverkon osuus. Tällöin ohjeistusta ja suunnittelutehtäviä voidaan yksinkertaistaa. Vaikka rajaus tehdään koskemaan vain tiettyä osa-aluetta, tulee näihin huomioida eri jänniteportaat. Tällöin suunnittelussa kytketty eri osa-alueet toisiinsa. Esimerkiksi 110 kV:n alueverkon suunnittelussa tulee ottaa huomioon sekä sähköasemat että keskijänniteverkko. (Lakervi & Partanen 2008, 11–12.)

Jakeluverkon suunnittelu toteutetaan yleensä lopullisen kuormitustarpeen mukaan, joka tapahtuu suunnitteleamalla tietyn alueen verkkokokonaisuus. Jakeluverkon suunnittelu koostuu usein keskijänniteverkon sekä pienjänniteverkon suunnittelusta. (Elovaara & Haarla 2011, 77.) Suunnittelu koostuu Elovaaran & Haaran (2011, 78) mukaan seuraavista vaiheista:

- *kulutustietojen arviointi*
- *keskijänniteverkon rakenteen optimointi*
- *muuntamopaikkojen valinta ja pienjänniteverkon rakenteen määrittäminen.*

(Elovaara & Haarla 2011, 78.)

Verkostosuunnittelussa on tärkeää huomioida verkon käyttöikä, joka voi olla useita kymmeniä vuosia. Sen seurauksesta verkon kehittämisessä tulee ennustaa verkoston kuormitusta noin 15–30 vuoden ajalle, jotta sen kapasiteetti on riittävä. (Elovaara & Haarla 2011, 73.) Verkon komponentit kestävät käytössä pitkän ajan. Kun näitä tarkastellaan teknistaloudellisen pitoajan osalta, tämä on tyypillisesti noin 30–50 vuotta. Verkolle on aseteltu eri reunaehtoja käyttökeskeytyksiin ja näistä koituviiin sanktioihin. Tästä johtuen on suunnittelussa huomioitava lähes

katkottoman sähkönjakelun tarve. (Lakervi & Partanen, 2008, 12.) Verkonhaltijan toimitusvarmuutta ja palveluperiaatteita noudatetaan sähkömarkkinalain kautta (Finlex).

Sähkömarkkinalain mukaisesti jakeluverkonhaltijan tulee tarjota lähes katkotonta sähkönjakelua. Sähkön laadun tulisi vastata Suomessa käytettyjä standardeja. Ongelmatilanteiden esiintyessä sähkökäyttäjälle myönnetään joko vakiokorvaus tai hinnanalennus, joka määräytyy katkoksen syyn ja sen pituuden mukaan. Vahingonkorvauksen suuruus on siis tapauskohtaista eikä tätä hakiessa oteta huomioon jakeluverkonhaltijan vaikutusmahdollisuuksien ulkopuolella olevia syitä. (Energiateollisuus.) Sähkömarkkinalain vuoden 2021 muutos määräytti, että suomalaisten sähköverkot tulisi saneerata säävarmoiksi vuoteen 2028 mennessä (Finlex).

Seuraavissa luvuissa käsitellään yksityiskohtaisemmin sekä pien- että keskijänniteverkkojen suunnittelua. Tarkoitus on tutkia näiden rakenneperiaatteita haja-asutusalueella, taajamassa sekä kaupunkialueella.

2.3.1 Verkostonrakenne

Pien- ja keskijänniteverkot suositellaan rakennettavaksi säteittäin, jolloin rakentamiskustannukset ovat edullisia. Käsin ohjattavat tai kauko-ohjattavat erottimet toimivat usein jakorajoina. Kun halutaan parantaa verkon käyttövarmuutta vika- ja huoltotilanteiden osalta, toteutuu tämä parhaiten silmukoinnilla. Johtovikoja voidaan rajoittaa yhteen erotinväliin, kun käytetään silmukoitua verkkoa. Suomessa verkoston suunnittelu ja käyttö toimii 50 Hz taajuudella. (Lakervi & Partanen 2008, 13–14.)

Kun verkon rakenne toteutetaan säteittäisenä, sen häiriöiden rajoittaminen on helpommin toteutettavissa. Tämän lisäksi se pienentää oikosulkuvirtoja ja jännitteensäätö- sekä suojaus toteutuu yksinkertaisemmin, kun verrataan silmukoituun verkkoon. Rengaskäytön etuina puolestaan ovat pienempi jännitteenalennus sekä energiahäviöt. Tulevaisuudessa lisääntyvä hajautettu sähköntuotanto edesauttaa rengasverkon käytön yleistymistä. (Lakervi & Partanen 2008, 13.)

Esimerkiksi pienjänniteverkon kuormitusten kasvaessa saavutaan ennen pitkää tilanteeseen, jossa muuntopiiri on jaettava tai pj-verkkoa on vahvistettava. Ratkaisuna voi näissä tilanteissa olla muutokset verkon rakenteisiin eli vahvistetaan kyseisen verkon osuuksia. Tällöin johdotuksia voidaan vahvistaa vaihtamalla kaapeleita suuremmaksi, sekä kasvattamalla syöttävän muuntajan nimellisteho suurempaan kokoluokkaan. Muita keinoja on uuden muuntamon lisääminen kyseiselle alueelle, jolloin jännitetasoa voidaan nostattaa tietyllä osuudella verkossa. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että oikosulkuvirrat kasvavat lisätyillä tai muutetuilla muuntajan alueella. Oikosulkuvirran kasvu toisaalta parantaa kosketusjännitesuojauksen toimivuutta, mutta toisaalta saattaa myös vaikuttaa johtojen ja laitteiden mitoitusvaatimuksiin. (Lakervi & Partanen 2008, 225.)

Muita ongelmia voi syntyä, jos samanlaisia kuormituspisteitä liitetään jatkuvasti samalle vaihejohtimille, sillä tästä syntyy voimakas kuormitusepäsymmetria. Tämän vuoksi suunnittelussa tulee huomioida monimuotoisuus ja pyrkiä yhdistämään erilaisia kulutuspisteitä. Suomessa sähköverkkoon kytketyt liittymät ovat lähes poikkeuksetta kolmivaiheisia, jolloin voimakasta kuormitusepäsymmetriaa ei yleensä esiinny. (Lakervi & Partanen 2008, 225–226.)

2.3.2 KJ-verkon suunnittelu

Kun halutaan tarkastella keskijänniteverkon rakennetta ja sen tärkeimpiä osuuksia, koostuu se seuraavista suojaukseen liittyvistä asioista:

- verkon tähtipisteen maadoitustapa: joko maasta erotettu tai kompensoitu (maadoitus sammutuskuristimen kautta)
- keskijännitejohto suojataan katkaisimella
- ylivirta-, maasulku- sekä jälleenkytkentärele(et)
- verkolla olevat kytkinlaitteet (erottimet) ja vianilmaisimet (Lakervi & Partanen 2008, 125.)

Rakenteeltaan keskijänniteverkko on yleensä rakennettu osittain silmukoituna, mutta sitä käytetään yleensä säteittäisenä. Kun verkon osuutta rakennetaan tai sille suoritetaan paikallisia toimenpiteitä, ei näitä toteuteta yhdellä kerralla. Nämä on pilkottu pienempiin osuuksiin, joita toteutetaan vuosi vuodelta. (Lakervi & Partanen 2008, 125.)

Keskeisiä KJ-verkon kehittämisen ja ylläpidon toimenpiteitä ovat esimerkiksi seuraavat asiat:

- uuden sähköaseman mitoittaminen ja vanhan poistaminen käytöstä
- kapasiteetin lisääminen päämuuntajissa sekä muuntajien vaihtaminen
- johtimien päivittäminen (sijainti, koko, rakenne) sekä varayhteyksien rakentaminen
- yleiset verkon suojaustoimenpiteet ylijännitteiden osalta, katkaisimet ja releet
- erilaiset kunnossapitotoimenpiteet
- käytönvalvonta- sekä käytöntukijärjestelmien käyttäminen ja kehittäminen
- kytkentätilanteet (Lakervi & Partanen 2008, 125–126.)

Suurin osa sähkökäyttäjien kokemista keskeytyksistä johtuu keskijänniteverkossa tapahtuvista vioista, jolloin varayhteysvaihtoehtojen valinnan tärkeys suunnittelun vaiheessa korostuu. (Lakervi & Partanen 2008, 125.)

Haja-asutusalueilla keskijänniteverkko on usein rakennettu avojohtoina ja johto valinta suoritetaan kuormituksen mukaisesti. Sähkömarkkinalain uudistuksen vaikutuksesta haja-asutusalueiden verkkojen vika alttiutta on alettu voimakkaasti pienentämään. Nykyään avojohtoverkkoja saneerataan pääsääntöisesti joko maakaapeli- tai PAS-johtoverkoiksi. Taajamien maakaapeliverkoissa puolestaan korostuu Lakervin & Partasen (2008, 125) mukaan muun muassa

- *kaapeliverkon muoto*
- *maksimikuormitusasteet*
- *lähtöjen ja sähköasemien korvattavuuskysymykset* (Lakervi & Partanen 2008, 125–126.)

Suurkaupungeissa kuormitus jakaantuu tasaisesti laajalle alueelle. Verkot rakennetaan aina rakenteellisesti vahvoina maakaapeliverkkoina, joissa on riittävä määrä varasyöttöyhteyksiä. Tällöin sähkönjakelun toteuttamisessa on useita tapoja. (Lakervi & Partanen 2008, 125.)

2.3.3 PJ-verkon suunnittelu

Keskeinen ero pienjänniteverkon suunnittelussa on se, että tämän pienmuuntamopiiri ei yleensä kata kovin isoa asiakasmäärää tai energiansiirtoa, verrattaessa keskijänniteverkkoon. Tällöin suunnittelussa ei kannata resursoida yhtä suuria määriä PJ-verkon suojaus- ja käyttövarmuuteen, kuten KJ-verkon osalta tehdään. (M, Simonen 2006, 57.)

Pienjänniteverkkoa syöttävät jakelumuuntamot rakennetaan usein sähköistettäessä uudisrakennusalueita tai kun vanhaa verkkoa saneerataan. Suomessa jakelumuuntamossa jokaisella lähdöllä on oma sulakesuojaus sekä jakelumuuntamon tehtävänä on hoitaa vikavirta- ja ylikuormitussuojauksen jakeluverkon osalta. Tämän lisäksi tyypillinen jakelumuuntamo sisältää

- Keskijännitekojeisto kytkinlaitteineen
- jakelumuuntaja(t)
- pienjännitelähdöt ja niiden ylivirtasuojat
- apujännitejärjestelmän (Lakervi & Partanen 2008, 157, 163.)

Maaseudulla sähkönsyöttö on toteutettu yleensä pylväsmuuntamoilla ja nykyään tyypillisesti kevyellä puistomuuntamolla. Tällöin näiden keskijännitejohto on liitetty muuntajan ja ensiöliittimien väliin tulevalla eristimellä. Pylväsmuuntamoissa käytetään tyypillisesti ylijännitesuojausta, jolloin suojalaitteena on joko kipinäväli tai yhdistelmäsuoja. (Lakervi & Partanen 2008, 158.) Haja-asutusalueella muuntamo syöttää yleensä pientä asiakasmäärää, ja tällöin vikatilanteen sattuessa vika yleensä rajoittuu vain muutamalle asiakkaalle. Tämän vuoksi verkon luotettavuuden parantamista ei ole järkevää toteuttaa silmukoidulla verkolla. (Lakervi & Partanen 2008, 162.)

