



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MATTI LEHTONEN
KYTKENTÄSUUNNITTELUN PROSESSI- JA
JÄRJESTELMÄKEHITYS

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-
neuvoston kokouksessa
9. Elokuuta 2017

TIIVISTELMÄ

MATTI LEHTONEN: Kytkentäsuunnittelun prosessi- ja järjestelmäkehitys

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 106 sivua, 12 liitesivua

Lokakuu 2017

Tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: professori Pekka Verho

Avainsanat: kytkentäsuunnittelu, kytkentäohjelma, käytönsuunnittelu, käyttötoiminta

Sähköverkossa tehtävien kytkentätöiden määrä on kasvanut toimitusvarmuusinvestointien johdosta. Samalla kytkentäohjelmien määrä on kasvanut, koska jokaisesta keski- ja suurjänniteverkon kytkennästä on suunniteltava kirjallinen kytkentäohjelma. Elenia Oy:n käytöntukijärjestelmässä ei ole avustavia toimintoja kytkentäohjelman suunnittelua varten, vaikka vikojen rajaamiseksi on olemassa automaatiojärjestelmä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli määritellä sähkö- ja turvallisuustekniset perusteet sekä toiminta kytkentäsuunnittelujärjestelmälle, joka pystyy toteuttamaan kytkentäohjelman automaattisesti kytkentäsuunnitelman lähtötiedoista. Lisäksi haluttiin parantaa kytkentäsuunnitelmien lähtötietojen laatua järjestelmäkehityksen avulla.

Kytkeäsuunnittelujärjestelmän määrittelyä varten tehtiin kirjallisuusselvitys kytkentäsuunnitteluun vaikuttavista laeista ja standardeista sekä kuvattiin kytkentäsuunnittelun toimintaympäristö. Kytkentäsuunnittelujärjestelmän toiminnallisuuden kuvaamiseksi toteutettiin teemahaastattelututkimus neljään verkkoyhtiöön ja kolmeen urakointiyhtiöön. Yhteensä teemahaastatteluja tehtiin seitsemäntoista kappaletta. Pääasiallinen aineisto oli Elenia Oy:ssä tehdyt yksitoista haastattelua.

Tutkimuksen perusteella määriteltiin tavoitteiden mukainen kytkentäsuunnittelujärjestelmä, jonka toiminnan perusteella kuvattiin uusi kytkentäsuunnitteluprosessi. Uuden kytkentäsuunnitteluprosessin kuvaaminen oli työn pääasiallinen tulos. Lisäksi kytkentäsuunnittelujärjestelmälle kuvattiin käyttöönottopolku, joka priorisoi tärkeimpien toiminnallisuuksien käyttöönoton.

Kuvattua kytkentäsuunnitteluprosessia tarkasteltiin vertaamalla sitä nykyiseen prosessiin ja haastattelututkimuksen aineistoon. Lisäksi toteutettiin lomake- ja mittaustutkimus kytkentäsuunnittelujärjestelmän vaikutuksesta kytkentäsuunnitteluprosessin tehostumiseen. Näiden vertailujen ja tutkimusten perusteella todettiin uuden kytkentäsuunnitteluprosessin lisäävän turvallisuutta ja tehostavan toimintaa siirtämällä toisteisia asioita järjestelmän tehtäviksi.

ABSTRACT

MATTI LEHTONEN: Process and System Development of Switching Planning
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 106 pages, 12 Appendix pages
October 2017
Master's Degree Programme in Electrical Engineering
Major: Power systems and Markets
Examiner: Professor Pekka Verho

Keywords: switching planning, switching program, planned outage, operational planning

Because of large investments in distribution network reliability the number of switching operations has increased. At the same time the number of switching programs has increased, because a switching program has to be made for every switching operation in medium and high voltage networks. In the distribution management system that is used by Elenia Ltd. there are no assisting features for planning a switching program although there is an automation system for fault location and isolation. The purpose of this thesis was to define the electrical and safety specifications as well as the functionality of a switching planning system, which is can automatically produce a switching program. In addition, one goal was to improve the quality of the initial data of the switching program through system development.

A literature review was conducted on the laws and standards that affect the switching planning process. Literature review also included a description of the distribution operators' operational planning environment. A thematic interview survey was conducted for four distribution system operators and three contracting companies. The objective of the survey was to describe the functionality of the switching planning system. Altogether seventeen thematic interviews were made. The main research material was acquired from Elenia Ltd. with eleven interviews.

Based on the survey and literature review a switching planning system which fulfils the objectives of this thesis was developed. The functionality of the switching planning system was the base for describing the new switching planning process. The new switching planning process was the main result of this thesis. In addition, a commissioning plan for the switching planning system was also described in the thesis. The commissioning plan prioritises the most useful features of the switching planning system.

The switching planning process was examined by comparing it with the current process and to the survey material. In order to study the efficiency of the switching planning process a questionnaire survey was conducted. According to these comparisons and surveys it was found that the new switching planning process will streamline switching planning and increase safety.

ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Elenia Oy:n Verkon käyttö -tiimissä helmikuun ja lokakuun välisenä aikana vuonna 2017. Työn ohjaajan toimi Elenia Oy:n käyttöpäällikkö Heikki Paananen, jota haluan kiittää mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta. Lisäksi haluan kiittää koko nelihenkistä ohjausryhmää asiantuntevista kommentteista, ohjeista ja tuesta diplomityön aikana. Ohjausryhmään kuuluivat Heikki Paanasen lisäksi järjestelmäasiantuntija Antti Koto, käytönsuunnittelija Jani Salmi sekä käyttöinsinööri Selina Sihvonen. Työn tarkastajana toimi Tampereen teknillisen yliopiston professori Pekka Verho, jota haluan kiittää tieteellisen näkemykseni laajentamisesta sekä työn rakenteeseen liittyvistä kommentteista. Haluan myös kiittää Trimble Oy:n Jukka Kurua ja Teemu Värettä työn kommentoinnista.

Erityiset kiitokset haluan osoittaa kaikille haastatteluihin ja mittauksiin osallistuneille sekä erityisesti Tampereen sähköverkon sähkömestarille Jari Virtaselle ja Savon Voima Verkon palveluvastaavalle Timo Kiiskille mielenkiintoisten vierailujen järjestämisestä. Lisäksi osoitan kiitokset myös siskolleni Elinalle suomenkielen kommentoinnista.

Haluan kiittää perhettäni ja ystäviä tuesta ja kannustuksesta opintojen ja muun elämän aikana. Rakkaat kiitokset Hannalle tuesta ja kärsivällisyydestä.

Tampereella 23.10.2017

Matti Lehtonen

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
1.1	Työn motivaatio	1
1.2	Tutkimuskysymykset ja -aineisto	4
1.3	Työn rakenne	6
2	KÄYTÖNSUUNNITTELU VERKKOYHTIÖSSÄ	7
2.1	Sähkönjakelujärjestelmä	7
2.2	Verkkoliiketoiminta	8
2.2.1	Verkkoyhtiön käyttötoiminta	9
2.2.2	Liiketoiminnan valvontamenetelmät	10
2.2.3	Keskeytystilastointi	13
2.3	Käytönvalvontajärjestelmä	14
2.3.1	Käyttöliittymä	15
2.3.2	Elenia Oy:n käytönvalvontajärjestelmä	16
2.4	Käytöntukijärjestelmä	16
2.4.1	Käyttöliittymä ja sovellukset	18
2.4.2	Elenia Oy:n käytöntukijärjestelmä	19
2.5	Verkkotietojärjestelmä	19
2.6	Asiakastietojärjestelmä	20
3	KYTKENTÄSUUNNITTELUN PERIAATTEET	21
3.1	KytKentäsuunnitelman toteutettavuus	21
3.1.1	Keskeytysalueen muodostaminen	22
3.1.2	Rengasyhteyden muodostaminen	23
3.1.3	Asiakastarkastelut ja töiden aikataulutus	24
3.1.4	Verkon kytkentätilanteen hallinta	25
3.1.5	Laskenta kytkentämuutoksissa	26
3.1.6	Sähköasematyöt	27
3.1.7	Muut huomioitavat asia	27
3.2	Keskeytystyöt	28
3.3	Jännitetyöt	30
3.4	KytKentätilaus Elenia Oy:ssä	32
3.5	Uuden verkon käyttöönotto Elenia Oy:ssä	35
4	HAASTATTELUTUTKIMUS	38
4.1	Haastattelututkimuksen toteutus	39
4.1.1	Elenia Oy:n haastattelut	40
4.1.2	Urakointiyhtiöiden haastattelut	41
4.1.3	Verkkoyhtiöiden haastattelut	41
4.2	Lomakehaastattelun toteutus	42
4.3	Mittausten toteutus	43

5	KYTKENTÄSUUNNITTELUPROSESSI ERI VERKKOYHTIÖISSÄ.....	44
5.1	Elenia Oy.....	44
5.2	Tampereen Sähköverkko Oy.....	46
5.3	Loiste Sähköverkko Oy.....	48
5.4	Savon Voima Verkko Oy.....	50
5.5	KytKentäsuunnittelun nykytila.....	52
5.6	KytKentäsuunnittelun kehityskohteet.....	55
6	KYTKENTÄSUUNNITTELUN JÄRJESTELMÄKEHITYS.....	56
6.1	Keskeytysaloitteen tavoitetilan kuvaus.....	56
6.2	KytKentäohjelman automatiikan kuvaus.....	62
6.2.1	Suunniteltu keskeytys.....	66
6.2.2	Jännitetyö.....	67
6.2.3	Uuden verkon käyttöönotto.....	69
6.2.4	Sähköasematyöt.....	72
6.3	Uuden kytKentäsuunnitteluprosessin esittely.....	74
6.4	KytKentäsuunnittelujärjestelmän käyttöönoton vaiheet.....	76
6.4.1	Käyttötoiminnan tilannekuva.....	77
6.4.2	Tärkeät kehitysasiat.....	78
6.4.3	Välitavoite.....	80
7	UUDEN KYTKENTÄSUUNNITTELUPROSESSIN ARVIOINTI.....	83
7.1	Nykyisen ja uuden kytKentäsuunnitteluprosessin vertailu.....	83
7.2	Turvallisuuden kehittyminen.....	87
7.3	KytKentäsuunnitteluprosessin tehostuminen.....	88
7.4	Tutkimuksen onnistumisen arviointi.....	96
7.5	KytKentäsuunnittelujärjestelmän tulevaisuus.....	97
8	YHTEENVETO.....	99
	LÄHTEET.....	101
	LIITE A: KESKEYTYSTILASTOINNIN RAJAUS.....	107
	LIITE B: KESKEYTYKSISTÄ TILASTOITAVAT TIEDOT.....	108
	LIITE C: KYTKENTÄOHJELMAN TURVALLISUUSTOIMENPITEET.....	109
	LIITE D: HAASTATTELUTUTKIMUKSEN KYSYMYSRUNGOT.....	111
	LIITE E: LOMAKETUTKIMUKSEN LOMAKE.....	115
	LIITE F: KYTKENTÄSUUNNITTELUPROSESSI, JOSSA TEHDÄÄN KÄYTTÖÖNOTTOTYÖ.....	117