Verkon tähtipisteen maadoitus on vaikuttavana tekijänä verkon suojausten toteutustavassa. Pienjänniteverkossa maadoitettu järjestelmä on yleisessä käytössä, jolloin ylivirta- ja kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen on yksinkertaista. Pienjänniteverkon suunnittelussa on etenkin tärkeää huolehtia standardin mukaisesta pienjännitelaitteiden kosketussuojauksesta, sillä käytössä olevat johdot ovat yleensä lähellä laitteita, paloherkkiä rakenteita sekä ihmisiä. (Lakervi & Partanen 2008, 158–159.)

Tavallisin pienjännitejako- ja vikavirtasuojalaite on varoke. Tämän sulake tulee mitoittaa siten, että se kestää kuormitusvirran. Sen täytyy kuitenkin lauaa riittävän nopeasti, jotta mahdolliset kosketusjännitteet pysyvät sallituissa arvoissa. Suojauksen toimivuuden kannalta määrävänä tekijänä on lähdön pienin oikosulkuvirta, eli johdon loppupäässä tapahtuvan yksivaiheisen oikosulun vikavirta. (Lakervi & Partanen 2008, 163.)

2.4 Sähköasemat ja niiden suunnittelu

Sähkö- eli kytkinasemien suunnittelu on kauttaaltaan monimutkainen prosessi. Elovaaran & Haaran (2011, 96) mukaan tähän kuuluu useita tärkeitä tekijöitä kuten ympäristö, ajankohtaisuus, taloudellisuus, turvallisuus, laajennettavuus, maadoitettavuus ja monta muuta seikkaa.

Tärkeimmät sähköaseman laitteet ovat muuntajat, katkaisijat, erottimet ja mittamuuntajat. Sähköasemilla on lisäksi komponentteja liittyen sen suojaukseen, esimerkiksi suurjänniteverkkoon liittyviä releitä ja pien- sekä keskijänniteverkossa varokkeita. Kun sähköaseman suunnittelua tehdään, tulee tässä huomioida, että sen tulee rakenteeltaan ja asennukseltaan täyttää sille määritellyt vaatimukset. Näitä käsitellään esimerkiksi SFS-standardissa 6001 ja 6000. (Elovaara & Haara 2019, 76.)

Asennukset suoritetaan pääsääntöisesti edellä mainittujen SFS-standardisarjojen mukaan. Standardi SFS 6000 soveltuu pienjännitesähköasennuksiin eli enintään 1000 V asennuksiin. Standardia SFS 6001 puolestaan sovelletaan suurjänniteasennuksiin eli yli 1000 V asennuksiin. (Tukes.)

2.5 Verkoston kaapelityypit

Johdot voidaan jakaa kahteen eri luokkaan – ilmajohdot ja kaapelit. Kun tulkitaan mihin luokkaan mikäkin johtoratkaisu kuuluu, voidaan kaapeleiksi luokitella kaikki muut johtimet, joiden eristeenä on käytetty muuta kuin ilmaa sen eristimenä. Käytännössä rajausta tehdään asennustavasta riippuen. Johdot, jotka asennetaan pyl-

väiden varaan ulkoilmaan, voidaan luokitella ilmajohdoiksi. Kaapelit, joita voidaan kutsua johdoiksi, asennetaan puolestaan kaapelihyllyille tai vastaaviin käyttösovellutuksiin. Esimerkiksi kaapelit sijoitetaan sisätiloissa kaapelihyllyille ja ulkona ne sijoitetaan maan alle tai veteen. (Elovaara & Haarla 2011, 250.)

2.5.1 PJ-verkon kaapeliratkaisut

PJ-verkon rakentaminen haja-asutusalueilla on perinteisesti toteutettu pylväsmuuntamalla ja AMKA-riippukierrehjoilla. Maakaapelointi on kuitenkin yleistynyt, kun kaapelin asennus on voitu tehdä auringon alla. Pienjännitemaakaapelointi on usein AMKA-verkkoa edullisempi ratkaisu. AMKA-kaapeleita ei myöskään välttämättä hyväksytä näiden ulkonäön vuoksi tai tilan puutteen vuoksi taajamien keskustoissa. (Lakervi & Partanen 2008, 160.) Kaupunki asutuksessa kaapelointi toteutetaan käytännössä aina maakaapeliverkkona (STUK 2011).

2.5.2 KJ-verkon kaapeliratkaisut

KJ-verkot ovat perinteisesti rakennettu haja-asutusalueilla avojohtoina. Nykyään ja tulevaisuudessa nämä tullaan rakentamaan maakaapeleina tai ilmajohtoina. Ilmajohtoverkoissa suositaan jatkossa johtojen sijoittamista teiden läheisyyteen joko PAS- tai avojohtona. Taajama-alueella johtona on käytetty yleisesti maakaapelia. (Lakervi & Partanen 2008, 125.)

Myös PAS-johtoa on käytetty keskijänniteverkossa, joka viittaa ohuella muovikerroksella päällystettyyn avojohtoon. Johtimet ovat tällöin lähempänä toisiaan kuin päällystämättömässä avojohdossa. (Elenia.) Johtimien koskettaessa toisiaan hetkellisesti, ei tämä johda läpilyöntiin eristävän muovikerroksen ansiosta. (Lakervi & Partanen 2008, 145).

2.6 Maakaapelin asennus

Suunnittelun alussa on monia tehtäviä, jotka tulee selvittää ennen kuin työ voidaan aloittaa. Esiselvitysten ideana on toimia tukena, kun myöhemmässä vaiheessa aloitetaan asennustyöt. Hyvällä ennakkoinnilla voidaan pienentää esimer-

kiksi liikenteen infralle aiheutuvaa haittaa. Mahdolliset asennuspaikat ja asennussyvytydet tulee tarkastaa maaperäkattojen avulla. (Pirkanmaan ELY-keskus) ELY-keskuksen sivulla on laajemmin kerrottu maakaapelin asennuksen vaiheista, jotka tulee huomioida maakaapelin suunnittelussa. Tämä on kuitenkin osa maastosuunnittelua, jota ei tässä työssä käsitellä tarkemmin.

2.7 Liittymäkaapelin valinta ja mitoitus

Sähköverkon suunnittelijoille tarjotaan eri sähköyhtiöiden kautta tietopaketteja, jossa kuvataan esimerkiksi mitä liittymäkaapeleita kyseisessä sähköverkkoyhtiössä käytetään. Seuraavana esimerkkinä toimii Tampereen sähköverkkoyhtiön tarjoama liittymisjohdon liittymisluokkien listaus. Verkkoyhtiön tarjoama tiedote perustuu SFS 6000 standardiin.

Tampereen Sähköverkon ohjeistuksessa on kerrottu sähköverkkoon liittymisestä ja liittymisjohdon mitoituksesta. Ohjetta voidaan käyttää vyöhykkeissä V1, V2 ja V3. Vyöhykkeet on jaettu pääsulakekoon sekä liittymän maantieteellisen sijainnin mukaan. Vyöhykkeet ovat määritelty seuraavalla tavalla Tampereen Sähköverkkoyhtiön alueella:



1. Vyöhyke 1 pätee taajamien asemakaava-alueella, osittain sen välittömässä läheisyydessä, sekä kun liittymän käyttöpaikan etäisyys on enintään 50 metriä sen jakelumuuntamolta.
2. Vyöhyke 2 sijoittuu V1 ulkopuolelle. Jakelumuuntamo saa sijaita mitatusti enintään 51–400 metriä sähkönkäyttöpaikasta ja sulakkeen maksimikoko on 3x63 A.
3. Vyöhyke 3 sijoittuu V1 ja V2 ulkopuolelle. Jakelumuuntamo saa sijaita mitatusti enintään 401–600 metriä sähkönkäyttöpaikasta ja sulakkeen maksimikoko on 3x63 A. (Tampereen Sähköverkko.)

Liittymisjohdon pituus saa tällöin olla enintään 100 metriä kun se on vyöhykkeellä V1 ja liittymän luokka on 3x25 – 3x630 A. Vyöhykkeille V2 ja V3 liittymän koko on 3x25 – 3x63 A ja tällöin liittymisjohto saa olla enintään 50 metriä. Tampereen Sähköverkon ohjeistusta ei tule käyttää, jos liityntäjohtoon tyyppi eriaa yllä mainituista. Tässä tilanteessa tulisi kääntyä verkkoyhtiön puoleen ja tarkistaa asia ennen sen rakentamista. (Tampereen Sähköverkko.)

Seuraavassa kuviossa on esiteltyä Tampereen Sähköverkon asettama ohjeistus liittymäkaapelien valinnasta, kun se tehdään liittymän koon mukaan.

LIITTYMISJOHDOT LIITTYMISLUOKITTAIN (AL-KAAPELIT)

Liittymän koko (A)	Ensisijainen kaapelointi	Vaihtoehtoinen kaapelointi	Vaihtoehtoinen kaapelointi
<i>Jos muuta ei ole erikseen mainittu, niin liittymiskaapelit voidaan asentaa maassa vierekkäin tai vierekkäin oleviin putkiin. Liittymäkaapelien asennustavan ja kuormitettavuuden vastuu on liittymän haltijan suunnittelijalla/sähköurakoitsijalla. Liittymäkaapelointi voidaan toteuttaa myös toisin mm. kuparikaapeleilla, mutta siitä on sovittava erikseen ja mitoituksesta/asennustavasta vastaa liittyjä.</i>			
25	AX25		
35	AX25		
50	AX25		
63	AX25		
80	AX95		
100	AX95		
125	AX95		
160	AX185		
200	AX185		
250	2 x AX185	AX300	AX185 suoraan maahan asennettuna
320	2 x AX185	AX300 suoraan maahan asennettuna (315A)	
400	2 x AX185	2 x AX300	
500	2 x AX300	2 x AX185 suoraan maahan asennettu, kaapeleiden väli 25 cm	3 x AX185 [3x(3x160A) = 480A]
630	3 x AX300 (600 A)	3 x AX185 suoraan maahan asennettu, kaapeleiden väli 25 cm (600 A)	
750	3 x AX300		
1000	4 x AX300 putkiin asennettuna, putkien väli 25 cm	4 x AX300 suoraan maahan, kaapeleiden väli 25 cm	5 x AX300 [5x(3x200A)]

KUVIO 1. Liittymisjohdon määrittely liittymän kokoluokan mukaan (Tampereen Sähköverkko)

Kuviossa on esiteltyä AL-kaapeleille suunnatut kokoluokat AX25-AX300 liittymän koon ollessa 25–1000 A. Esimerkiksi jos liitäntäpisteen kuormitukselle on asetettu 50A sulake, tällöin sille voitaisiin valita liityntäjohdoksi AX25. Johtimen tulee täyttää SFS 6000 asetetut vaatimukset johdon kuormitettavuuden osalta sen koko asennusmatkalta. (Tampereen Sähköverkko.)

Tampereen Sähköverkon kaavio pohjautuu SA2:08 ohjeistukseen, jossa kerrotaan pienjänniteverkon ja jakelumuuntamoiden mitoittamisesta standardin SFS 6000:n mukaisesti. Ohjeessa käsitellään esimerkiksi pienjänniteverkon kaapelin ja sulakkeen valitsemista sekä kulutuspuisteiden ennustamista ja laskemista. Ohjeistus tarjoaa hyvän lähtökohdan suunnittelijalle. (Energiateollisuus.)

SA2:08 ohjeistuksen mukaan, runkokaapelia suojaava sulake määräytyy maa-kaapeliverkkojen osalta usein kaapelin poikkipinnan ja hätäkuormitettavuuden mukaan. Liittymisjohdoissa se puolestaan perustuu ylikuormituskestoisuuden

mukaan. Sulaketta tulee pienentää esimerkiksi tilanteessa, jossa vikasuojauksen ehto syötön automaattisesta poiskytkennästä ei toteudu. (Energiateollisuus.)

Säteittäisesti käytetyissä maakaapeliverkoissa tulisi ohjeistuksen mukaan huomioida selektiivinen vianpaikan erottaminen. Tämä pätee tilanteissa, jossa on monia jakokaappeja peräkkäin. Jotta voidaan estää johtohaaran lopussa sattuvan vian näkyminen häiriönä johdon alkupäässä, tulisi sulakkeita porrastaa kaapeittain pienemmiksi (kuormitusten sallimissa puitteissa). Edellä mainittu sulakeporrastus on kuitenkin hankalasti ylläpidettävä eikä tämä lisää käyttövarmuutta. Tästä johtuen on suositeltu, ettei porrastusta käytetä. (Energiateollisuus.)

2.8 Sähkösuunnittelun haasteet

Sähköntuotanto on aiemmin jakautunut pelkästään isoille voimalaitoksille, mutta nykypäivänä tuotantoa on alkanut olemaan hajautetussa muodossa. Tällä tarkoitetaan sähköntuotannon jakautumista verkon eri jänniteportaille sekä yksittäisten kuluttajien sisäiseen verkkoon. Tällaisia tuotantomuotoja ovat esimerkiksi aurinko- ja tuulienergian valjastaminen osaksi sähköntuotantoa. Näissä ovat etuina sähkönsiirron lyhentynyt matka, kun ne on sijoitettu lähelle kulutuspisteitä. (Lakervi & Partanen 2011, 209–211.)

Kun tilannetta tutkitaan sähkönjakelun kannalta, on jakelujohtoon liitetty toiminnassa oleva generaattori, joka nostaa lähiseudulla olevan verkoston jännitettä. Generaattori voidaan tällöin havainnollistaa negatiivisena kuormituksena. Koska kasvanut energiantuotanto pienentää jännitehäviöitä, voi johdotuksen mitoitus keventää. Mitoituksessa tulee kuitenkin huomioida generaattorin toimintavarmuus, eli sen täytyy pystyä syöttämään verkkoa kuormituksen ollessaan suurimmillaan. Tämän vuoksi esimerkiksi tuulivoimantuotanto ei täytä kyseistä vaatimusta. (Lakervi & Partanen 2011, 211.)

Jakeluverkon suunnittelussa tulee voimalaitosten lisättäessä huomioida, ettei tämän tuotannon teho kuitenkaan ole huomattavasti suurempi kuin alueen tarvitsema teho. Tällöin jännitteennousema voi muodostua haitalliseksi. Tätä voidaan estää suunnitteluvaiheessa vahvistamalla keskijänniteverkkoa sekä lisäämällä rengasverkkomallia. Haitallista jännitteennousua voidaan tällöin estää sulkemalla

silmukoita verkossa, koska uusi voimalaitos luo lisää syöttösuuntia verkostoon. Voimalaitoksen lisääminen vaikuttaa myös oikosulkuvirtaan. Pienempien generaattorituotantojen viat pyritään estämään toteuttamalla generaattorin irrottaminen verkosta vian ajaksi. (Lakervi & Partanen 2011, 212.)

2.9 Tulevaisuuden sähköverkkojen haasteet

Verkostosuunnittelussa käytetyt ohjelmat ja käytön työkalut joudutaan tulevaisuudessa muokkaamaan toimimaan eri ympäristössä, kuin mihin ne ovat tällä hetkellä luotu. Suunnittelussa tärkeänä pidetty ennustavuus ei tule täydellisesti toteutumaan, koska esimerkiksi tuulivoimaa ei pystytä ennustamaan täysin todennukaisesti ja tämä tulee lisäämään ennustevirheitä. Kuluttajan ja toimittajan välistä kaksisuuntaista tietoa halutaan lisätä. Tämä onnistuu esimerkiksi lisäämällä sähköverkkoon uusia energiamittareita. Sähköverkon kulutusta ja tuotantoa voitaisiin näin paremmin mitata ja kommunikoida reaaliajassa. (Elovaara & Haarla 2011, 511–512.)

Kasvava trendi sähkönkulutuksessa tulee luomaan omat haasteensa sähköverkon suunnitteluun ja kunnossapitoon, kun suuria määriä energiaa joudutaan siirtämään jakeluverkossa. Tähän vaikuttaa suuresti kasvava tarve esimerkiksi sähköautojen lataukselle. Siirtoverkkojen osalta kehitys tulee kasvamaan suurempaan sähkötehon siirtoon maiden sisärajoissa ja eri maiden välillä. Tämä osaltaan kasvattaa tarvetta laaja-alaiselle kommunikaatioteknologialle, kehittyneille web-pohjaisille ratkaisuille, joiden turvallisuudesta on huolehdittu sekä ohjelmistojen tulee olla toimintavarmoja sekä luotettavia. Tarvetta voi olla myös siirtoverkkojen omille tiedonsiirtoväylille, koska tiedonsiirrossa ei saa esiintyä ruuhkia tai viiveitä, koska niillä olisi jopa henkeä vaarantavia seuraamuksia. (Elovaara & Haarla 2011, 512.)

3 SCADA

3.1 SCADA yleisesti

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) viittaa kaukomittaukseen, tiedonkeruuseen ja prosessin ohjaukseen. SCADA kerää prosessin kannalta oleellisen tiedon, esittää informaation käyttäjäystävällisessä muodossa, siirtää tiedon valvomoon käsiteltäväksi ja analyysin perusteella ohjaa prosessia. (Bailey, Wright 2003, 2.) SCADA on kehittynyt teknologian kehittymisen myötä. Tarve älykkäälle ja tietoturvaliselle systeemille on pitänyt ohjausjärjestelmän päivittyneenä. SCADA-ohjausjärjestelmän arkkitehtuuri perustuu nykyään paljolti pilvipalveluun. (Dey, & Sen 2020, 168.) SCADA-järjestelmä voi esimerkiksi huomauttaa valvomon operaattoreita tuotelinjan virheellisistä tapahtumista. Operaattori voi tämän seurauksena tarkkailla tapahtumien generoimaa dataa HMI:n kautta ja selvittää ongelman juurisyyn. (inductiveautomation 2018.)

3.2 SCADA käyttösovellutukset

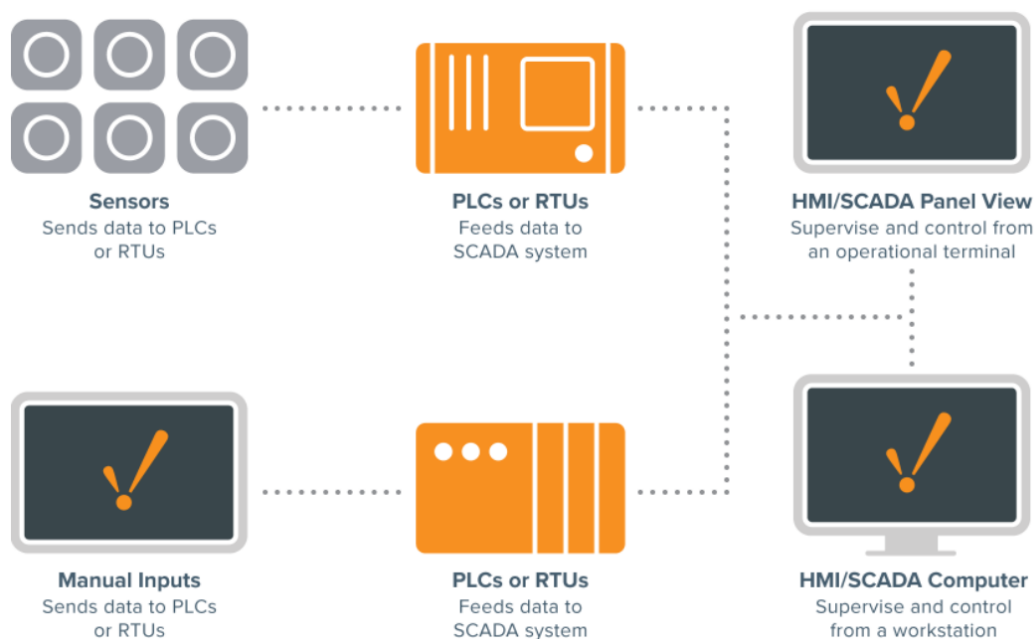
SCADA:n käyttösovellutus vaihtelee riippuen toimialasta. Tämä olla yksinkertainen systeemi, kuten rakennuksen lämpötilan mittaus tai kompleksi systeemi, jolla mitataan ja ohjataan sähkövoimalaitosta, sähkönjakelua ja sähkönsiirrosta aiheutuvia häviöitä. (Dey & Sen 2020, 165.)

SCADA-ohjausjärjestelmää käytetään useaan eri tarkoitukseen, koska tämä soveltuu niin pieniin, kuin isompiinkin konfiguraatioihin. Sitä käytetään modernissa teollisuudessa: energia-, elintarvike-, tuotanto-, öljy ja kaasu-, kierrätys-, kuljetus-, ja jätevesiteollisuudessa. SCADA on näiden lisäksi osana monta muutakin toimialaa. SCADA on keskeinen työkalu sähkönjakeluverkkojen käyttötoiminnassa. (inductiveautomation 2018.)

3.3 SCADA arkkitehtuuri

SCADA-ohjausjärjestelmän arkkitehtuuri voi sisältää PLC:t (Programmable Logic Controller) eli ohjelmoitavat logiikkaohjaimet tai RTU:t (Remote Terminal Unit) eli

etäterminaaliyksiköt. Käyttöliittymät eli HMI:t (Human-Machine Interface) sekä teolliset koneet, sensorit ja päälaitteet lähettävät tietoa PLC:lle tai RTU:lle. (inductiveautomation 2018.) Tiedon etenemistä sensoreilta ja päälaitteilta SCADA-järjestelmään on hahmoteltu kuviossa 2.



KUVIO 2. Yksinkertainen SCADA diagrammi (inductiveautomation 2018)

Kuviossa 2 nähdään, kuinka sensorien keräämä data tai manuaalisesti syötetty data kulkee PLC:lle tai RTU:lle, jotka puolestaan ohjaavat tietoa HMI:lle tarkasteltavaksi. SCADA-ohjelmisto käsittelee kerätyn tiedon analysoitavaan muotoon valvomoon, jossa tehdään kriittisiä päätöksiä. (inductiveautomation 2018.)