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AJK	Aikajälleenkytkentä
AMR	Automatic Meter Reading
ATJ	Asiakastietojärjestelmä
CIS	Customer Information System
CRM	Customer Relationship Management
DMS	Distribution Management System
EV	Energiavirasto
HMI	Human-Machine Interface
JHA	Jälleenhankinta-arvo
JK	Jälleenkytkentä
JT	Jännitetyö
KAH	Keskeytyksestä aiheutuva haitta
KJ	Keskijännite
KTJ	Käytöntukijärjestelmä
KVJ	Käytönvalvontajärjestelmä
LSV	Loiste Sähköverkko Oy
NIS	Network Information System
NKA	Nykykäyttöarvo
PG	PowerGrid
PJ	Pienjännite
PJK	Pikajälleenkytkentä
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition,
SJ	Suurjännite
SVV	Savon Voiman Verkko Oy
TSV	Tampereen Sähköverkko Oy
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
UPS	Uninterruptible Power Supply
UTG	Utility To Go
VTJ	Verkkotietojärjestelmä
A	Johtimen poikkipinta-ala
AJK_t	Aikajälleenkytkennöistä aiheutunut vuosienergioille painotettu keskeytysmäärä
B	Virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa 0 °C
h_{AJK}	Aikajälleenkytkennöistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle
$h_{E,odott}$	Odottamattomista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysajalle
$h_{E,suunn}$	Suunnitelluista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysajalle
h_{PJK}	Pikajälleenkytkennöistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle

$h_{W,odott}$	Odottamattomista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle
$h_{W,suun}$	Suunnitelluista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle
I	Johtimen vikavirran tehollisarvo
K	Virrallisen osan materiaalista riippuva vakio
$KA_{odott,t}$	Odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysaika vuonna t
$KA_{suunn,t}$	Suunnitelluista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysaika
$KM_{odott,t}$	Käyttöpaikan odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysmäärä
$KM_{suunn,t}$	Keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu vuosienenergioilla painotettu keskeytysmäärä
$KAH_{t,k}$	Laskennallinen keskeytysten aiheuttama haitta käyttöpaikalle vuonna t vuoden k rahan arvossa
KAH_{tot}	Keskeytyskohtainen keskeytyksen aiheuttama haitta
KAH_{vuosi}	Käyttöpaikkakohtainen keskeytyksen aiheuttama haitta
KHI_{2005}	Kuluttajahintaindeksi vuonna 2005
KHI_k	Kuluttajahintaindeksi vuonna k
PJK_t	Pikajälleenkytkennöistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysmäärä
T_t	Tuntien lukumäärä vuonna t
t_f	Vikavirran kesto aika
W_t	Siirretyn energian määrä vuonna t
Θ_f	Loppulämpötila
Θ_i	Alkulämpötila (suomessa käytetään arvoa 20 °C)

1 JOHDANTO

Sähkön vaarallisuuden vuoksi sähköverkossa tehtävät kytkentätyöt pitää suunnitella ennen töiden toteuttamista. Tätä verkon toiminnan suunnittelua kutsutaan verkon käytönsuunnitteluksi. Käytönsuunnittelu voidaan jakaa pitkän ja lyhyen aikavälin suunnitteluun. Pitkän aikavälin suunnittelua ovat esimerkiksi sähköntuotannon muutokset ja uusien tuotantolaitosten rakentaminen sekä verkon rakentaminen tai purkaminen. Lyhyen aikavälin suunnittelua ovat esimerkiksi uuden verkon käyttöönotto ja huoltokeskeytysten suunnittelu. Tätä lyhyen aikavälin toimintaa kutsutaan myös kytkentäsuunnitteluksi ja sen tarkoituksena on mahdollistaa verkon rakentaminen ja kunnossapito. Tämän työn tarkoituksena on kehittää Elenia Oy:n kytkentäsuunnitteluprosessia ja siten tehostaa lyhyen aikavälin verkon käytönsuunnittelua. (Energiateollisuus, 2015)

Sähköturvallisuusstandardi SFS 6002 (2015) määrittelee, että ”*Suurjännitelaitteistojen kytkennöistä tehdään yksittäisen laitteen kytkemisiä sekä häiriötilanne- ja hätäkytkentöjä lukuun ottamatta aina kirjallinen kytkentäohjelma...*”. SFS 6002 (2015) suurjännite määritellään yli 1 kV jännitteeksi. Toisaalta standardi SFS 50160 (2010) määrittelee keskijännitteen (KJ) välille 1 - 36 kV ja suurjännitteen (SJ) yli 36 kV jännitteeksi. Tässä työssä keskijänniteverkko tarkoittaa verkkoa, jonka jännite on 20 kV. Vaikka kytkentäohjelma tehdään SFS 6002 (2015) mukaan kaikista suurjännitelaitteistojen kytkennöistä, työn aihepiiriksi on rajattu vain SFS 50160 (2010) mukaisessa keskijänniteverkossa tapahtuvat suunnitellut kytkennät. Eli työssä ei käsitellä vikakeskeytyksiä eikä SFS 50160 mukaisia suurjänniteverkon tai pienjänniteverkon suunniteltuja keskeytyksiä. Sähköasematöiden osalta työssä käsitellään vain yhden päämuuntajan sähköasemien korvauskytkentöjä.

1.1 Työn motivaatio

Uuden sähkömarkkinalain 588 voimaantulo vuonna 2013 ja toimitusvarmuuskriteerien tiukentuminen on johtanut investointeihin sähköverkkoon. Investoinnit ja verkon saneeraus ovat kasvattaneet verkossa tehtävien kytkentätöiden määrään. Energiateollisuuden keskeytystilaston mukaan vuonna 2015 Suomessa oli suunniteltuja keskeytyksiä 7,11 kpl jokaista 100 km kohti. Tilastoon ei ole huomioitu suunniteltuja töitä, joista ei tullut asiakaskeskeytystä. Kaikista pitkistä asiakkaan kokemista keskeytyksistä 18,55 % oli suunniteltuja keskeytyksiä. Vaikka vikakeskeytyksiä on tilaston mukaan paljon enemmän kuin suunniteltuja keskeytyksiä, myös suunniteltuja keskeytyksiä on merkittävä määrä. Koska suunniteltuja keskeytyksen aiheuttamaan haittaan on helpompi vaikuttaa

kuin vikakeskeytysten, niiden suunnittelua halutaan kehittää ja tehostaa. (Niemelä, 2016)

Elenia Oy:n verkko on tyypillisesti ilmajohtoverkkoa, joka sijaitsee haja-asutusalueella. Elenia Oy:n tavoitteena on saneerata suurin osa ilmajohdoista säävarmaksi maakaapeli-verkoksi, mikä aiheuttaa verkkoon paljon suunniteltuja keskeytyksiä. Taulukkoon 1.1 on koottu Elenia Oy:n keskijänniteverkossa tehdyt pitkät keskeytykset sekä suunnitellut työt, joista ei tullut jakelun keskeytystä vuonna 2016. Aineisto on kerätty Elenia Oy:n keskeytysraportointiin käytetyistä tiedoista. (Elenia Oy, 2013; Elenia Oy, 2016a)

Taulukko 1.1 Elenia Oy:n verkossa tehdyt pitkät suunnitellut ja vikakeskeytykset vuonna 2016

Keskijänniteverkon työt	Määrä kpl
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä	1007
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä	736
Kaikki suunnitellut työt, joissa ei ollut keskeytystä	1743
Oman verkon suunniteltu keskeytys	1569
Asiakkaan verkon suunniteltu keskeytys	16
Kaikki suunnitellut työt, joissa on ollut keskeytys	1585
Kaikki suunnitellut työt	3328

Taulukosta 1.1 huomataan, että suunniteltuja töitä oli verkossa 3 328 ja keskeytystöitä on näistä noin puolet eli 1 585 kappaletta. Suunniteltuja keskeytyksiä keskijänniteverkossa on jokaista 100 km kohti 6,4 kappaletta, mikä on vähemmän kuin koko maan keskiarvo. Jos suunnitellut työt jaetaan yhden vuoden työpäivien määrällä eli 260 päivällä, saadaan noin 13 kytkentätyötä yhtä työpäivää kohti. Vaikka keskeytyksiä on verkkopituutta kohden vähemmän kuin keskimäärin Suomessa, niin yhteensä kaikkia kytkentätöitä on paljon, mikä johtuu katkottomien työmenetelmien käytöstä. Töiden suuri määrä johtuu mittavasta investointiohjelmasta, jonka vuoksi kytkentöjen määrä kasvaa tai pysyy saman tulevaisuudessa. Lisäksi kaapeloinnin myötä suurempi osa asiakkaan kokemista kytkennöistä on suunniteltuja. (Elenia Oy, 2016a)

Elenian kytkentäsuunnittelu voidaan jakaa kahteen osuuteen: kytkentäaloitteen kirjaaminen ja kytkentäohjelman suunnittelu. Näistä ensimmäisen tekee tällä hetkellä urakoitsijakumppani ja jälkimmäisen Elenia Oy:n käytönsuunnittelija. Keskeytysaloitteeseen kirjataan kaikki tiedot, joita tarvitaan keskeytyksen suunnitteluun. Keskeytysaloitteen oikein kirjaaminen on tärkeä, sillä jokainen väärin täytetty aloite hidastaa käytönsuunnittelijan työskentelyä. Elenia Oy:ssä on vuoden 2017 alusta seurattu kytkentäaloitteiden laatua. Aloitteiden laadun seurannasta on kerätty taulukko 1.2, johon on kuvattu aloitteiden virheet väliltä 2017 tammikuu – kesäkuu.

Taulukko 1.2 Elenia Oy:n aloitteiden laatu ajalta tammikuu – kesäkuu vuonna 2017

Keskijänniteverkon työt	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Yhteensä
1 liian lyhyt tilausaika	4	0	9	2	3	1	19
2 virheellinen kuvaus	5	4	6	4	7	8	34
3 väärä keskeytyslaji	9	12	12	6	12	10	61
4 puutteita toimeksiannoissa	6	7	2	0	0	4	19
5 virheitä muissa kentissä	111	80	60	31	54	95	431
6 puutteellinen NIS-dokumentointi	3	6	8	10	17	23	67
7 huono työn suunnittelu	0	5	4	3	4	17	33
Yhteensä	138	114	101	56	97	158	664
Kommentoidut ilman kohtaa 5	27	34	41	25	43	63	233
Kaikki aloitteet	498	321	306	219	350	474	2168
Onnistumis- %	72 %	64 %	67 %	74 %	72 %	67 %	67 %
Onnistumis- %, ilman kohtaa 5	95 %	89 %	87 %	89 %	88 %	87 %	89 %

Taulukossa 1.2 aloitteiden virheet on jaettu seitsemään eri kategoriaan. Näistä kategoriat 1, 3, 4, 5, 6 ovat yksiselitteisiä. Kattegoria 2 tarkoittaa tilannetta, jossa käytönsuunnittelija joutuu soittamaan työn tilaajalle, koska työn kuvauksesta ei saa selvää käsitystä tehtävästä työstä. Kattegoria 7 tarkoittaa esimerkiksi, että työ, johon olisi voitu soveltaa jännitetyömenetelmiä, on tilattu keskeytystyönä.

Kohdassa ”kaikki aloitteet” on laskettu yhteen kommentoidut aloitteet, onnistuneet aloitteet sekä mitätöidyt aloitteet. Noin 33 % aloitteista on jotain kommentoitavaa. Koska kommentoitavia aloitteita on paljon, voidaan todeta, ettei aloitteen kirjaaminen ole riittävän helppoa työn tilaajalle. Käytönsuunnittelija voi korjata itsenäisesti vain kohdan 5 virheet, joita on eniten. Jos ne poistetaan tilastoinnista, onnistumisprosentti on 89 eli vakavia virheitä on noin 11 % aloitteista. Virheellisen aloitteen johdosta käytönsuunnittelija joko peruu työn tai on puhelimitse yhteydessä työn tilaajaan, mikä hidastaa kytkentäsuunnittelua. Toisaalta työn peruminen aiheuttaa kerrannaisvaikutuksia myös työn tilaajalle.