3.4 SCADA-järjestelmän datakommunikaatio

Tyypillisesti SCADA-järjestelmään tulee tietoa analogisessa ja digitaalisessa muodossa. Analogista signaalin arvoja voidaan siirtää luettavaksi tiedoksi muuntimen avulla, joka mittaa esimerkiksi muuntajan tai jakelujärjestelmän jännitteen ja virran arvoja. Nykyisin analogisen tiedon muuntaminen digitaaliseen muotoon järjestyy helposti LAN:in kautta, jolloin tieto saadaan suoraan RTU:lle. Aiemmin tämä jouduttiin toteuttamaan johdoilla kenttälaitteen sekä RTU välillä. (Thomas & McDonald 2015.)

Digitaalinen data on jonkin asian tila tai suureen arvo, joka muodostuu yleensä kahdesta tilatiedosta. Tämä voi olla fyysinen kontaktorin auki/kiinni tilanne, tai jännitteen päällä/pois signaali. (Thomas & McDonald 2015.) Tämä voidaan toteuttaa seuraavilla tavoilla:

1. Virta tietona
2. Virta tietona, jossa kontaktorin muutoksia verrataan tallennettuun raporttiin
3. Sekvenssinä, jossa on talletettuna ajanjaksoja
4. Akkumulaatio (esimerkiksi joltakin ajalta seurattu kontaktorin tilatiedot)

(Thomas & McDonald 2015.)

Analoginen signaali muunnetaan 4–20 mA:n virtasuureeksi, jonka jälkeen se voidaan muuntaa binääriarvoksi. Tätä binääriarvoa voidaan tämän jälkeen tutkia RTU:n kautta. (Thomas & McDonald 2015.)

3.5 Mittalaitteet

Sähköverkon käyttötoiminnassa hyödynnetään useita eri mittalaitteita ja tarve mitata eri suureita on suuri. Mittalaitteella voidaan ohjelmoidusti indikoida tai hälyttää ekeskeytyksistä ja jännitevaihteluista verkon toiminnassa. Indikoinnin ja hälytyksen laukaiseva kynnyspiste tulisi olla aseteltavissa raja-arvoilla. (Energiateollisuus 2016.)

Toimintakategorioina indikaattoreille voidaan asettaa esimerkiksi

1. pois käytöstä
2. tallennus tapahtumalokiin
3. tallennus tapahtumalokiin ja hälytys (Energiateollisuus 2016.)

Hälytysten kesken tulisi myös olla mahdollisuus priorisointi/lukitus -toimintoon, jossa samanaikaisten tapahtumien sattuessa lähetetään priorisoidusti tärkein tieto valvontaan. (Energiateollisuus 2016.)

Keskeytystietojen tallennuksen tulisi asetuksen veloitteen alaisena olla vähintään kahden vuoden ajalta saatavilla, jotka löytyvät tarkoitukseen sopivasta verkonhaltijan järjestelmästä. Tiedot voidaan lisäksi tallentaa

- luentajärjestelmään, jos tämän kapasiteetti on riittävä

- mittaustiedonhallintajärjestelmään
- erilliseen verkonhaltijan sähkön keskeytys- tai laatu-tietojärjestelmään (Energiateollisuus 2016.)

Verkosto automaatiolla voidaan helpottaa tiedon keruuta sekä ohjausta, sillä SCADA:lla on perusfunktiot monitoroinnin ja ohjauksen osalta. (Thomas & McDonald 2015.) Seuraavissa kappaleissa esitellään erilaisia tapoja hyödyntää automaatiota sähköverkon osissa.

Hälytysten arviointi

Kun järjestelmään on lisätty älykkäitä toimilaitteita, voidaan näillä esimerkiksi suorittaa häiriöanalyysiä. Vika-analyysijä voidaan suorittaa tallentamalla vika-käyrä ja siihen liittyviä aikatietoja. Tämän avulla voidaan mallintaa ja ennakoida tulevia vikatilanteita. Esimerkkitapauksena voidaan esittää vikatilanteen saartoa, jolloin sitä voidaan tutkia tarkemmin. Kun sähkönjakelussa tapahtuu jokin vika, voi se edetä nopeasti, jolloin vian syntyperää voi olla vaikea paikantaa. Tässä tapauksessa, jos vika voidaan saartaa tietylle alueelle ja sen tapahtumasta on tallennettu tietoa, voi operaattori paikantaa vian alkuperän. (Thomas & McDonald 2015.)

Sähkönlaadun monitorointi

Sähkönlaatua tulee tarkastella mahdollisten häiriöiden vuoksi. Esimerkiksi verkostossa voi ilmetä yliaaltoja tai jännitetason vaihtelua. Tällaiset tapahtumat tulisi saada monitoroitua, koska ne häiritsevät sähkölaitteiden optimaalista toimintaa. (Thomas & McDonald 2015.)

Automatisoitujen ala-asemien ja älykkäiden sensoreiden avulla voidaan suorittaa sähkönlaadun reaaliaikaista monitorointia. Tällöin jännitteen osalta voidaan tutkia sen harmonista ja epäharmonista yliaaltoja jännitekäyriä tulostamalla. Tällöin näistä saatu tieto voidaan kuljettaa operaattorille, joka voi tehdä tarvittavat muutokset. (Thomas & McDonald 2015.) Esimerkiksi jakeluverkon särökertoimen eli THD arvon tulee standardin SFS-EN 50160 mukaan olla pienempi kuin 8 %. (Lakervi & Partanen 2008, 256.)

Komponenttien reaaliaikainen monitorointi

Tyypillisesti sähköjärjestelmän laitteita mitoittaessa, on nämä mitoitettu ennalta määritellyn normaalitilanteen vakioarvojen mukaan. Jos laitteita monitoroidaan, on asetus määritelty todellisen tilanteen mukaan. Esimerkiksi muuntajan hotspot tilaa voidaan tarkastella mittaamalla sen käämityksen lämpötilaa. (Thomas & McDonald 2015.) Tämän raja-arvot ovat esitetty standardissa IEC 60076-7. Muuntajan keskiarvolliseksi ympäristön lämpötilaksi on esitetty noin +20 °C. (Elovaara & Haarla 2011, 147.)

3.6 Tiedonsiirtoyhteys

Tiedonsiirtoyhteyksien ja järjestelmien valinnassa on tärkeää huomioida, että mittarilta voidaan halutulla vasteajalla välittää mm. hälytyksiä verkonhaltijan järjestelmään tai ohjauksia verkonhaltijan järjestelmästä mittalaitteelle. Mittalaitteen tiedonsiirtoyhteyden tulisi onnistua vuorokauden ympäri. Tällöin verkonhaltija pystyisi lukemaan mittalaitteen rekisteröimät tiedot ajankohdasta riippumatta. (Energiateollisuus 2016.)

Tiedonsiirrolle ja luentajärjestelmälle olisi kummallekin hyvä asettaa onnistumiselle vähimmäisedellytyksiä. Esimerkiksi tiedonsiirtotekniikkaan liittyvät tekniset rajoitteet ja tiedonsiirtoväylän elinkaari on otettava huomioon. Tiedonsiirron ja luennan edellytykset ja vaatimukset tulisi kirjata alas mahdollisiin yhteistyökumppaneiden kanssa tehtäviin sopimuksiin. (Energiateollisuus 2016.)

Tiedonsiirtoprotokollan tulisi perustua julkiseen standardiin (esim. DLMS/COSEM). Tiedonsiirtoprotokollan tulisi vahvasti edellyttää avoimuutta, jotta samoihin järjestelmiin pystytään sovittamaan eri toimittajien mittalaitteita. Mittaustietojen siirron ja tallennukseen pääsy on oltava estettyä asiattomilta osapuolilta. Tiedonsiirtoprotokollan tiedonsiirrossa ei saisi tapahtua tiedon muuttumista ilman selkeää virheiden havainnointimenetelmää, jonka puolestaan tulisi olla julkinen. (Energiateollisuus 2016.)

3.7 Tietoturvallisuus

Mittaustietojen siirto ja tallennus ei tulisi olla saatavilla ulkopuolisille. Tietoihin pääsyn estäminen voisi tapahtua mm. tiedonsiirron perustaminen esimerkiksi DLMS/COSEM tai muuhun tunnettuun tiedonsiirtoprotokollaan. Mittalaitteen etäluettavuus ja ohjelmoitavuus tulisi olla vain saatavilla verkonhaltijan tai muille valtuutetuille käyttäjille. Verkonhaltijana tulisi ymmärtää tietoturvallisuuden riskit esimerkiksi tilanteessa, jossa luentajärjestelmä vioittuu. Tämä korostuu tilanteessa, jossa etäluenta ostetaan palveluna. Tietoturvallisuuden vastuista tulee huolehtia palvelusopimuksessa. Etäluentajärjestelmän tietoturva koostuu mm. henkilöstö-, tietoaaineisto-, fyysisestä-, laitteisto-, ohjelmisto-, tietoliikenne- ja käyttöturvallisuudesta. Energiateollisuuden mainitsema DLMS/COSEM perustuu kansainvälisen tiedonsiirtostandardiin IEC 62056. (Energiateollisuus, 2016.)

3.8 SCADA:n käyttö jakeluverkon osissa

Tässä luvussa käydään lävitse Netcontrol:in ratkaisuja, joissa SCADA-järjestelmää on hyödynnetty muuntamoiden valvonnassa sekä KJ- että PJ-puolella.

Esimerkkinä Netcontrol:in käyttämiä SCADA-järjestelmää on hyödynnetty yläasemissa (*primary substation*) seuraavissa ratkaisuissa:

- GW502-iM (*Compact substation gateway*)
- Netcon 500 (*Modular substation gateway & RTU*)
- Netcon 500 OP (*Substation HMI*)
- Netcon 3000 Compact (*Substation SCADA*) (Netcontrol.)

Edellä mainituilla ratkaisuilla voidaan verkkoa hallita kokonaisvaltaisesti. Kyseiset laitteet ja näiden toiminta on pääsääntöisesti tarkoitettu vaativiin olosuhteisiin, jolloin näitä käytetään keskijännitealueella. Netcon 3000 Compact tarjoaa esimerkiksi visuaalisen ja kompaktin käyttöliittymän. SCADA-järjestelmä rekisteröi useita hälytyksiä ja tapahtumia samanaikaisesti, jolloin erillisten analyysityökalujen käyttäminen voi huomattavasti helpottaa hälytysten ymmärtämistä ja hallintaa. Tapahtumahistorian ja muun prosessin ohjauksen kannalta oleellisen datan analyysi toimii myös kriittisten päätösten tukena eri kaavioiden, raporttien ja tilastojen avulla. Netcon 500 puolestaan toimii RTU:na sekä yhdyskäytävänä. Netcon

500 OP toimii HMI:nä ja tämä suorittaa prosessin valvonnan, ohjauksen ja visualisoinnin. Netcon GW502 toimii tietoturvallisena yhdyskäytävänä. Netconin tarjoama NFE kommunikointi ohjelma tarjoaa lisäksi liitettävyyttä muuntamoissa, jolloin lähes kaikki muuntamon laitteet voidaan yhdistää osaksi SCADA järjestelmää.