Kytkeäaloitteen perusteella suunnitellaan kytkentäohjelma. Elenia Oy:ssä on seurattu vuoden 2017 alusta kytkentäohjelmien toteuttamisen laatua. Kytkentäsuunnittelun laadusta vuodesta 2017 väliltä tammikuu - kesäkuu on koostettu taulukko 1.3.

Taulukko 1.3 KytKentäohjelmien laatu Elenia Oy:ssä ajalta tammi – kesäkuu vuonna 2017

Syy	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Yhteensä
1 Vika verkossa	15	5	1	3	5	5	34
2 KytKentätilanne muuttunut	2	1	1	3	4	9	20
3 Samanaikainen työ	0	1	1	0	0	0	2
4 Puutteita turvallisuustoimenpiteissä	0	1	3	2	1	1	8
5 Puutteellinen dokumentaatio	1	6	3	3	22	5	40
6 Useita virheitä	4	3	1	0	2	0	10
7 Virheellinen suunnitelma	7	10	9	4	5	13	48
8 Urakoitsijan toiminta	26	27	9	15	29	36	142
9 Käyttökeskuksen toiminta	0	0	0	0	0	2	2
10 Sää	4	2	9	5	1	2	23
11 Asiakkaan yhteydenotto	0	0	0	0	0	0	0
Yhteensä	59	56	37	35	69	73	329
Kaikki	500	344	383	303	408	547	2485
Onnistumis- %	88 %	84 %	90 %	88 %	93 %	87 %	87 %
Käytönsuunnittelun virhe	8	18	16	9	28	19	98
Käytönsuunnittelun onnistumis- %	98 %	95 %	96 %	97 %	93 %	97 %	96 %

Taulukosta 1.3 huomataan, että kytKentäsuunnittelu epäonnistuu noin 4 % kaikista töistä. KytKentäsuunnittelun epäonnistumiseksi lasketaan kirjaukset 3, 4, 5 ja 7, joiden onnistuminen on käytönsuunnittelijan vastuulla. Yhteensä kytKentäohjelmien toteuttamisessa on virheitä noin 13 %. Taulukon 1.3 kohtiin ”vika verkossa” tai ”sää” ei voida vaikuttaa, mutta käytännössä kaikkiin muihin kohtiin voidaan vaikuttaa jollakin tasolla kytKentäsuunnitteluprosessissa. On tärkeä huomata, että käytönsuunnittelun virheet kytKentäohjelmissa ovat turvallisuusriski, mistä voi aiheutua vaaratilanteita.

Kuten edellä huomataan töiden suuri määrä ja kytKentäaloitteiden puutteet ovat pääasialliset syyt toteuttaa tämä tutkimus. Aloitteiden puutteet ja töiden suuri määrän voivat johtaa kiireeseen, mikä osaltaan selittää kytKentäohjelmien suunnittelussa tapahtuvia virheitä. Lisäksi kytKentätöiden tilauksessa ei ole suunnitelmallisuutta, koska Elenia Oy:n kytKentäsuunnitteluprosessi ei ohjaa kytKentätöiden aikataulutusta, mistä voi syntyä hetkittäisiä ruuhkatilanteita käytönsuunnitteluun.

1.2 Tutkimuskysymykset ja -aineisto

Tämän työn tarkoituksena on Elenia Oy:n kytKentäsuunnitteluprosessin kehittäminen. Elenia Oy:ssä kytKentäaloitteet ja -ohjelmat tilataan ja suunnitellaan käytöntukijärjes-

telmässä. Elenia Oy:n käytöntukijärjestelmä on Trimble Oy:n toimittama Trimble DMS. Trimble DMS -käytöntukijärjestelmässä on automaatiojärjestelmä vikatilanteiden automaattiseen poiskytkentään (Laine, 2010), mutta kytkentäohjelman suunnitteluun ei ole automaatiota, vaikka niiden toteutus mukailee vikojen poiskytkentää. Tämän työn tavoitteena on kuvata sähkö- ja turvallisuustekniset perusteet ja toiminta kytkentäsuunnittelujärjestelmälle, joka voi muodostaa kytkentäohjelman automaattisesti Trimble DMS -käytöntukijärjestelmässä. Samalla kehitetään ja tehostetaan kytkentäsuunnitteluprosessia. Kytkentäsuunnitteluprosessi on hyvin riippuvainen kytkentäaloitteiden laadusta, joten myös aloitteiden laatua pyritään parantamaan. Tämän jaottelun vuoksi tutkimuskysymyksiä on kaksi:

Millaisella kytkentäaloitteella saadaan vähennettyä kytkentäaloitteiden virheitä?

Millainen on ihannejärjestelmä ja -prosessi kytkentäsuunnitelman automatisointiin?

Näihin kysymyksiin vastaamalla pyritään toteuttamaan tutkimuksen tavoitteet eli kuvata kytkentäsuunnittelujärjestelmän toiminta ja järjestelmänmukainen uusi kytkentäsuunnitteluprosessi. Lisäksi tarkastellaan kuvatun järjestelmän vaikutukset kytkentäsuunnittelun tehostumiseen.

Sähkö- ja turvallisuustekniset perusteet kytkentäsuunnitelman muodostamiseen on määritelty Suomen laeissa sähköturvallisuuslaki 1135 (2016) ja sähkömarkkinalaki 588 (2013) sekä standardeissa, joista tärkeimpänä turvallisuusstandardi SFS 6002 (2015). Tutkimuksen taustaselvitykseen, joka on kuvattu luvuissa kaksi ja kolme, käytettiin edellä mainittuja lakeja ja yleisesti käytettyä oppikirjallisuutta sähkötekniikasta. Käyttötoiminnan toimintaympäristön kuvauksessa käytettiin lakien ja kirjallisuuden lisäksi Energiateollisuuden ja Energiaviraston julkaisuja ja ohjeita. Taustaselvitykseen pyrittiin löytämään tieteellisikajulkaisuja kytkentäsuunnittelusta ja käytöntukijärjestelmien toteutuksesta sekä tietoa erilaisista kytkentäsuunnitteluun vaikuttavista asioista. Tiedonhaku- alustoina käytettiin internetistä löytyvää vapaata aineistoa, Tampereen teknillisen yliopiston kirjaston tarjoamaa Andor-hakupalvelua, Elenia Oy:n ohjeistuksia sekä Tampereen teknillisen yliopiston kirjastoa.

Kytkeäsuunnittelusta on kirjoitettu vain vähän julkaistuja artikkeleita. Voimaloiden ja pientuotannon keskeytyksistä sekä kytkentätilanteen hallintaan liittyvistä asioista on julkaistu tutkimuksia, mutta suunniteltujen keskeytysten muodostamisesta ja aikataulutamisesta tutkimuksia on vain vähän. Kytkentäsuunnittelun organisointi ja aikataulutus eivät ole olleet kiinnostavia tutkimuskohteita, koska sen aikataulutus on ollut verkkoyhtiön vapaasti päätettävissä. Kuitenkin uuden sähkömarkkinalain 588 (2013) myötä verkkoyhtiöillä on tarve parantaa toimitusvarmuutta, mikä lisää kytkentäsuunnittelun tarvetta, joten verkkoyhtiöillä on tarve järjestelmälle, joka avustaa kytkentäohjelman suunnittelua. Kytkentäsuunnittelu on toisteista toimintaa, joten se voidaan Tzafestasin (2010) mukaan automatisoida. Käytöntukijärjestelmästä on julkaistu väitöskirja (Verho,

1997), jossa on käsitelty kytkentäsuunnittelun automatisointia ja sen pohjalta on toteutettu ABB:n DMS600 käytöntukijärjestelmän kytkentäsuunnittelusovellus. Tutkimuksen aikana vierailtiin Savon Voima Verkko Oy:ssä, jossa tutustuttiin ABB:n DMS600 käytöntukijärjestelmään.

Kytkeäsuunnittelujärjestelmän määrittely toteutettiin teemahaastattelujen avulla, joka on kuvattu lukuun 4. Kytkeäsuunnittelujärjestelmän määrittely on mahdollista pelkän kirjallisuuskatsauksen ja standardien sekä lakien mukaisesti, mutta automaation määrittelemisen haastattelujen avulla luo laajemmän katsauksen koko kytkentäsuunnitteluprosessiin ja sen kehittämiseen.

1.3 Työn rakenne

Työn päätuloksena kuvataan kytkentäsuunnitteluprosessi, joka sisältää toiminnanohjausjärjestelmän kytkentäohjelman tilaamiseen sekä automaatiotoiminnon kytkentäohjelman muodostamiseen. Tätä kytkentäsuunnitteluprosessia tarkastellaan prosessin tehostumis- ja turvallisuusnäkökulmista. Työssä todetaan automaation parantavan turvallisuutta ja tehostavan kytkentäsuunnittelua. Lisäksi työssä kuvataan neljän eri verkkoyhtiön nykyiset kytkentäsuunnitteluprosessit.

Luvussa kaksi kuvataan kirjallisuuslähteiden perusteella käytönsuunnittelun vaikutus verkkoyhtiön liiketoimintaan sekä lainsäädännön ja standardien määräykset, jotka vaikuttavat kytkentäsuunnittelun toteuttamiseen. Lisäksi kuvataan käytönsuunnittelun toimintaympäristö ja käytönsuunnittelussa käytettävät tietojärjestelmät. Luvussa kolme kuvataan kirjallisuusselvityksen perusteella kytkentäsuunnittelun periaatteet. Luvussa neljä perustellaan valitut tutkimusmenetelmät ja kuvataan työssä toteutetun tutkimuksen toteutus.

Luvusta viisi alkavat työn varsinaiset tulosluvut, joita ovat luku viisi ja kuusi. Luvussa viisi on kuvattu haastattelututkimuksen perusteella neljän eri verkkoyhtiön kytkentäsuunnitteluprosessi ja niiden perusteella koonti nykyisestä kytkentäsuunnitteluprosessista ja sen kehityskohteista. Kuudes luku sisältää työn päätulokset ja siinä kuvataan uuden aloitteen kirjaamisjärjestelmän sekä kytkentäohjelman automatiikan toiminta. Se on jaettu neljään osaan, joissa kuvataan aloitteen työnohjaustoiminnot, kytkentäohjelman automaatio ja näiden yhdistäminen uudeksi kytkentäsuunnitteluprosessiksi sekä uuden kytkentäsuunnitteluprosessin käyttöönoton vaiheet. Seitsemännessä luvussa uutta kytkentäsuunnitteluprosessia verrataan nykyiseen prosessiin sekä tarkastellaan turvallisuuden kehittymistä ja prosessin tehostumista. Luvun lopuksi luodaan katsaus kytkentäsuunnittelun tulevaisuuteen sekä arvioidaan tutkimuksen onnistuminen. Lopuksi yhteenvedossa kerrataan työn toteutus ja keskeiset tulokset.

2 KÄYTÖNSUUNNITTELU VERKKOYHTIÖSSÄ

Verkon käytönsuunnittelu on yksi verkkoyhtiön päätoiminnoista. Sen päätehtävänä on taata verkon suunnitelmallinen, turvallinen ja taloudellinen käyttö. Kaikki verkossa tapahtuvat sähkön jakelunkeskeytykset aiheuttavat haittaa ja kustannuksia sekä verkkoyhtiön asiakkaille että itse verkkoyhtiöille. Sähkömarkkinalaki 588 (2013) ja valvontaviranomaisen ylläpitämät sähkönsiirron valvontamenetelmät määrittävät sähkön jakelunkeskeytyksen aiheuttaman haitan ja kustannukset. Käyttötoiminta suomalaisissa jakeluverkkoyhtiöissä vaihtelee suuresti maantieteellisen alueen ja verkon laajuuden mukaan, mutta jokaisen verkkoyhtiön tavoitteena on sähköverkon taloudellinen ja turvallinen käyttö. (Lakervi & Partanen, 2009; Sähkömarkkinalaki 588, 2013)

Verkkoyhtiön toimintaa ohjaa Suomen laki. Sähkömarkkinalaissa 588 (2013) määritellään perusteet sähkönlaadulle ja verkkoyhtiön liiketoiminnalle. Käyttötoiminnan kannalta tärkeimpinä säädöksinä ovat verkkoyhtiön toimitusvarmuuden määrittely ja verkkoyhtiön toiminnan valvonta. Sähköturvallisuuslaissa 1135 (2016) määritellään verkon käyttöön liittyvät turvallisuusasetukset, joiden mukaan toteutetaan kaikki verkon käyttötoimenpiteet. Sähköturvallisuuslain lisäksi verkon käyttötoimenpiteitä ohjaavat turvallisuusviranomaisen määrittelemät standardit. (Sähkömarkkinalaki 588, 2013; Sähköturvallisuuslaki 1135, 2016; Lakervi & Partanen, 2009)

2.1 Sähkönjakelujärjestelmä

Suomen sähkönjakelujärjestelmä voidaan jakaa siirto- ja jakeluverkkoon. Siirtoverkon tehtävänä on siirtää sähköenergiaa suurien etäisyyksien päähän ja suuret sähköntuotantolaitokset on kytketty siihen. Suomessa jakeluverkko voidaan jakaa jännitetasojen mukaan keskijännite- ja pienjänniteverkkoon (PJ). Jakeluverkon tehtävänä on siirtää sähköenergia sähköasemilta KJ-verkkoa pitkin jakelumuuntamoihin, jossa sähkö muunnetaan PJ-verkon jännitetasoon ja siirretään asiakkaille. Pienet energiantuotantolaitokset, kuten tuuli- ja aurinkovoima ovat tyypillisesti kytketty jakeluverkkoon. Suomessa KJ-verkon jännitetasona käytetään tyypillisesti 20 kV, mutta tätä suurempia ja pienempiä jännitteitä on myös käytetty. Suomen keskijänniteverkkoa käytetään joko maasta erotettuna tai sammutettuna. Pienjänniteverkko on kaikkialta tähtipisteestä maadoitettu. Tämä työ käsittelee vain KJ-verkkoa. (Elovaara & Haarla, 2011a; Lakervi & Partanen, 2009; Lakervi & Holmes, 1989)

Osa Suomen jakeluverkosta on silmukoitu, mutta sitä käytetään tyypillisesti säteittäisesti, jolloin yhteen käyttöpaikkaan on vain yksi tehon syöttösuunta. Silmukoidussa verkossa jokaiseen käyttöpisteeseen on kaksi syöttösuuntaa, mitä kutsutaan myös rengas-

käytöksi. Verrattuna rengaskäyttöön säteittäiskäytön etuna on häiriöiden rajoittamisen helppous, yksinkertaisempi suojaus, halvempi rakentamien ja yksinkertaisempi jännitteensäätö. Kuitenkin uusiutuvan energian hajatuotanto lisää painetta myös jakeluverkon rengaskäytölle. (Lakervi & Partanen, 2009; Lakervi & Holmes, 1989)

Verkon primäärikomponenttien teknistaloudelliset pitoajat ovat pitkiä, noin 30–50 vuotta. Sekundäärikomponenteilla teknistaloudellinen pitoaika on noin 10–20 vuotta. Suomen sähköverkko on rakennettu pääasiallisesti 1960- ja 1970-luvuilla, joten suuri osa verkosta on teknistaloudellisen käyttöikänsä päässä, mikä on yksi syy nykyisiin verkon investointeihin. (Lakervi & Partanen, 2009; Elenia Oy, 2016a)

2.2 Verkkoliiketoiminta

Sähköverkkoyhtiöiden toimintaa määrittelevät sähkömarkkinalaki 588 (2013) ja sähköturvallisuuslaki 1135 (2016). Sähkömarkkinalain 588 (2013) tarkoitus on: ”...*varmistaa edellytykset tehokkaasti, varmasti ja ympäristön kannalta kestävästi toimiville kansallisille ja alueellisille sähkömarkkinoille... siten, että hyvä sähkön toimitusvarmuus, kilpailukykyinen sähkön hinta ja kohtuulliset palveluperiaatteet voidaan turvata loppukäyttäjille. Sen saavuttamisen ensisijaisina keinoina ovat terveen ja toimivan taloudellisen kilpailun turvaaminen sähkön tuotannossa ja toimituksessa sekä kohtuullisten ja tasapuolisten palveluperiaatteiden ylläpitäminen sähköverkkojen toiminnassa.*”. Näitä keinoja valvoo Energiavirasto (EV). Sähkömarkkinalaki velvoittaa yritykset huolehtimaan sähkön siirrosta ja edistämään sähkön tehokasta käyttöä. (Sähkömarkkinalaki 588, 2013)

Sähköturvallisuuslain 1135 (2016) tarkoitus on: ”...*varmistaa sähkölaitteen ja -laitteiston käytön pitäminen turvallisena ja estää sähkön käytöstä aiheutuvien sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset vaikutukset sekä turvata sähkölaitteen tai -laitteiston sähkövirran tai magneettikentän välityksellä aiheuttamasta vahingosta kärsineen oikeudet.*” Lain pääasiallisena sisältönä on sähkötöiden turvallisuus- ja valvontavaatimukset. Turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi laissa säädetään käytettävistä standardeista, jotka määrittää sähköturvallisuusviranomainen: Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Lista Suomessa käytössä olevista standardeista ja säädöksistä löytyy esimerkiksi sähkötyöturvallisuus sivustolta (2012). (Sähköturvallisuuslaki 1135, 2016; Sähkötyöturvallisuus, 2012)

Suomessa jakeluverkoista vastaa noin 80 verkonhaltijaa, joita kutsutaan verkkoyhtiöiksi. Verkkoyhtiöllä on maantieteellinen vastuualue, jolle sillä on yksinoikeus rakentaa sähkönjakeluverkkoa eli verkkoyhtiöllä on vastuualueellaan luonnollinen monopoli. Verkkoyhtiöiden pitää täyttää sähkömarkkinalain 588 (2015) asettamat velvollisuudet, joita ovat sähköverkon kehittäminen, sähkönsiirtovelvollisuus ja asiakkaiden liittämisvelvollisuus, jos asiakas täyttää tekniset vaatimukset. (Elovaara & Haarla, 2011a; Energiavirasto, 2015; Sähkömarkkinalaki 588, 2013)

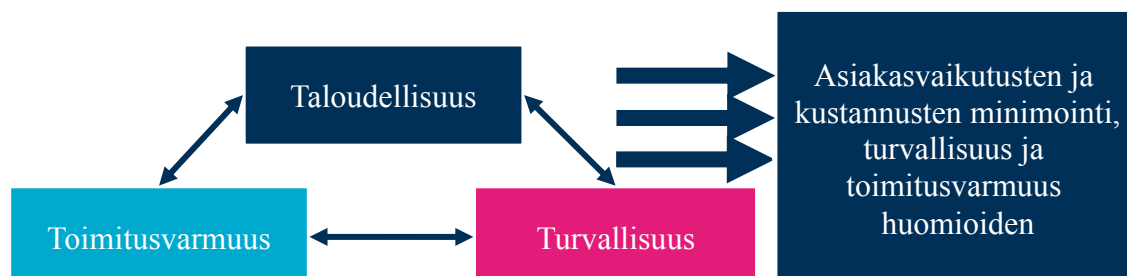
Energiavirasto valvoo verkkoyhtiöitä taloudellisesti ja teknisesti. Valvontatehtävät on määrätty sähkö- ja maakaasumarkkinoiden laissa 590 (2013). Valvonnan päätavoitteita ovat verkon kehittäminen, toiminnan tasapuolisuus, verkkopalveluiden laatu, hinnoittelun kohtuullisuus sekä liiketoiminnan jatkuvuus ja tehokkuus. Tasapuolisuudella tarkoitetaan sitä, että investoinnin riskitasot pysyvät vastaavina muiden yhteiskunnan yritysten investointeihin. Verkon kehittämistä valvotaan, jotta verkon riittävä toimintavarmuus ja liiketoiminnan pitkäjänteisyys säilyvät. Tehokkuudella tarkoitetaan, että asiakkaan palvelu toteutetaan mahdollisimman pienillä kustannuksilla. (Energiavirasto, 2015; Laki 590, 2013)

Useat verkkoyhtiöt ovat ulkoistaneet toimintoja urakointiyrityksille (Elenia Oy, 2017d; Caruna Oy, 2017; Lahti Energia, 2009). Tyypillisiä ulkoistettuja toimintoja ovat maastosuunnittelu, verkon rakentaminen, ennakoiva kunnonvalvonta ja viankorjaukset. Ulkoistaminen luo kilpailua, mikä on valvojaviranomaisen sekä tilaajan kannalta kannattavaa. Palveluja tuottavat urakointiyritykset pystyvät kehittämään resurssejaan keskittämällä sekä tuottamaan erikoisosaamista monelle eri verkkoyhtiölle. (Lakervi & Partanen, 2009)

2.2.1 Verkkoyhtiön käyttöötoiminta

Verkon käyttöötoiminnalla on suuri vaikutus verkkoyhtiön tulokseen ja monet investointiprojektit tähtäävät verkon käytön parantamiseen, esimerkiksi verkostoautomaation lisääminen parantaa verkon vikatilanteiden hallintaa. Kaikesta verkon käyttöötoiminnasta vastaa sähkölaitteiston käytön johtaja, joka on verkonhaltijan nimeämä vastuhenkilö. Käytön johtaja vastaa sähkölaitteiden turvallisesta käytöstä ja käyttöhenkilökunnan riittävästä osaamisesta (Sähköturvallisuuslaki 1135, 2016; SFS 6002, 2015). (Lakervi & Partanen, 2009; Lakervi & Holmes, 1989)

Verkon käytönsuunnittelu on sähköverkon käytön optimointia. Verkon käytön eri osa-alueet ja tavoite on kuvattu kuvaan 2.1. (Verho, 1997; Chan, et al., 2000; Lakervi & Partanen, 2009)



Kuva 2.1 Verkon käyttöötoiminnan osa-alueet ja tavoite. Perustuu lähteisiin (Verho, 1997) ja (Lakervi & Partanen, 2009)