Netcontrol tarjoaa ala-asemille (secondary substation) ratkaisuuina

- Netcon 200 (*Compact new smart RTU*)
- Netcon 100 (*Smart distribution RTU*)
- Netcon PQA (*Central power quality database and analyser*) (Netcontrol.)

Useimmat verkkokatkokset johtuvat keskijänniteverkon vioista, jolloin vian havaitsemiseen ja etäohjaukseen luotu Netcon 200. Tämä sisältää muun muassa kaksisuuntaisen vian havaitsemisen sekä syöttökytkinlaitteiden ohjauksen. Netcon 100 puolestaan toimii valvontajärjestelmänä pien- ja keskijänniteverkoille. Netcon PQA toimii selainpohjaisena käyttöliittymänä, joka siirtää ja varastoi tietoa esimerkiksi SCADA-käyttöjärjestelmästä. Tätä kautta voidaan analysoida ja raportoida kerättyä dataa. (Netcontrol.)

3.9 Esimerkki SCADA verkostoautomaatio ohjauksesta

Savon Voima Verkko Oy on toiminnassaan hyödyntänyt käytönvalvontaa muun muassa liittämällä kaikki verkoston asemat MicroSCADA Pro-käytönvalvontajärjestelmään. Yritys on hyödyntänyt myös muita verkostoa tehostavia automaatiotratkaisuja. Tämän lisäksi verkostoa on automatisoitu määrittämällä verkostoon suojausvyöhykkeitä. Tämä on toteutettu asentamalla kauko-ohjattavia maastokatkaisijoita pitkiin johtolähtöihin. Verkon hallintaa on parannettu käyttämällä ABB:n tarjoamaa DMS 600 -käyttötukijärjestelmää. (ABB 2011.)

Käytönvalvontaa voidaan sähköverkossa toteuttaa eri SCADA pohjaisilla ohjelmissa. Esimerkiksi MicroSCADA Pro on käytönvalvontajärjestelmä, johon on kytketty ABB:n DMS 600 käyttötukijärjestelmä, jolla voidaan hallinnoida sähköverkkoa. Automaatiota käytetään osana sähköverkon jakelua varmistamaan toimitusvarmuutta. Esimerkiksi maastokatkaisimilla voidaan häiriöiden vaikutusta rajata

koskemaan mahdollisimman pientä asiakasmäärää, pienentämällä jakeluverkon suojausvyöhykkeitä. Tällöin verkon kokonaistilaa voidaan tarkastella tallentamalla siitä hetkellisiä tilannetietoja, ja viemällä ne SCADA tukiasemalle, jossa operaattori voi tutkia verkkoa saatavien tietojen avulla. (ABB 2011.)

3.10 SCADA vikatilanteessa

SCADA ohjauksella voidaan monitoroida verkon toimintaa ja se tarjoaa hyödyn esimerkiksi vikatilanteiden selvityksessä. Tämän luvun malliesimerkki on kuvattu Lucy Electric tarjoaman SCADA:n pohjalta. Esimerkki on havainnollistettu rengasverkko tapauksessa. Kun verkossa syntyy ongelma, esimerkiksi puu kaatuu sähköjohdon päälle ja aiheuttaa vikatilanteen, muuntamon syötössä tapahtuu katkos ja tällöin sähkönsyöttö katkeaa asiakkaille. (Lucy Electric 2015.)

Jos jakeluverkossa on käytössä SCADA järjestelmä, voi verkkoa tällöin hallita vian sattuessa. SCADA kerää tällöin tietoa indikaattoreilta, jotka tutkivat vian olemassaoloa ja paikantavat tämän sijainnin kahden jakeluaseman väliltä. Tieto etenee järjestelmän kautta operaattorille, joka voi tällöin eristää vian katkaisemalla muuntamoiden väliltä kytkimet ja toteuttaa verkolle ohjaus vaihtoehtoista reittiä pitkin. Kun vika saadaan korjattua, voidaan korjatun verkon toimivuutta testata SCADA:lla. Mikäli testaus on onnistunut, voidaan verkon alkuperäinen tila kytkeä takaisin. (Lucy Electric 2015.)

3.11 SCADA sovellutukset

Opinnäytetyön kannalta haluttiin esittää esimerkkejä SCADA:n sovellutuksista, joilla voidaan paremmin hallita sähkön suunnittelua ja vikatilanteita. Seuraavissa luvuissa käydään näitä yksityiskohtaisemmin.

3.11.1 MicroSCADA Pro

Esimerkkinä ABB:n luoma MicroSCADA Pro (nykyään yrityksen Hitachi Energy omistuksessa) toimii käytönvalvontajärjestelmänä toiminnan monitoroinnissa ja ohjauksessa. Tämän sovelluksen hyötynä on sen tarjoama DMS-verkkotietokanta, joka mahdollistaa reaaliaikaisen sovelluksen verkon ja sen katkosten

valvontaan ja hallintaan. Sovellus tarjoaa myös visuaalisen analyysin verkon toiminnasta. (ABB.)

Analyysi voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraamalla prosessia eri käyttöliittymillä, joita voidaan hyödyntää mm. verkon jäljittämässä, komponenttien paikantamisessa ja raportoinnissa. Sovellus antaa informaatiota dynaamisesti väritetyillä linjoilla, joka kertoo muun muassa topologisesta liitettävyydestä, verkon kytkennän tilasta, sekä ylikuormitetuista linjoista ja jännitehäviöistä. Koko verkkoa voidaan tarkastella yksityiskohtaisemmin maantieteellisten karttojen myötä eri näkymien kautta. (ABB.)

Siinä, missä SCADA siirtää ja käsittelee tietoa valvomoon, DMS tarjoaa analyysi- ja päättelytoimintoja. DMS-järjestelmä vaatii kuitenkin SCADA-järjestelmän, jotta se pystyy ohjaamaan prosessia kentältä saadulla tiedolla. (Miettinen 2011, 5.)

3.11.2 Relion 630

Relion 630 -tuoteperhe on ABB:n tarjoama kokonaisuus, joka kattaa turva- ja ohjausreleet. Seuraavaksi lueteltuna tuoteperheen ratkaisut ja niiden käyttösovellukset:

- REF630 on suunniteltu suojaamaan ilmajohtojen ja kaapelien syöttöjä sähköjakelujärjestelmissä ja teollisuuden sähköjakelujärjestelmissä.
- RET630 on suunniteltu suojaamaan teho- ja nostomuuntajia yleishyödyllisissä ja teollisissa sähköjakelujärjestelmissä. RET630 on ihanteellinen myös muuntajapaikkaohjaukseen.
- REM630 on suunniteltu suojaamaan keskikokoisia ja suuria asynkronisia tai synkronisia moottoreita valmistus- ja prosessiteollisuudessa.
- REG630 on suunniteltu suojaamaan pieniä ja keskisuuria generaattoreita ja generaattori-muuntajalohkoja sähkö- ja sähköjakelujärjestelmissä. (ABB.)

4 KÄYTÖNTUKI- JA SUUNNITTELUOHJELMISTOT

4.1 Yleistä käytössä olevista ohjelmista

Trimble on teollisuusteknologian yritys, joka tarjoaa työkaluja teolliseen ympäristöön. Trimble tarjoaa esimerkiksi Tekla-ohjelmistotuotteita, joiden avulla voidaan suunnitella erilaisia rakenteita Teklan tarjoamien tarkkojen mallien avulla. (Tekla.)

Suunnitteluohjelmalla viitataan tietokoneavusteiseen suunnittelun tukena käytävään ohjelmistoon. Tällä voidaan muun muassa suorittaa monimutkaisia laskentoja nopeasti ja virheettömästi, käsitellä suurta määrää tietoa sekä tuottaa yksityiskohtaisia piirroksia tai muuta visualisointia. Tietokoneavusteista sähkösuunnitteluohjelmaa käytetään verkon mallinnuksessa. Suunnittelija voi luoda uuden suunnitelman tai käyttää jo olemassa olevaa suunnitelmaa. (Salminen 2019.)

Käytöntukiohjelmistolla tarkoitetaan ohjelmistokokonaisuutta, jolla voidaan tutkia sähköverkon tapahtumia analyttisin keinoin. Käytöntukiohjelmistoa käytetään suunnitteluohjelmiston rinnalla helpottaen päätöksentekoa sekä reaaliaikaisen tiedon että laajan tapahtumahistorian avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 236.)

4.2 Trimble NIS

Trimble NIS toimii yrityksille verkkotietojärjestelmänä. Tällä voidaan digitoida verkkojärjestelmää ja sisällyttää siihen paikkatietotoiminnallisuuksia. Trimble NIS ohjelman etuuksina on sen räätälöinti mahdollisuus, jolloin siihen voidaan päivittää ulkopuolisia tietoja, kuten asiakastiedot. Tätä kyseistä ohjelmaa käytetäänkin pääsääntöisesti verkostodokumentoinnin työkaluna. Dokumentoinnissa hyödynnetään myös verkon digitaalista mallia eli digitaalista kaksosta. (Trimble.)

Digitaalinen kaksonen viittaa sähköverkosta luotavaan digitaaliseen malliin, joka syntyy suunnitteluprosessin aikana. Digitaalinen malli luodaan suunnittelun päätyttyä ja se päivittyy koko verkon elinkaaren ajan esimerkiksi käytöntuki- ja kunnossapitotiedoilla. Tämä antaa yritykselle mahdollisuuden analysoida toimintaa päätöksenteon tukena. (Trimble.)

Seuraavaksi on listattuna erilaisia modulaarisia toimialasovelluksia, jotka ovat osana Trimble NIS työkalua:

- *Verkostolaskenta*
- *Verkon suunnittelu ja rakentaminen*
- *OmaisuuDENhallinta*
- *Verkkoinvestointien hallinta*
- *Kunnossapito (Trimble.)*

Jakeluverkon suunnittelu toteutetaan Trimble NIS työkalun avulla eri jännitetasoissa. Tällöin KJ- sekä PJ-verkko ovat kuvattu erillään. Ohjelman sisäisillä toimintoilla voidaan toteuttaa verkon suunnittelua ja sen toiminnan tarkastelua tietyllä alueella. Tämä hyödyttää esimerkiksi verkostolaskentaa, koska tällöin sen laskennallista tarkastelua voidaan rajata pienemmille alueille. (TAMK kurssimateriaali 2016.)

4.2.1 Verkostolaskenta

Sähköverkon suunniteltuja teknisiä mitoituksia voidaan varmistaa verkostosuunnittelijan puolesta. Tällöin varmistetaan, että verkon komponentit vastaavat sähkönjakelun vaatimukseen. Tarkistaminen voidaan suorittaa verkkolaskenta-sovelluksella, jolla voidaan suorittaa seuraavanlaisia laskentoja:

- Tehonjakolaskentaa, jolla varmistetaan kaapelien ja muiden verkon komponenttien mitoitus.
- Oikosulku- ja maasulkulaskentaa, jolla tarkistetaan suojalaitteiden mitoitus verkon osien suurimmilla ja pienemmillä oiko- ja maasulkuvirroilla.
- Luotettavuuslaskentaa, missä vertaillaan vaihtoehtojen kustannuksia pitkällä aikavälillä, ja näiden luotettavuutta optimaalisen verkostorakenteen valitsemiseksi. (Trimble.)