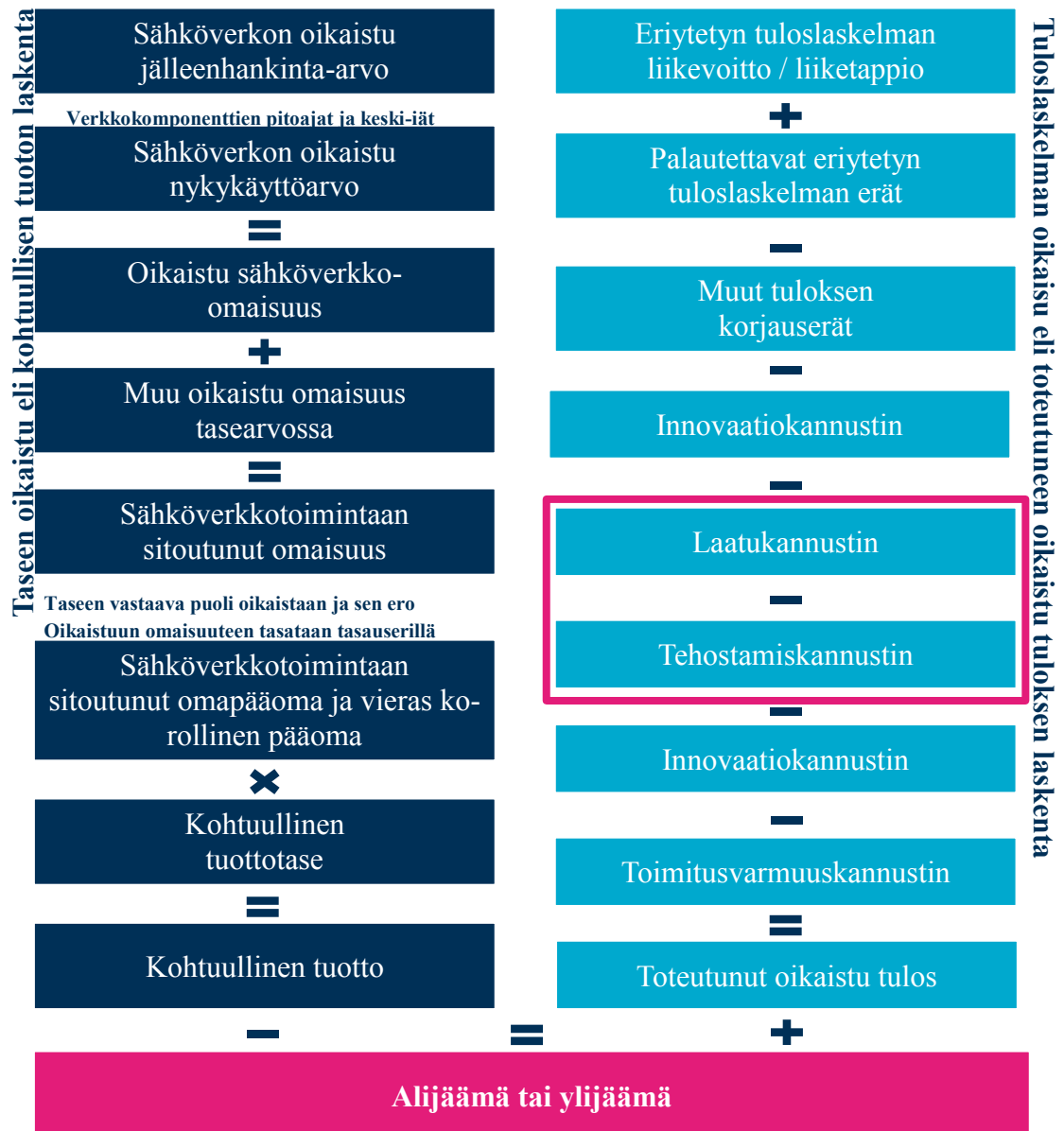
Kuvan 2.1 mukaisesti käyttötoiminnan tavoitteena on saada verkko toimimaan mahdollisimman toimitusvarmasti, turvallisesti ja taloudellisesti asiakasvaikutukset huomioiden. Toimitusvarmuus koostuu sähkönlaadusta ja sähkönjakelun keskeytyskustannuksista. Energiaviraston verkkoliiketoiminnan valvontamenetelmät korostavat keskeytysten asiakashaitan huomiointia keskeytyskustannusten taloudellisten vaikutusten kautta, minkä vuoksi verkon optimointiongelmaksi on verkon kustannusten minimointi asiakas-, turvallisuus- ja käyttövarmuusnäkökulmat huomioiden. (Verho, 1997; Chan, et al., 2000)

Käyttötoiminnan päätoimintoja ovat verkon käytönsuunnittelu, asiakastiedottaminen suunnitelluista keskeytyksistä, kunnossapidon käytännön toteutus, verkon valvonta sekä viankorjaus. Käytönsuunnittelun tehtävänä on verkon käytön lyhyen aikavälin suunnittelu pitkän aikavälin verkon suunnittelun perusteella. Käytönsuunnittelu varautuu muutoksiin, jotka voivat vaarantaa verkon toiminnan. Muutoksia voivat olla esimerkiksi myrskyennusteet, jolloin verkon vikatilanteiden hallintaa varten varataan tarpeeksi henkilöstöresursseja verkon valvontaan ja viankorjaukseen. (Lakervi & Partanen, 2009)

2.2.2 Liiketoiminnan valvontamenetelmät

Valvontamenetelmissä toimitusvarmuudella on merkittävä rooli. Sähkömarkkinalaki 588 (2013) vaatii, että jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei vuonna 2028 verkon vikaantuminen johda yli 6 tunnin sähkönjakelukeskeytykseen asemakaava-alueella tai yli 36 tunnin sähkönjakelukeskeytykseen haja-asutusalueella. Sähkömarkkinalaki 588 (2013) määrää vakiokorvaukset yli 12 tuntia kestävästä sähkönjakelukeskeytyksistä. Suunnitellut keskeytykset eivät saa kestää niin pitkään, että niistä aiheutuu vakiokorvauksia, eikä niin tyypillisesti tapahdu. Vakiokorvaus lasketaan prosenttiosuutena vuotuisesta verkkopalvelumaksusta. Vakiokorvauksen suuruus riippuu keskeytysajasta, mutta määrä on kuitenkin enintään 200 % verkkopalvelumaksusta tai 2000 euroa. (Sähkömarkkinalaki 588, 2013)

Energiavirasto valvoo sähköverkkoyhtiöiden toimintaa neljän vuoden valvontajaksoissa. Kuluva valvontajakso on neljäs ja se alkoi vuonna 2016 ja loppuu vuoden 2019 jälkeen. Verkkoyhtiön yli- tai alijäämän laskenta on kuvattu kuvaan 2.2 ja sen mukaiset valvontamenetelmät ovat käytössä neljännellä 2016 – 2019 ja viidennellä 2020 – 2023 valvontajaksolla. (Energiavirasto, 2015)



Kuva 2.2 Neljännen 2016 – 2019 ja viidennen 2020 – 2023 valvontajakson valvontamenetelmät. Työn aihepiiriin kuuluvat asiat on korostettu punaisella laatikolla (Energiavirasto, 2015)

Kuvaan 2.2 on kuvattu vasemmalle kohtuullisen tuoton laskenta ja oikealle toteutuneen oikaistun tuloksen laskenta. Tämän työn aihepiiri on korostettu punaisella laatikolla. Laatukannustin kuuluu työn aihepiiriin, koska kytkentäsuunnittelu ja suunnittelut keskeytykset vaikuttavat verkon toimitusvarmuuteen. Tehostamiskannustimeen taas vaikuttaa parantamalla kytkentäsuunnitteluprosessin tehokkuutta. Verkkoyhtiön sallittu tuotto muodostuu merkittäviltä osin verkon jälleenhankinta-arvon (JHA) kautta lasketavasta sähköverkon ikäkorjatusta nykykäyttöarvosta (NKA). JHA tarkoittaa sitä arvoa, jolla verkkokomponentit voidaan investoida uudelleen. NKA taas saadaan suhteuttamalla komponenttien JHA:t niiden ikätietoihin. Verkkoyhtiön tulokseen vaikuttavat verkkoyhtiön liikevoitto, erilaiset palautus- ja korjauserät sekä kannustimet. Verkkoyhtiön tuloksen ja kohtuullisen tuoton avulla lasketaan verkkoyhtiön yli- tai alijäämä. Verkkoyhtiön

yhtiö ei saa tuottaa ylijäämää kahdella peräkkäisellä valvontajaksolla. Kannustimien avulla Energiavirasto pyrkii muokkaamaan sähköverkkoa yhteiskuntaa hyödyttävään suuntaan ja takamaan sähkön toimitusvarmuuden ja laadun. (Energiavirasto, 2015; Partanen, 2016)

Verkkoyhtiöille lasketaan vuosittain keskeytyskustannukset laskemalla yhteen kaikkien keskeytysten keskeytyksestä aiheutuva haitta (KAH) -arvot, mikä kuvaa sähköntoimitusvarmuuden laatua. Tilastointia varten käytetään vuosittaisesta keskitehosta laskettua KAH_{vuosi} arvoa. Vertailun perusteella yhtiö voi saada laatubonuksia tai -sanktioita liikelatoudelliseen tulokseen. Mitä pienemmät keskeytyskustannukset ja asiakashaitta sitä paremman tuloksen valvontamenetelmien laatukannustin mahdollistaa verkkoyhtiölle. (Partanen, 2016; Energiavirasto, 2015)

Keskeytyksestä aiheutuva haitta voidaan laskea sekä käyttöpaikkakohtaisesti (KAH_{vuosi}) että keskeytyskohtaisesti (KAH_{tot}). Käyttöpaikkakohtainen KAH_{vuosi} lasketaan toteutuneen keskiarvoisen tehon kulutuksen ja toteutuneiden keskeytysten määrän avulla. Käyttöpaikkakohtainen keskeytyksen haitta (KAH_{vuosi}) kuvaa laskennallista käyttöpaikan kokemaa keskeytyksen aiheuttamaa haittaa vuodessa. Keskeytyskohtainen KAH_{tot} lasketaan irtikytketyn tehon avulla, minkä takia KAH_{tot} -arvoissa on eroja riippuen mihin vuodenaikaan keskeytys on tapahtunut. Kytkeäsuunnittelussa tyypillisesti käytetään KAH-arvoa, joka lasketaan irtikytketyn tehon perusteella. Neljännellä valvontajaksolla vertaillaan KAH_{vuosi} käyttöpaikkakohtaisia arvoja vuosien 2009 – 2015 vertailutasoon. Keskeytyskohtainen KAH_{vuosi} voidaan laskea yhtälön 2.1 mukaisesti

$$KAH_{vuosi} = KAH_{t,k} = \left(\frac{KA_{odott,t} \times h_{E,odott} + KM_{odott,t} \times h_{W,odott} + KA_{suunn,t} \times h_{E,suunn} + KM_{suunn,t} \times h_{W,suunn}}{AJK_t \times h_{AJK} + PJK_t \times h_{PJK}} \right) \times \left(\frac{W_t}{T_t} \right) \times \left(\frac{KHI_t}{KHI_{2005}} \right), (2.1)$$

missä $KAH_{t,k}$ on toteutunut laskennallinen keskeytysten aiheuttama haitta käyttöpaikalle vuonna t vuoden k rahan arvossa, $KA_{odott,t}$ on odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysaika vuonna t , $h_{E,odott}$ on odottamattomista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysajalle, $KM_{odott,t}$ on käyttöpaikan odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysmäärä, $h_{W,odott}$ on odottamattomista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle, $KA_{suunn,t}$ on suunnitelluista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysaika, $h_{E,suunn}$ on suunnitelluista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysajalle, $KM_{suunn,t}$ on keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu vuosienenergioilla painotettu keskeytysmäärä, $h_{W,suunn}$ on suunnitelluista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle, AJK_t on aika jälleenkytkennöistä aiheutunut vuosienenergioille painotettu keskeytysmäärä, h_{AJK} on aika jälleenkytkennöistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle, PJK_t on pika jälleenkytkennöistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysmäärä, h_{PJK} pika jälleenkytkennöistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle, W_t