Hyötyinä verkonlaskenta-sovelluksissa saadaan muun muassa

- mahdollisuus turvalliseen ja ideaalisen verkon käytön suunnitteluun ja varmistamiseen
- tukea verkon optimaalisten rakentamisinvestointien tekemiseen
- verkon mitoituksen ja suojauksen tarkistaminen (Trimble.)

4.2.2 Verkon suunnittelu ja rakentaminen

Verkon suunnittelun eri tasoja voidaan vahvasti tukea ”verkon suunnittelu ja rakentaminen” -sovelluksella. Tällä voidaan analysoida verkon heikkoja osia ja sillä voidaan simuloida eri vaihtoehtoja, joka tukee suunnittelua pitkällä tähtäimellä. (Trimble.)

Verkonmallinnustyökaluilla saadaan eri laajuisia ja yksityiskohtaisia verkkosuunnitelma. Suunnitelmat perustuvat älykkäisiin verkkomalleihin, joita voidaan analysoida muun muassa verkkolaskennalla sekä analyysityökaluilla. (Trimble.)

Sovellus kykenee myös hallitsemaan verkon rakentamisen materiaaleja, toimenpiteitä ja kustannuksia. Prosessi automatisoituu käyttämällä sähkötekniikan verkkosuunnitelmien vakiorakennepaketteja ja hinnastoja. Hyötyinä sovelluksen käytölle rakentamisvaiheessa on mm. työnkulun sujuvuus, päätöksenteon luotettava perusta, virheiden väheneminen ja rakentamisen kustannustehokkuus. (Trimble.)

4.2.3 Omaisuuden hallinta

Omaisuuden hallinta -sovelluksella voidaan laskea muun muassa tilan, kunnon, määrän, sijainnin, iän ja alueellisten kulutuksien ja kehitystrendien avulla nykyarvo ja jälleen hankintakustannukset. Sähköverkon analysointia voidaan tällöin harjoittaa useammasta ulottuvuudesta ja voidaan antaa perusteltuja investointipäätöksiä. Tulokset voidaan havainnollistaa esimerkiksi teemakarttoihin ja jakaa Trimble Webmapilla. (Trimble.)

4.2.4 Verkkoinvestointien hallinta

Verkkoinvestointien hallinta -sovellus toimii ratkaisuna verkkoyhtiöiden erilaisien investointien hallinnan aiheuttamiin haasteisiin. Suunnittelussa jatkuvasti päivittyvä tieto on hajautettuna eri laskelmissa ja järjestelmissä useiden eri henkilöiden ylläpitämänä, joka on yhtenä suurena haasteena. Sovellus keskittää ja päivittää verkkoinvestointien hallinnassa vaaditut tiedot (budjetit, ennakoidut ja toteutuneet

kustannukset) yhteen paikkaan, jolloin tieto pysyy ajankohtaisena ja luotettavana. (Trimble.)

4.2.5 Kunnossapito

Kunnossapito-sovelluksella saadaan kokonaisvaltainen tuki sähköverkkojen kunnossapitotoiminnalle. Sovelluksen keskeisinä hyötyinä voidaan pitää mm. kunnossapitotoiminnan suunnittelun ja budjetoinnin nopeutuminen, kenttätyön tehostuminen sekä kustannussäästöt. Kunnossapitotiedot voidaan analysoida ja raportoida investointisuunnittelussa yhdistämällä verkko-ominaisuudet muihin ominaisuustietoihin. Tietoja pystytään myös tarkastelemaan ja syöttämään kentällä mobiililaitteiden avulla, sekä hyödyntää näitä käyttötoiminnassa. (Trimble.)

4.3 Trimble DMS

Trimble DMS tarjoaa työkalut koko sähköjakeluverkon kytkentätilanteen hallintaan aina syöttöpisteistä älykkäisiin mittareihin. Tämä kattaa joukon toimintoja tulevien toimenpiteiden suunnitteluun ja verkon käyttötoimintaan liittyvien tapahtumien (esimerkiksi kytkennät, hälytykset, toimenpideluvat ja muut verkon käyttötoimintaan liittyvät turvallisuustoimenpiteet) kirjaamiseen. Lisäksi käyttötukijärjestelmä antaa tukea jakeluverkon käytöntukeen pien- ja keskijänniteverkoilla integroitumalla sähköasema-automaation ja mittarointi-infrastruktuurin kanssa. (Trimble DMS.)

Trimble DMS toimii hyödyllisenä tekijänä myös keskeytysten hallinnassa ja jakelunpalautuksessa. Tällä voidaan ohjata eri jakelun häiriötilanteita, suunniteltuja kytkentätöitä ja muita keskeytyksiä. Laskennallinen vikojen paikantaminen, vikailmoitusten hallinta ja reaaliaikaiset analyysit toimivat kriittisenä tukena. (Trimble DMS.)

Sähköyhtiöt hyötyvät Trimble DMS:stä helpottamalla päivittäistä käyttötoimintaa, reaaliaikaista suur- ja keskijänniteverkkojen valvontaa ja hallintaa, lähes reaaliaikaista pienjänniteverkkojen hallintaa sekä yleisesti sähköjakelun laadun parantamisen. Trimble DMS antaa myös kontrolloidun hallinnan suurhäiriötilanteissa ja luo laajat keskeytysraportit- ja tilastot. (Trimble DMS.)

Ohjelmisto tarjoaa myös keskeytysviestintään ratkaisun muun muassa julkisella keskeytyskartalla, keskeytystilannetta viestivän puhelinvastaajan ja keskeytyksiä tiedottavan tekstiviestipalvelun myötä. Tällöin viestintäprosessia saadaan automatisoitua ja tehostettua, jolloin asiakaspalvelulle on pienempi tarve. (Trimble DMS.)

5 TRIMBLE OHJEISTUS

5.1 Ohjeistuksen lähtökohdat

Osana opinnäytettä oli tutkia TAMK:in sähköverkkojen suunnittelun kurssiohjeistusta Trimble suunnittelutyökalun osalta. Kurssilla on ollut käytössä vuoden 2016 ohjeistus, jossa on käsitelty oppilastyön suorittamiseen tarvittavia toimintoja. Tässä luvussa käsitellään kurssin sisältöä ja sen ohjeistusta. Tarkoitus on tutkia kehitysideoita kurssiohjeistukseen sen puutteiden pohjalta.

5.2 Kurssin sisältö

Kurssin keskeisenä teemana on tällä hetkellä kaksiosainen suunnittelutehtävä. Suunnitteluharjoitus on jakautunut kahteen osaan. Ensimmäinen osa keskittyy KJ-verkon suunnitteluun ja toinen osa PJ-muuntopiirin suunnitteluun. Tämän lisäksi suunnittelussa on otettu huomioon muuntamon rakenne, kytkennät ja maadoitukset. Seuraavissa kappaleissa käydään osien tehtäviä tarkemmin.

Osassa 1, eli KJ-verkon suunnittelutehtävässä on opiskelijan määrä suunnitella KJ-verkko kaava-alueelle. Tässä osassa on tehtävinä muun muassa maakaapelin valitseminen, uudet muuntamopaikat sekä muuntamon KJ-puolen kojeistojen kytkennät. Valmista tuotosta on tarkasteltu laskentaraporttien avulla, jossa keskitytään ylivirta- ja maasulkusuojauksen tarkasteluun.

Osassa 2 keskitytään puolestaan PJ-muuntopiirin suunnitteluun. Tehtävänä on lisätä muuntopiiriin kulutuspisteitä, joille määritetään niiden vuosittainen kulutus sekä valittu sulakekoko. Tämän lisäksi tehtävässä valitaan liittymäpisteitä edeltävä jakelumuntaja. Lopuksi tehtävässä on keskitytty miettimään lisättävän liittymän taloudellista laskelmaa eli selvittämällä esimerkiksi liittymän liittymismaksu. Näitä on pyritty vertaamaan eri sähköyhtiöiden siirtotariffeihin.

Taustatietoina opiskelijoita on kehoitettu miettimään liittymäsuunnittelussa pidempiaikaisia investointeja, koska tällä hetkellä ei voida arvioida kuinka suuret mitoituskriteerit tulee olla. Opiskelijan on tullut itse selvittää tämä.

Opiskelijoille ei ole tehtävissä asetettu tarkempia määrittelyitä suunnittelun osalta, vaan opiskelija on saanut toteuttaa sen omatoimisesti. Tavoitteena on tullut muodostaa tuotos, joka kuvastaa sähkötekniikan mitoituksen eri vaiheita. (Lehtonen TAMK Kurssimateriaali 2021.)

5.3 Ohjeistuksen nykyhetkinen tilanne

Ohje on vuodelta 2016 ja se koostuu yleisestä tiedosta Trimblen verkkojärjestelmän taustoista. Ohjeistus sisältää Trimblen aloituksen perehdyttämisen eli miten sovellus käynnistetään, miten tätä käytetään ja sovelluksen yleisimmät työkalut. Yleisempiä työkaluja tullaan käsittelemään luvussa 5.3. Lisäksi ohjeissa kerrotaan Trimblen käyttöominaisuuksista, laskentaominaisuuksista sekä tässä havainnollistetaan esimerkkejä suunnittelun eri vaiheista.

Työssä käsitellään myös luvussa 4 esiteltyjä verkon käytön tukijärjestelmiä. Yhtenä käytön tukijärjestelmänä on ohjeistuksessa kuvattu SaaS palvelua Gerako. Sovellus koostuu tietokantaperiaatteesta, ja jakaantuu erilaisiin sovelluksiin. Tieto on tällöin käytettävissä eri sovellusten välillä.

Ohjeissa on lyhyesti avattu yleistä tietoa verkkotietojärjestelmien kehittämisestä ja kuinka nykyisistä graafisista sekä karttapohjaisista voidaan tulkita kohteiden ominaisuustietoja. Sovelluksen ymmärrystä varten on ohjeissa myös käsitelty tietokantaperiaatetta, jolloin oppilas saa ymmärryksen siitä, mihin sovelluksissa käsitelty tieto pohjautuu. Esimerkiksi NIS-verkkotietojärjestelmä toimii rajapintana usealle eri tietojärjestelmälle:

- Asiakastietojärjestelmä – kerää tietoa liittymä- asiakas- ja energiakäyttö-tiedoista.
- Käytönvalvontajärjestelmä (SCADA) (luku 3)
- Käyttötukijärjestelmä (DMS) – näyttää karttapohjaisesti verkon kytkentä-tilanteen ja tukee verkon käyttöä sekä ylläpitoa.
- Materiaalijärjestelmä – hallinnoidaan materiaalitietoja esimerkiksi kustannuslaskelmia varten.
- Verkkotietojärjestelmä(t) – toimii työkaluna osana suunnittelua.

Edellisten pohjustusten jälkeen on ohjeissa esitelty Trimble NIS ja tästä yleistä tietoa. Gerako Oy ja yrityksen SaaS-palvelu on esitelty, antaen opiskelijalle havaintoja sähköverkkoyhtiöiden käyttämistä menetelmistä. Opiskelija saa ymmärryksen siitä, kuinka ulkoinen taho pääsee käyttämään Trimble NIS-ohjelmistoa selainpohjaisen SaaS-palvelun kautta.