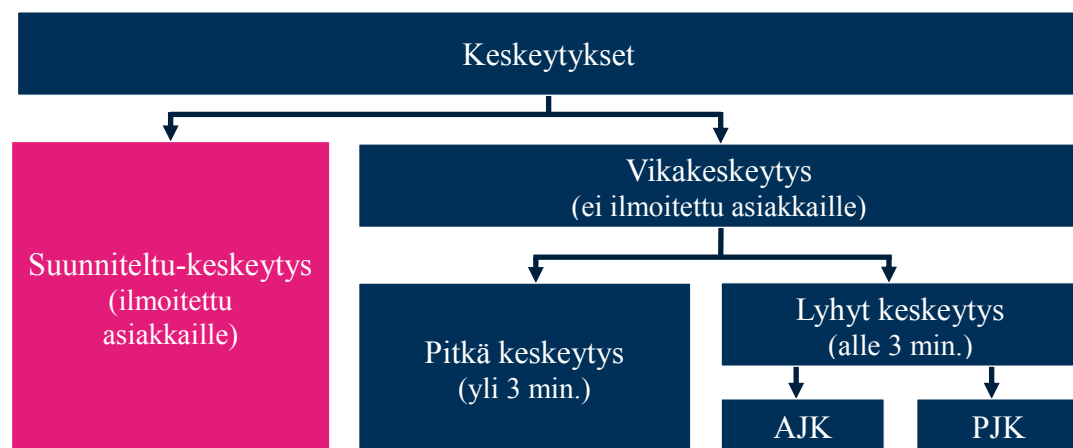
on siirretyn energian määrä vuonna t , T_t on tuntien lukumäärä vuonna t , KHI_k kuluttajahintaindeksi vuonna k ja KHI_{2005} on kuluttajahintaindeksi vuonna 2005. (Energiateollisuus, 2014; Energiavirasto, 2015)

2.2.3 Keskeytystilastointi

Verkkoyhtiöt tilastoivat jakeluverkossa tapahtuvia sähkönjakelukeskeytyksiään käyttöpaikkakohtaisesti. Keskeytykseksi määritellään kaikki tilanteet, joissa jännite on asiakkaan liittämiskohdassa alle 5 % vertailujännitteestä (SFS 50160, 2010). Verkkoyhtiön pitää tilastoida ja kertoa asiakkaalle jokaisen keskeytyksen syy ja kesto. Kuitenkin PJ-verkossa veloitetaan tilastoimaan vain vian aiheuttamat keskeytykset, mutta myös suunniteltujen keskeytysten tilastointia suositellaan. Keskeytysten tiedot säilytetään vähintään edellisen valvontajakson ajan. Liitteeseen A on kuvattu Energiateollisuuden ohjeiden mukainen sähköverkon osien määrittely, siitä miten SJ-, KJ- ja PJ-verkot rajataan keskeytystilastointia varten. (Energiateollisuus, 2014; Lakervi & Partanen, 2009)

Keskeytys alkaa siitä hetkestä, kun verkkoyhtiö on saanut tiedon jännitteen puuttumisesta ja loppuu, kun asiakkaalla on palautettu standardin SFS 50160 mukainen jännite. Uusi keskeytys katsotaan alkaneeksi, jos edellisestä on kulunut vähintään kolme minuuttia. Verkkoyhtiö tilastoi verkossaan esiintyviä keskeytyksiä, jotta valvojaviranomainen pystyy tulkitsemaan verkkoyhtiön toimitusvarmuutta. Liitteessä B on esitetty tilastoitavat asiat sähköverkkoyhtiön keskeytyksistä. Suunniteltujen keskeytysten osalta tilastoitavat asiat ovat jännitetaso, keskeytyslaji, keskeytyksen aiheuttaja ja sijainti. (Energiateollisuus, 2014; SFS 50160, 2010; Lakervi & Partanen, 2009)

Keskeytykset jaotellaan suunniteltuihin keskeytyksiin ja vikakeskeytyksiin. Suunniteltu keskeytys tarkoittaa keskeytystä, joka on hallittu, suunnitelmallinen ja asiakkaille riittävän ajoissa tiedotettu. Jos keskeytys on suunnitelmallinen, mutta sitä ei ole ilmoitettu asiakkaalle riittävän ajoissa, keskeytys luetaan vikakeskeytykseksi. Keskeytysten luokittelu on kuvattu kuvassa 2.3. (Energiateollisuus, 2014)



Kuva 2.3 Keskeytysten luokittelu. Perustuu lähteeseen (Energiateollisuus, 2014)

Tämä työ käsittelee suunniteltuja keskeytyksiä, jotka on korostettu kuvassa 2.3 punaisella. Suunnitellut keskeytykset ovat verkkoyhtiöiden verkkopalveluehtojen mukaan sallittuja, jos niistä on tiedotettu riittävän aikaisin ja keskeytys ei kestä tarpeettoman pitkään eikä keskeytyksen palautus saa aiheuttomasti viivästyä ilmoitetusta (Elenia Oy, 2014; Oulun Energia Oy, 2014). Kuvan 2.3 mukaisesti vikakeskeytykset jaetaan pitkiin keskeytyksiin, jotka kestävät vähintään kolme minuuttia ja lyhyisiin keskeytyksiin, jotka kestävät alle kolme minuuttia. Käytännössä lyhyitä keskeytyksiä ovat pikajälleenkytkentä (PJK) ja aikajälleenkytkentä (AJK). (SFS 50160, 2010; Energiategollisuus, 2014; Partanen, et al., 2010)

2.3 Käytönvalvontajärjestelmä

Käytönvalvontajärjestelmän (KVJ), jota kutsutaan yleisesti kansainvälisellä lyhenteellä SCADA (eng. *Supervisory Control and Data Acquisition*), tehtävänä on sähköverkon reaaliaikainen valvonta. Tyypillisesti järjestelmällä valvotaan keski- ja suurjänniteverkkoa. Sähköverkon valvonnan lisäksi SCADA:n tehtävänä on mahdollistaa ohjaustoimintojen suorittaminen verkon komponenteille. Verkon valvontatoimintoja ovat verkon mittauksien hallinta, kytkentätilanteen hallinta, kaukomittaukset sekä raportointi. Ohjaustoimintoja voidaan suorittaa verkon kaukokäytettäville laitteille kuten katkaisijoille, käämikytkimille ja kaukokäytettäville erottimille. (Lakervi & Partanen, 2009; Thomas & McDonald, 2015)

Käytönvalvontajärjestelmä koostuu neljästä pääosasta: (1) Kaukokäytettävien laitteiden ala-asemista (eng. *RTU, Remote Terminal Unit*), (2) Tietoliikennejärjestelmästä, (3) pääjärjestelmästä, jonka tärkeänä osana on tietokanta, ja (4) Sovellusohjelmasta (eng. *HMI, Human-Machine Interface*). Nämä osat on kuvattu kuvaan 2.4. (Thomas & McDonald, 2015)



Kuva 2.4 SCADA-järjestelmän osat, joita ovat ala-asema eli RTU, tietoliikenne järjestelmä, pääjärjestelmä, jonka tärkeimpänä komponenttina on tietokanta sekä sovellusohjelma, josta voidaan suorittaa SCADA:n toimintoja. Perustuu lähteeseen (Thomas & McDonald, 2015)

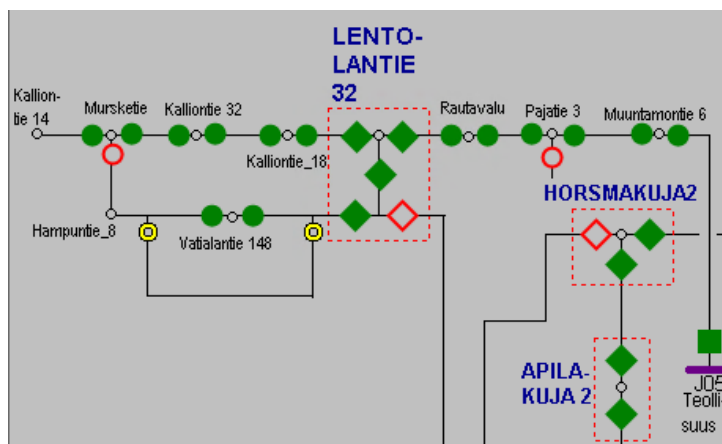
Ala-asemat toimivat järjestelmän tiedonkerääjinä ja toiminnan mahdollistajina. Ala-asemat ohjaavat verkon komponentteja käyttäjän sovellusohjelman kautta tekemien ohjauskomentojen mukaisesti. Tietoliikennejärjestelmän yhteydet voidaan toteuttaa esimerkiksi valokuidun tai mobiiliverkon avulla. Tietokanta koostuu palvelimista, jotka on kuumakahdennettu eli toisen palvelimen vikaantuessa toinen ottaa automaattisesti jär-

jestelmän hallintaan. Järjestelmä on tavallisesti suojattu UPS-laitteistolla (*eng. Uninterruptible Power Supply*), joka mahdollistaa toiminnan esimerkiksi sähkökatkoissa. Sovellusohjelman avulla käyttäjä pystyy hallitsemaan SCADA-järjestelmää. (Thomas & McDonald, 2015; Lakervi & Partanen, 2009)

2.3.1 Käyttöliittymä

Tyypillisesti sähköverkko on kuvattu SCADA:an yleisluontaisesti, mutta sähköasemat on kuvattu hieman tarkemmin. Sähköasemilta tuodaan SCADA:an ainakin mittaustiedot kiskojännitteistä ja johtojen kuormitusvirrasta, joilla voidaan tarkkailla verkon sähkölaatua ja mahdollisia verkon häiriöitä. Modernit suojareleet muodostavat verkon vikatilanteesta häiriötallenteen, joka voidaan SCADA-järjestelmän avulla ladata käyttökeskukseen tarkasteltavaksi. Suojareleestä riippuen SCADA:lla on mahdollista vaihtaa suojareleiden suojausasetteluja, kuten pikajälleenkytkentöjä (PJK) päälle tai pois päältä. Sähköaseman komponentteja voidaan ohjata SCADA:n avulla, esimerkiksi käännyttämistä voidaan askeltaa joko ylös- tai alaspäin riippuen siitä halutaanko jakeluverkon jännitettä nostaa tai laskea. (Lakervi & Partanen, 2009)

Joissakin verkkoyhtiöissä SCADA:an on kuvattu verkon kytkentätilanne ja verkon kytkinlaitteet, joiden avulla voidaan hallita verkon kytkentätilannetta. Yhdessä kuormitusvirtamittauksien ja kytkimien tilatietojen avulla voidaan varmistaa verkon oikea kytkentätilanne ja toiminta. Jakeluverkko voidaan mallintaa SCADA:an viivakaaviona, jolloin verkon kytkentätilanne on helpommin hahmotettavissa kuin maantieteellisellä kartalla. Tällaista verkon kytkentätilannetta kuvaavaa kuvaa kutsutaan verkkokaavioksi. Järjestelmä hallitsee verkon topologian keräämällä tiedon verkon kaukokäytettävien laitteiden auki tai kiinni tiloista ja käytönvalvoja päivittää käsikäytettävien laitteiden tilatiedot manuaalisesti. Turvallisuuden ja käytettävyyden kannalta verkonkytkentätilanteen hallinta on SCADA:n kriittisin toiminto. Kuvaan 2.5 on kuvattu pieni osa Elenia Oy:n verkkokaaviosta. (Lakervi & Partanen, 2009)



Kuva 2.5 Esimerkki verkkokaavio kuvasta SCADA:ssa. Vertaa kuvaan 3.8, jossa sama johtolähtö käytöntukijärjestelmän verkkokuvassa. (Elenia Oy, 2016b)

Kuvassa 2.5 on erään sähköaseman johtolähtö J05, jota käytetään säteittäisesti, mutta johtolähdöllä on myös rengasyhteys toiseen johtolähtöön. Johtolähtö syöttää kymmentä muuntamoaa, joita kuvaavat pienet harmaat ympyrät. Muuntamoiden yhteydessä on käsikäyttöisiä erottimia, joita kuvaavat ympyrät, tai kaukokäytettäviä erottimia, joita kuvaavat vinoneliöt. Vihreä väri tarkoittaa komponentin kiinnitilaa ja punainen aukitilaa. Kuvassa 2.5 purkautuva verkko on erotettu toimivasta verkosta keltaisilla katkopaikoilla. Kuvassa 2.5 neliö kuvaa katkaisijaa ja violetti viiva kuvaa sähköaseman kiskoa.