Ohjeen tarkoituksena on luoda opiskelijalle ymmärrys yleisistä käyttöominaisuuksista, joihin on sisälletty seuraavat asiat: *Suunnitelman luominen, Käyttöliittymän eri osat, Reunaikkunoiden asetukset, Karttaikkunassa liikkuminen, Tietokannan lataaminen & työmuistin tyhjennys*

Osiossa on myös käsitelty yleisesti hyödyllisiä käyttöominaisuuksia, sekä sitä, kuinka käyttöliittymää voidaan parhaiten hyödyntää suunnittelijana. Lisäksi opiskelijalle selostetaan, kuinka tehty työ viedään master- tai suunnitelmatietokantoihin. Tämän yhteydessä on mainittu, kuinka tietokantojen sisällön lajittelu riippuu verkkoyhtiöstä, eli opetuskäytössä oleva sähkölaitos on tapauskohtainen esimerkki.

Laskennan ominaisuuksien tarkastelussa on käsitelty johtoalkioita sekä johtosien eroavaisuuksia sekä solmupisteiden välistä informaatiota. Osiossa on käsitelty myös muun muassa kuinka laskennan parametrejä voidaan muuttaa. Suunnittelussa yleisimpiä käytettyjä ominaisuuksia on käsitelty omassa osiossaan, jossa on selostettu yleisimpiä Trimble-työkalun ominaisuuksia. Ohjeistus tarjoaa kattavan tiedon suunnittelun toteuttamiseksi. (Lehtonen TAMK Kurssimateriaali 2021.)

Ohje ei tällä hetkellä käsittele kaapelien luontia, symbolitietoja tai raporttien tulostusta kovin tarkasti. Symboleita ei ole käsitelty kattavana listana, jolloin näiden käytöstä syntyy rajallinen ymmärrys.

5.4 Suunnitteluohjelman yleisnäkymä

Ohjelman käyttötoiminta toteutetaan tilauspalveluna, eli ohjelmapalvelu on tilattu ulkoiselta yritykseltä, joka hallinnoi suunnitteluovelluksen käyttötoimintaa. Aiemmin ohjelmaa on voitu käyttää kouluympäristössä, sekä tämän lisäksi Citrix palvelun kautta koulun ulkopuolella, mutta Citrix palvelun käytöstä on luovuttu.

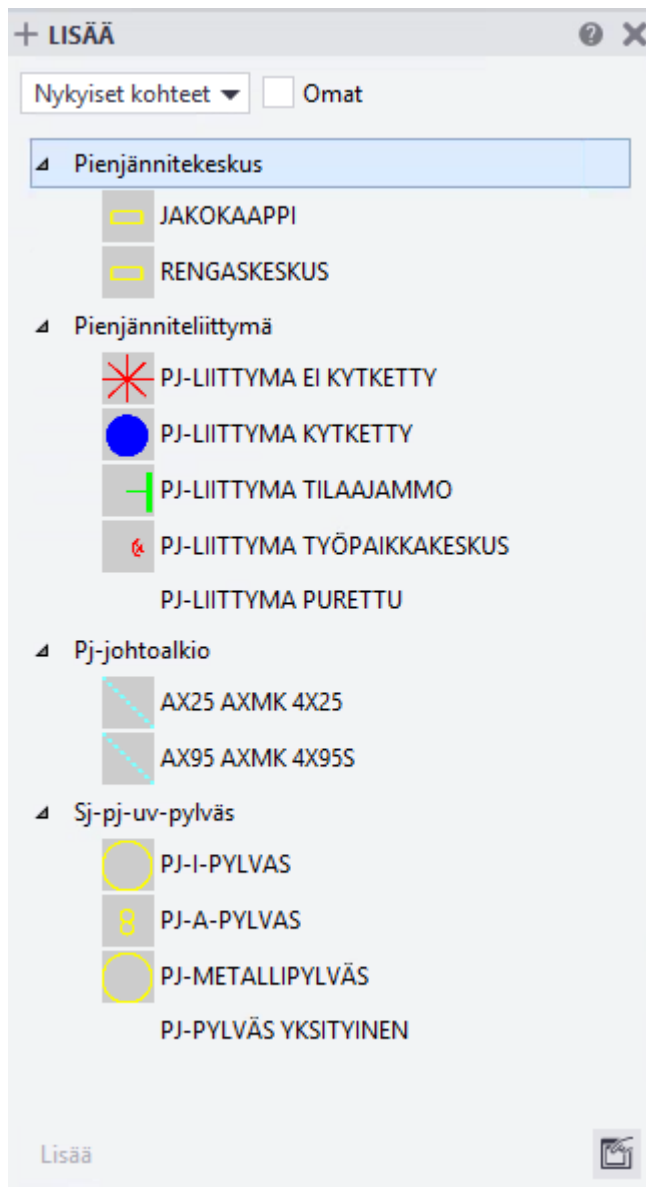
Ohjelman käyttö aloitetaan kirjautumalla Gerakon palvelimelle, josta sovelluksen voi käynnistää tietokoneen ollessa koulun verkossa. Avatessa sovellusta, aukeaa ikkuna, jossa pyydetään valitsemaan olemassa oleva suunnitelma tai luomaan uusi suunnitelma.

5.5 Suunnitteluohjeistuksen kehittäminen

Kun nykyiselle ohjeelle tehtiin tarkastusta oppilastyön ohjeen kautta, voitiin huomata, että ohjeistukseen olisi hyvä lisätä symboleista tietoa. Tämän lisäksi kaapeliasennuksen toimintatapaa haluttiin tarkentaa. Tästä lisättiin tietoa, kuten mitä toimenpiteitä tulisi johdotuksille tehdä, että nämä toimisivat laskentaohjelmassa. Ohjeistukseen lisätään myös selitystä raporttien tulostus työkalusta.

5.5.1 Symbolit

Trimble suunnitteluohjelmassa havainnollistetaan symboleilla eri sähköverkon osia (kuva 1). Näitä voidaan tarkastella suunnitteluohjelman reunaikkunasta lisäämällä kyseinen komento.



KUVA 1. Esimerkkisuunnitelmassa olevien symboleiden listaus

Kuvassa 1 on esitettyä esimerkkilistaus suunnittelualueella käytetyistä symboleista. Nämä ovat tämän lisäksi jaettu kategorioihin, jolloin symboleita voidaan tarkastella tarkemmin. Esimerkiksi pienjännitekeskus näyttää tällöin kaikki suunnittelualueen keskuksat. Symboleiden tarkastelua voidaan myös tarkentaa muokkaamalla kuvan 1 ylhäällä sijaitsevan valikon kautta koskemaan omia suunnittelualueita, tai rajaamaan se koskemaan esimerkiksi jo valmiina olevan tietokannan kohteita.

Tampereen ammattikorkeakoulun lisenssiin kuuluu vain tietyt sille asetetut symbolit. Saatavilla olevat symbolit ei tällöin vastaa kaikkia Trimble-sovelluksen tarjoamia symboleita. (Mäkinen 2016.) Kuvassa 2 on esitettyä muutama Trimblen tarjoamista symboleista.

SÄHKÖASEMA	
110kV SÄHKÖASEMA	
LÄMPÖVOIMALAITOS	
110kV SÄHKÖASEMA FINGRID	
VESIVOIMALAITOS	

KUVA 2. Esimerkki Trimblen olemassa olevista sisäisistä symboleista

Symbolleilla on omat piirrosmerkkinsä, joista ne voidaan tunnistaa. Yllä olevassa kuvassa on esiteltyä näistä muutamia, kuten sähköaseman sekä 110kV sähköaseman piirrosmerkki. Trimblen sisäisistä piirrosmerkeistä tulee kuitenkin huomioida, että kaikki symbolit eivät ole oppilaiden käytettävissä nykyisellä lisenssillä.

5.5.2 Kaapelin esitys

Kun suunnittelussa tehdään kohteille määrittelyä johtotietojen osalta, voidaan sille valita eri tietoja. Näitä ovat esimerkiksi johtimen nimi ja sen kokoluokka, sekä mihin tarkoitukseen johto on tarkoitettu. Kaapeleille voidaan toteuttaa myös hakutoiminto, jolloin Trimbleen tallennetuista johdintiedoista voidaan etsiä haluttu kaapeli. Nämä ovat nähtävillä kuvassa 3.



KUVA 3. Kaapelin määrittäminen

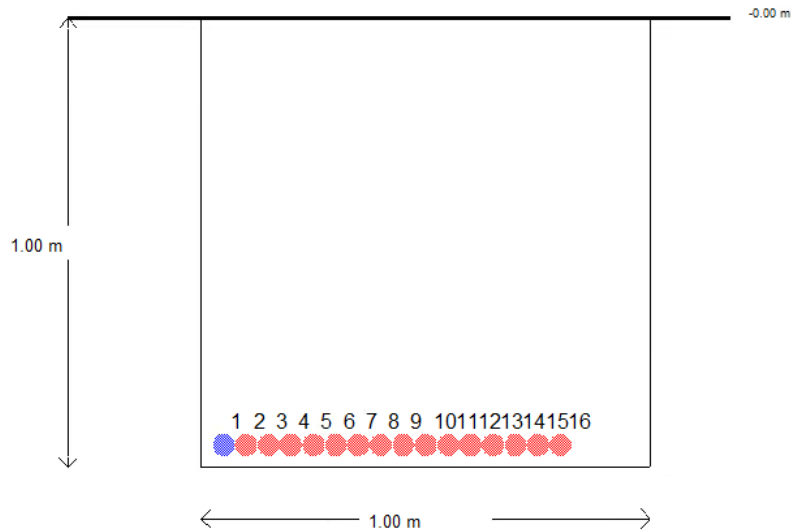
Kuten kuvasta voidaan huomata, liittymäkaapelille on ohjelmassa luotu omat tietonsa. Kun ohjelmalla tehdään esimerkiksi laskennan tarkastelua, huomioi se johdon lajiksi liittymäjohdon.

Liittymäpisteille tulee asettaa johtojen valinnaksi liittymisjohto, jolloin kun tätä tarkastellaan laskennan tulosteessa, ohjelma ei herjaa liittymäjohdon puuttumista. Johtojen poikkileikkausta voidaan tarkastella kuvan 4 mukaisesti.



KUVA 4. Kaapelin poikkileikkauksen tutkiminen

Kaapelin poikkileikkauksen havainnollistaminen voidaan aloittaa vetämällä johdotuksen yli viiva sen alkupäästä sen loppupäähän. Tällöin ohjelma avaa uuden ikkunan, jossa havainnollistetaan kaapeleiden asennus maan alle, joka on nähtävissä kuvasta 5.



KUVA 5. Kaapeliasennuksen poikkileikkaus

Kaapelien osalta näille voidaan tarkentaa myös suojausten tietoja. Esimerkiksi jos kaapeli asennetaan putkeen tai tälle täytyy tehdä tarkempia merkintöjä sen asennuksen suojaamisesta, voidaan ne merkitä näkyviin ohjelman tarjoamalla työkalulla.

5.5.3 Raporttien tulostaminen

Työssä tutkittiin raporttien tulostamista Trimble ohjelmalla. Ohjelmalla voidaan esimerkiksi tulostaa käyttäjälle verkon suunnittelun osia ja tämän tietoja. Kuitenkin suurin osa raporteista on lisenssin takana, jolloin nämä jäävät käyttäjältä käyttämättä. Esimerkiksi lopullisen suunnittelun tuotoksen tulostaminen ja esittäminen jää vaikeaksi oppilaille, kun raportointi työkaluja ei voida käyttää.

6 JATKOKEHITYS JA POHDINTA

6.1 Tulosten analysointi

Työstä muodostui selkeä kuvaus, mitä sähköverkon suunnittelussa tulee huomioida suunnittelutyökalujen osalta. Tällä luotiin pohjatietoa suunnittelun pohjustamiselle, eli mitä olisi hyvä käydä läpi suunnittelun alkuvaiheessa. Tämä helpotti suunnitteluohjelman ohjeistuksen päivittämistä.

Selvityksen pohjalta syntyi käsitys, että sähköverkkojen suunnittelu kurssin osana olisi hyvä luoda jonkinlainen pohjustus SCADA:n toiminnasta. Tällöin suunnittelijalle hahmottuisi tiedon reaaliaikaisen välittymisen tärkeys, joka tukee suunnittelun ennustettavuutta. Tämä olisi tärkeää, varsinkin kun sähköntuotannossa on syntynyt kasvava trendi hajautetussa energiantuotannossa. Tästä johtuen ennustettavuus kulutuksen ja tuotannon välillä häilyy.

Tutkielman kautta voidaan todeta, että Tampereen ammattikorkeakoulun käytössä oleva lisenssi Trimbleen on suurilta osin hyödyllinen, kun opiskelijoille halutaan havainnollistaa, miten tietokantapohjaisella ohjelmalla voidaan toteuttaa sähköverkon suunnittelua. Kuitenkin sen huonona puolena toimii se, että käytössä oleva lisenssi on suurilta osin rajattu vain tiettyihin osa-alueisiin, jolloin kaikki toiminnot eivät ole käytettävissä. Sen vuoksi ohjelman käyttö jää hyvin pin-tapuoliseksi, eikä kokonaishyötyä pystytä saamaan. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että kurssilla on rajattu aika ohjelman käyttöön. Mikäli opiskelijat käyttäisivät kaikkia sovelluksessa olevia toimintoja, ei täytyisi ennalta määritetyt kurssin osaamistavoitteet. Tämän vuoksi osa toiminnallisuudesta, kuten raportoinnin työkalut, jäävät lisenssin ulkopuolelle.

6.2 Ohjeistuksen päivittäminen

Lopullisena havaintona kurssityön ohjeistuksen päivittämisen kannalta on, että opiskelijoille olisi hyvä kertoa selkeästi eri suunnittelun vaiheista ja siitä, mihin ne pohjautuvat. Ohjeen nykyhetkinen tila oli hyvä, mutta koska siellä oli puutteita kaapeleiden sekä liittymisjohdon osalta, loi tämä tarpeen ohjeen päivittämiselle

näiden osalta. Tähän liittyi lisäksi symboleiden esittäminen ohjeessa, jolloin ohjeistuksen eri tilanteiden ymmärtäminen tukisi opiskelijoita enemmän.

Tämän tutkielman pohjalta päivitettiin olemassa olevan suunnitteluohjeistuksen sisältöä. PowerPoint-muotoon toteutettu ohje jätettiin rakenteeltaan alkuperäiseen muotoonsa, eikä tämän ulkoasua muutettu tässä vaiheessa. Ohjeeseen täydennettiin siinä havaittuja puutteita. Työn pohjalta heräsi kuitenkin ajatus, että tulevaisuudessa voitaisiin kurssin ohjeistus videoida, jolloin opiskelijoille muodostuisi selkeämpi oppimateriaali.

6.3 Kurssin kehityssuunta

Osana opinnäytetyötä oli miettiä kurssin kehitysehdotuksia. Koska kurssin opintokokonaisuus koostuu jatkossa viidestä opintopisteestä, tulee sen sisällöltään tarjota laajempi ymmärrys sähköverkkojen suunnittelusta. Kun mietitään kurssin nykyhetkistä tilannetta ja nykypäivän sähköverkon suunnittelua, voitaisiin kursilla keskittyä laajemmin tutkimaan kaapeleiden ominaisuuksia ja mistä näiden valitseminen koostuu. Esimerkiksi Trimble NIS ohjelman laskentatyökalu voi havainnoida kaapelin valitsemista osana piiriä, mutta tämä ei suoranaisesti tarjoa opiskelijalle tietoa miksi kyseinen kaapeli käy piiriin.

Tämän lisäksi kurssilla voisi kehittää muuntamoiden suunnittelua tukityökaluilla, koska tämä jää varsin pieneen osaan osana kurssin harjoitustehtävää. Oppilaille voitaisiin näin tarjota laajempaa ymmärrystä esimerkiksi muuntamoiden komponenttien layout suunnittelusta. Tämäkin onnistuu käytössä olevalla Trimble NIS työkalulla, vaikkakin se ei ole paras vaihtoehto kuvaamaan muuntamon sisäisiä komponentteja.

Yhtenä kurssin kehitysideana olisi sisällyttää SCADA:n käyttö osana kurssin kokonaisuutta. Tällöin käytön tukityökaluja voitaisiin tutkia tarkemmin ja käyttää näistä saatavaa hyötyä osana suunnittelua. Tällä hetkellä kurssin sisältöön ei kuulu tukityökalujen käyttö, koska tällaista ohjelmaa ei ole ollut käytössä. SCADA pohjaisten järjestelmien käyttö jossain muodossa osana kurssin harjoitustehtäviä tarjoaisi opiskelijoille näkemyksen sähköverkon ohjauksen ja tiedonvälityksen

hyödyistä osana verkon korjaus- ja kehitystyössä. Tällöin harjoitustehtävässä voitaisiin havainnoida erilaisia vikatilanteita ja mietti näiden osuutta osana verkon suunnittelua.

LÄHTEET

ABB. 2011. Suojaus- ja automaatioreferenssi Verkostoautomaatiolla parempaa sähkönjakeluverkon toimitusvarmuutta. Luettu 20.4.2022. https://library.e.abb.com/public/4d8538b202bdb7d7c12578920026d94c/SVV_refcase_757447_LRF1a.pdf

ABB. MicroSCADA Pro. Luettu 4.5.2022. https://library.e.abb.com/public/ee139a7216ca44bc8bcc9cf167f93428/1MRS756253_F_en_MicroSCADA_Pro_for_network_control_and_distribution_management.pdf

ABB. Relion 630 series. Luettu 4.5.2022. https://library.e.abb.com/public/fcc5e6b2420e41d6ae5ed9f09797351f/630_series_brochure_2NGA000219_LRENa.pdf

C. Dey, S.K. Sen. 2020. p. 168. Industrial Automation Technologies. Milton: CRC Press.

D. Bailey, E. Wright. 2003. Practical SCADA for industry. Oxford:Newnes.

E. Lakervi, E.J. Holmes. 1995. Electricity Distribution Network Design. IET.

Elenia. Sähköverkon turvallisuus. Luettu 14.6.2022. <https://www.elenia.fi/vastuullisuus/turvallisuus/sahkoverkon-turvallisuus>

Energia. Korvaukset. Luettu 12.6.2022. <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkokatkot/korvaukset>

Energiateollisuus Ry. SA2:08. Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen.

Energiateollisuus. 2016. Tuntimittauksen periaatteita. Luettu 20.4.2022. https://energia.fi/files/6870/Tuntimittausosuus_paiv_20161012.pdf

Finlex. Sähkömarkkinalaki. 9.8.2013/588. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>

Inductiveautomation. 2018. What is SCADA? 2018. Luettu 2.4.2022. <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>

J. Elovaara, L. Haarla. 2011. Sähköverkot 1: järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Otatieto.

J. Elovaara, L. Haarla. 2011. Sähköverkot 2: verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Otatieto.

J. Miettinen. 2010. Sähköverkkojen käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmien käyttöönotto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201201251187>

J. Mäkinen. 2016. Verkkotietojärjestelmän käytön tehostaminen opetusympäristössä. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016060311791>

Lucy Electric. SCADA. Youtube-video. Luettu 27.5.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=6zOyaU1fGz0>

M. Simonen. 2006. Sähköjakeluverkon suunnitteluperusteet. Diplomityö. Luettu 11.6.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20061414>

M. Thomas, J. McDonald. 2015. Power System SCADA and Smart Grids. E-kirja. CRC Press.

Netcontrol. Luettu 20.5.2022. <https://www.netcontrol.com/products/substation-network-automation/netcon-3000-compact>

Netcontrol. Netcon 3000 Compact. SCADA for small networks and primary substations. Luettu 20.5.2022. https://www.netcontrol.com/wp-content/uploads/2019/09/M00228-MA-EN-11_Netcon-3000-Compact-Brochure.pdf

Pirkanmaan ELY-keskus. 2019. Suunnitteluvaiheen esiselvitykset. Luettu 4.5.2022. https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/45096/Suunnitteluvaiheen_esiselvitykset_12-2019/7a2577d8-da6e-4dcb-b585-b2dda9f74d0b

STUK. 2011. Voimajohdot ympäristössämme. Luettu 15.6.2022. Painotalo Kyriiri Oy. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/124913/voimajohtokatsaus_netti.pdf

TAMK. 2016. Trimble NIS verkkotietojärjestelmä TAMK:n opetusympäristössä. Kurssimateriaali.

TAMK. 2021. J. Lehtonen. Kurssimateriaali.

Tampereen Sähköverkko. Sähkölittymähinnastot. Luettu 16.6.2022. <https://www.sahkolaitos.fi/tampereen-sahkoverkko/palvelut-ja-tuotteet/tuotteet-ja-hinnastot/sahkoliittymahinnastot/>

Tampereen Sähköverkko. Sähköverkkoon liittyminen. Luettu 18.4.2022. <https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkoverkko/tsv-ohjepankki/2.sahkonsuunnittelijalle-ja-urakoitsijalle/1.-sahkoverkkoon-liittyminen/sahkoverkkoon-liittyminen-asiakasohje-pj-liittymat-202111308.pdf>

Tekla. Trimblen Tekla-ohjelmistotuotteet. Luettu 5.6.2022. <https://www.tekla.com/fi/tuotteet>

Trimble. Trimble DMS. Luettu 10.5.2022. <https://upa.trimble.com/fi/tuotteet/trimble-dms>

Trimble. Trimble NIS sähköverkoille. Luettu 21.4.2022. <https://upa.trimble.com/fi/tuotteet/trimble-nis-sahkoverkoille>

Trimble. Verkon kokonaisvaltainen digitaalinen malli. Luettu 21.4.2022.
<https://upa.trimble.com/fi/verkon-digitaalinen-kaksonen>

Tukes. Sähköasennusten tekniset vaatimukset. Luettu 4.5.2022.
<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/sahkoasennusten-tekniset-vaatimukset#5e439471>

V. Salminen. 2019. Digitalisaatio energia-alalla. Luettu 15.6.2022.
<https://osuva.uwasa.fi/handle/10024/9529>

VTT. AMM Tietoturvaselvitys. 2013. Luettu 20.4.2022. https://energia.fi/files/967/AMM_Tietoturvaselvitys.pdf