Elenia Oy:n käytönsuunnittelun kannalta SCADA:n tärkein ominaisuus on KJ-verkon kytkentätilanteen hallinta. Verkon kytkeytymisestä voidaan nähdä kytkinlaitteiden suunnat ja suunnitellulle katkoalueelle jäävät muuntamot. Uuden KJ-verkon dokumentointi SCADA:an on erityisen tärkeää, jotta verkon kytkentätilanteen hallinta pysyy oikeana, kun uusi verkko-osa otetaan käyttöön. (Lakervi & Partanen, 2009; Elenia Oy, 2016b)

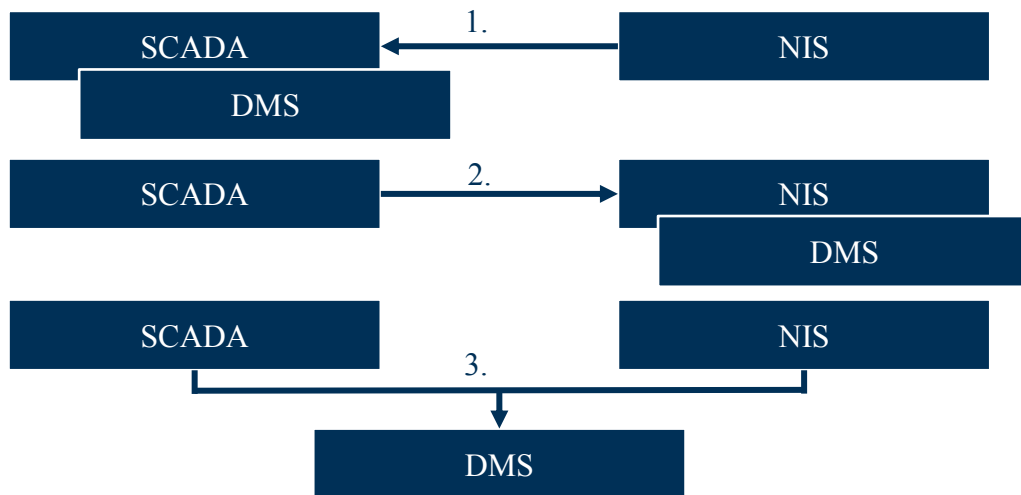
2.3.2 Elenia Oy:n käytönvalvontajärjestelmä

Elenia Oy käyttää SCADA-järjestelmänään Netcontrol Oy:n Netcon 3000 järjestelmää, josta käytössä on Elenia Oy:n kolmas versio. Netcon 3000 on modulaarinen käytönvalvontajärjestelmä, joka on käytössä melko yleisesti Pohjois-Euroopassa. (Netcontrol, 2012)

Elenia Oy:ssä SCADA:sta voidaan muun muassa havaita verkkokatkaisijoiden ja johtolähtöjen jälleenkytkentöjen tilatiedot sekä kaukokäytettävien laitteiden kauko- tai paikalliskäytön tilatiedot. Sähköasemakuvista voidaan tarkastella verkon kuormitusvirtamittauksia ja kiskon jännitemittauksia, joiden avulla voidaan suunnitella johtolähtöjen tai sähköasemien korvauskytkentöjä. (Elenia Oy, 2016b)

2.4 Käytöntukijärjestelmä

Käytöntukijärjestelmä toimii käyttötoiminnan päätöksenteon tukena ja se sisältää paljon analyysi- ja päättelytoimintoja, joita voidaan käyttää verkossa tapahtuvien muutosten ennustamiseen ja vikatilanteiden hallintaan. Käytöntukijärjestelmä tunnetaan kansainvälisesti lyhenteellä DMS (*eng. Distribution Management System*), joka on myös Suomessa yleisesti käytössä. DMS:n integraatiosta käytönvalvonta- ja verkkotietojärjestelmän (NIS *eng. Network information system*) kanssa on kolmea eri versiota, jotka on kuvattu kuvaan 2.6. (Thomas & McDonald, 2015; Lakervi & Partanen, 2009)



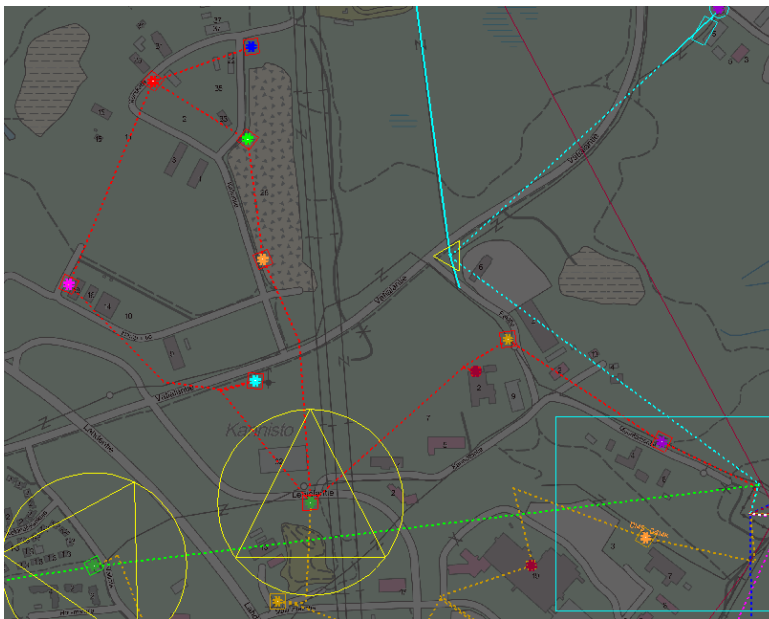
Kuva 2.6 Käytöntukijärjestelmän (DMS) eri integraatio vaihtoehdot käytönvalvonta (SCADA) ja verkkotietojärjestelmän (NIS) välillä, perustuu lähteeseen (Verho, 1997)

Kuvan 2.6 mukaisesti DMS on yhteydessä verkkoyhtiön muihin tietojärjestelmiin, joiden tuottamaa tietoa analysoimalla DMS mahdollistaa verkkoyhtiön turvallisen käyttötoiminnan ja sähköverkon tilan hallinnan. DMS voi olla integroitu SCADA:n kanssa samaan järjestelmään, jolloin tietoliikenne rajapinta muodostuu verkkotietojärjestelmän ja SCADA/DMS-järjestelmän välille. ABB Oy:n valmistama DMS600 on toteutettu tällä tavalla (ABB Oy, 2017). Toinen vaihtoehto on, että DMS on toteutettu verkkotietojärjestelmän yhteyteen, jolloin tietoliikenne rajapinta on SCADA:n ja NIS/DMS-järjestelmän välillä. Trimble Oy:n Trimble DMS on toteutettu tällä tavalla (Trimble Oy, 2017). DMS voidaan toteuttaa myös erillisenä ohjelmistona, jolloin tietoliikennerajapintoja on sekä SCADA- että NIS-järjestelmiin. (Thomas & McDonald, 2015; Lakervi & Partanen, 2009; Verho, 1997)

Verkkotietojärjestelmän mastertietokanta kuvataan DMS:ssä verkkokuvana. Verkkotietojen avulla DMS pystyy muodostamaan staattisen verkkomallin, joka sisältää kaikki verkon käyttöön tarvittavat tiedot, kuten asiakas-, verkon kytkeytymis- ja komponenttien kunnossapitotiedot. Lisäksi DMS:ään voidaan tuoda SCADA:sta komponenttien tilatiedot, mittaustiedot sekä suojareleiden tiedot verkon vikatilanteista. DMS-järjestelmässä on kattava reaaliaikainen tieto verkon käyttötilanteesta ja sähköteknisestä tilasta. DMS:ään voidaan integroida asiakastietojärjestelmän (ATJ) tiedot asiakkaiden sähkön kulutuksesta ja liittymispisteistä, jolloin voidaan tarkastella verkon kuormituskäyttäytymistä. DMS:n verkkomalli on reaaliaikainen ja se on yleensä kuvattu maantieteelliselle karttapohjalle. Lisäksi DMS-järjestelmä on yhteydessä AMR-järjestelmään (eng. *Automatic Meter Reading*), jota hyödynnetään PJ-verkon valvonnassa ja vikatilanteiden hallinnassa (Trimble Oy, 2017). (Verho, 1997; Lakervi & Partanen, 2009)

2.4.1 Käyttöliittymä ja sovellukset

DMS:n tärkeimpiä ominaisuuksia on verkon topologian kuvaaminen. Verkon topologiassa verkon jokaisen johtolähdön kytkeytyminen kuvataan omalla värillään. Eri verkko-yhtiöt käyttävät DMS-järjestelmässä erilaisia kuvaustapoja. Esimerkiksi Elenia Oy:n käyttöliittymässä jännitteetön verkko kuvataan valkoisella värillä ja rengaskytkeä kuvataan paksulla viivalla. Värien käyttö helpottaa verkon kytkentätilanteen ja vikojen havaitsemista. Elenia Oy:n DMS:n verkkokuva on kuvattu kuvaan 2.7. Kuvaa voidaan verrata SCADA:n verkkokuvaan 2.5, joka kuvaa samaa johtolähtöä kuin kuva 2.7. (Verho, 1997)



Kuva 2.7 Esimerkki käytöntukijärjestelmän verkkokuvasta Elenia Oy:ssä. (Elenia Oy, 2016b)

Kuvassa 2.7 on kuvattu punaisella värillä sama johtolähtö kuin kuvassa 2.5. Kuvan 2.7 Elenia Oy:n käyttöliittymässä katkoviiva tarkoittaa kaapeliverkkoa ja yhtenäinen viiva ilmajohtoverkkoa. Muita merkintöjä ovat: pieni kolmio tarkoittaa ilmajohtodolla olevaa käsikäyttöistä erotinta, pienet neliöt tarkoittavat puistomuuntamoita, joilla voi olla käsikäyttöiset erottimet. Iso ympyrä, jonka sisällä on kolmio, kuvaa kaukokäytettävää erotinasemaa. Oikeassa alakulmassa oleva sininen suorakulmio kuvaa sähköasemaa. Kuvasta 2.7 nähdään johtolähtöjen topologiaväriytykset, johtotyytit, erilaiset muuntamot ja kaukokäytettävät erottimet ja näiden sijoittuminen maastoon. DMS:n verkkokuvan tarkoituksena on välittää mahdollisimman paljon tietoa visualisoinnilla, mutta jokaisella komponentilla on lisäksi ominaisuustietoja.

Käytönsuunnittelun kannalta DMS on tärkein tietojärjestelmä. Käytönsuunnittelun sovellukset avustavat kytkentöjen ja uuden verkon käyttöönoton suunnittelussa sekä kytkentöjen määräystenmukaisuuden laskennassa. Kytkeäntöjen suunnittelua varten

DMS:ssä on simulointi- ja suunnittelutila, jotka mahdollistavat erilaisten kytkentätilanteiden vertailun ja laskennan. (Verho, 1997)

DMS:ssä on sovelluksia verkon sähkötekniikan tilanhallintaan, jotka laskevat esimerkiksi verkon tehonjakoa tai mahdollisia vikavirtoja. Eri laskentojen avulla DMS pystyy analysoimaan verkon sähkötekniikan tilaa ja ilmoittamaan käyttäjälle mahdollisista ylikuormitetuista johtolähdöistä tai suojauksen liian hitaasta toiminnasta. Tehonjakolaskentaa varten DMS tarvitsee tarkat tiedot verkon kytkentätilasta, asiakkaiden kuormituksesta sekä verkon kuormitusvirrasta ja lämpötilasta. (Verho, 1997; Lakervi & Partanen, 2009)

2.4.2 Elenia Oy:n käytöntukijärjestelmä

Elenia Oy käyttää käytöntukijärjestelmänään Trimble DMS-järjestelmää, joka toimii osana Elenia Oy:ssä käytössä olevaa Trimble NIS-verkkotietojärjestelmää. Käytöntukijärjestelmällä on myös yhteysrajapinta Netcontrolin toimittamaan Netcon 3000 - SCADA järjestelmään, josta esimerkiksi siirretään Trimble DMS:sään kytkinlaitteiden tilatiedot ja vikatilanteissa johtolähdön vikavirta. Rajapinnan kautta voidaan siirtää myös tietoja Trimble DMS:stä Netcon 3000 SCADA-järjestelmään. Näiden tietojen avulla Trimble DMS ylläpitää verkon reaaliaikaista topologiaa ja tehostaa vianrajaamista laskemalla mahdollisia vikapaikkoja. (Trimble Oy, 2017)

Trimble DMS:n avulla parannetaan sähköjakelun laatua, helpotetaan päivittäistä käyttötoimintaa ja toteutetaan sähköverkon reaaliaikaista valvontaa. Trimble DMS antaa työkalut keskeytysraportointiin ja keskeytystilastointiin. Trimble DMS:llä voidaan myös valvoa PJ-verkon tilaa AMR-mittareiden avulla. (Trimble Oy, 2017)

2.5 Verkkotietojärjestelmä

Verkkotietojärjestelmä (VTJ) on verkko-omaisuuden hallintaan tarkoitettu tietojärjestelmä. Se säilyttää, analysoi ja tulostaa verkkoon ja sen komponentteihin liittyvää tietoa. Järjestelmän tärkeimpinä tehtävinä on verkkotietojen ylläpito, laskenta, suunnittelu, tilastointi, raportointi sekä verkkokarttojen piirto. Verkkotietojärjestelmään on kuvattu verkon komponenttien kytkeytyminen sekä yksityiskohtaiset tiedot, mitkä on liitetty karttapohjalle verkon maantieteelliseksi karttakuvaksi. Järjestelmästä käytetään kansainvälisesti lyhennettä NIS, joka on myös Suomessa yleisesti käytössä. (Thomas & McDonald, 2015; Lakervi & Partanen, 2009)

Verkkotietojärjestelmä mahdollistaa käyttöliittymän erilaisille suunnittelu- ja rakentamissovelluksille, uuden verkon dokumentoinnille sekä verkostolaskentaohjelmille. Verkkotietojärjestelmän avulla voidaan tuottaa kaavioita verkkotiedoista ja toteuttaa raportointia. Kaikki komponentin ominaisuustiedot kuten ikä-, sijainti- ja kunnossapitotiedot ovat verkkotietojärjestelmässä. Näiden tietojen avulla on mahdollista laskea

verkko-omaisuuden nykykäyttöarvo ja jälleenhankintakustannukset sekä määritellä kunnonhallinta- ja investointitoimenpiteitä. Koska nämä tiedot ovat tärkeitä verkkoyhtiön tuloksen laskennassa, verkon oikea dokumentointi verkkotietojärjestelmään on tärkeää. Verkkotietojärjestelmässä voidaan tarkastella purkautuvia, käytössä olevia sekä käyttöönotettavia verkko-osia. (Trimble Oy, 2016; Lakervi & Partanen, 2009)

Elenia Oy:ssä verkkotietojärjestelmänä käytetään Trimble Oy:n Trimble NIS -ohjelmaa. Ohjelma sisältää sovellukset verkostolaskentaan, verkon suunnitteluun ja rakentamiseen, omaisuudenhallintaan, verkostoinvestointien hallintaan ja kunnossapitoon. (Trimble Oy, 2016)

2.6 Asiakastietojärjestelmä

Asiakastietojärjestelmä (ATJ) on asiakkaiden tietojen hallintaan kehitetty tietojärjestelmä, jota kansainvälisesti kutsutaan nimellä CIS (*eng. Customer Information System*). Asiakkuuksien ja asiakassuhteiden hallinnasta käytetään lyhennettä CRM (*eng. Customer Relationship Management*). ATJ:n tehtävänä on toimia tiedonvälityskanavana asiakkaan ja verkkoyhtiön välillä. Sen tehtäviin kuuluvat asiakaspalvelu, laskutus, sopimusasiat ja markkinointi. Näitä tehtäviä varten asiakastietojärjestelmään on koottu kaikki verkkoyhtiön asiakastiedot, kuten esimerkiksi liittymätiedot, asiakastyypit ja asiakaskategoria. ATJ toimii tietolähteenä NIS:lle ja DMS:lle. (Thomas & McDonald, 2015; Lakervi & Partanen, 2009)

Asiakastiedot ja liittymätietojen yhdistelmää kutsutaan käyttöpaikaksi, jonka kytkeytyminen verkkoon kuvataan NIS-järjestelmässä. Asiakkaiden energiankulutustietojen ja liittymätietojen yhdistäminen mahdollistavat DMS:n tarkan kuormituslaskennan ja verkon sähkötekniikan tilan laskennan. Asiakastietojärjestelmän avulla verkkoyhtiöt voivat toteuttaa parempia palveluja asiakkailleen, kuten tiedottaa asiakkaitaan sähköjakelukeskeytyksistä. Vaikka verkkoyhtiöt ovat monopoliyhtiöitä, on asiakastyytyvyyden merkitys kasvanut ja uusia sovelluksia asiakaspalveluun ja asiakastietojen hyödyntämiseen kehitetään. (Lee, et al., 2013; Thomas & McDonald, 2015)

Elenia Oy:n asiakastietojärjestelmänä toimii Empower Oy:n kehittämä sähköverkkoyhtiöille suunniteltu EnerimCIS -järjestelmä. EnerimCIS:n käyttöliittymä on selainpohjainen ja se on yhteydessä muihin Elenia Oy:n tietojärjestelmiin. EnerimCIS:llä tehdään Elenian Oy:n sähköjakelukeskeytysten asiakasilmoitukset. (Empower Oy, 2017)

3 KYTKENTÄSUUNNITTELUN PERIAATTEET

KytKentäsuunnittelun tavoitteena on suunniteltujen kytKentöjen asiakashaitan minimointi verkon toimitusvarmuutta ja turvallisuutta vaarantamatta ja samalla huolehtia töiden aikatauluttamisesta. Keskeytystyössä huomioidaan ensisijaisesti, ettei keskeytyksen aika tai kesto aiheuta turhaa haittaa asiakkaalle. Asiakkaan kokemaan haittaan vaikuttaa asiakkaiden määrä, asiakastyypin ja keskeytysaika. Keskeytystöistä seurataan keskeytyksen KAH-arvoa, joka määrittelee rahallisesti keskeytyksen aiheuttaman haitan asiakkaalle. KytKentöjen suunnittelulla on suuri vaikutus verkkoyhtiön KAH-arvoon, sillä suunniteltuja keskeytyksiä voi olla lähes puolet kaikista verkkoyhtiön pitkistä keskeytysistä. (Energiateollisuus, 2014)

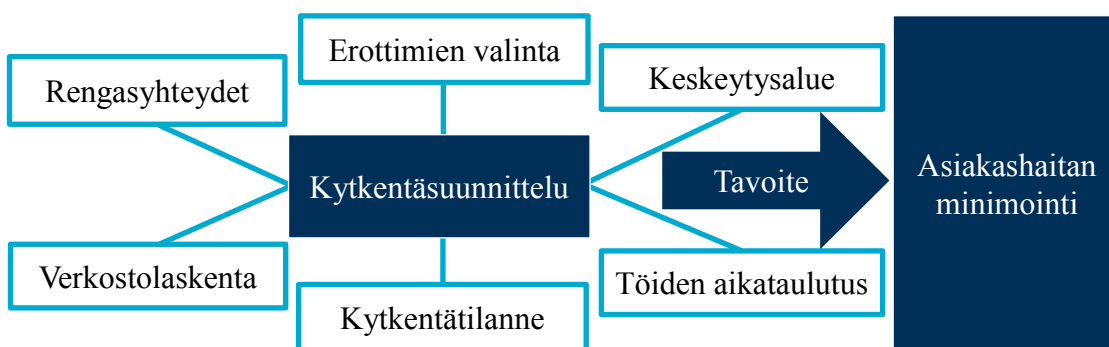
KytKentäsuunnitelma koostuu kytKentäohjelmasta ja kytKennän yleisistä tiedoista. KytKentäsuunnitelma tehdään ennen varsinaista työtä, jotta työryhmällä on riittävä aika tutustua kytKentäohjelmaan ja asiakastiedotus on mahdollista. Verkkoyhtiö voi toteuttaa asiakastiedotuksen esimerkiksi postikortilla, tekstiviestillä, sähköpostilla, internetsivuiltaan tai lehti-ilmoituksella (Elenia Oy, 2017a; Verho, 1997). Raportointia varten kytKentätilaukseen kirjataan kaikki tiedot, joita verkkoyhtiö tarvitsee keskeytystilastointia varten (Energiateollisuus, 2014). Töiden aikataulutus ja toteutusjärjestyksen suunnittelu on käytönsuunnittelijan tärkeimpiä tehtäviä, jotta verkon toiminta on taloudellista ja turvallista. (Energiateollisuus, 2015; Lakervi & Partanen, 2009)

Käytönsuunnittelija suunnittelee tarvittavat verkon kytKentätoimenpiteet, joista kytKentäohjelma muodostuu. KytKentäsuunnittelun tuloksena syntyy kytKentäohjelma, joka on kirjallinen yksityiskohtainen dokumentti kytKennöistä ja niihin liittyvistä turvallisuustoimenpiteistä. SFS 6002 (2015) mukaan suurjännitelaitteistojen kytKentäohjelman tarkistaa tarvittaessa kytKentäohjelman laatijan lisäksi toinen asiantunteva henkilö. KytKentäohjelmaan kirjataan työssä tarvittavien komponenttien ohjausjärjestys, päätyömaadoitusten paikat sekä ohjattavat komponentit. Työalueen erotuskytKentöjen ja työmaadoitusten jälkeen kytKentäohjelmaan kirjataan työnkuvaus. Verkkoyhtiön käyttökeskushenkilökunta toimii kytKennän johtajana. Työn jälkeen keskeytysalue palautetaan jännitteiseksi kytKentäohjelman mukaisesti. (SFS 6002, 2015; Energiateollisuus, 2015; Energiateollisuus, 2014)

3.1 KytKentäsuunnitelman toteutettavuus

Työn toteutettavuudella tarkoitetaan kaikkien työn tekemiseen vaikuttavia asioita. Toteutettavuutta arvioitaessa huomioidaan työn asiakkaille aiheuttama haitta, verkon kytKentätilanne, verkon suojauslaskenta, muut verkossa tehtävät työt ja niiden aikataulutus

sekä työn kesto. Keskeytyksen aikana verkon toiminnan ja keskeytystyön toteuttamisen pitää olla turvallista. Käytönsuunnittelijan kytkentäohjelman muodostamisessa huomioitavat asiat on kuvattu kuvaan 3.1. (Verho, 1997; Sihvonen, 2015)



Kuva 3.1 Kytkenäsuunnittelussa huomioitavat asiat, joiden rajoissa keskeytyksen aiheuttamat asiakasvaikutukset pyritään minimoimaan.

Kytkenäsuunnitteluun vaikuttavia asioita ovat:

- (1) Keskeytysalueen suuruus, joka määräytyy erottimien ja työn sijainnin sekä pienimmän mahdollisen asiakashaitan mukaan,
 - (2) Kytkenässä käytettävien erottimien valinta ja kytkentäjärjestys erottimien toiminnan tai kunnan mukaan,
 - (3) Verkon rengasyhteyksien käyttö ja sen aiheuttamat vaatimukset,
 - (4) Töiden aikataulutus ja muiden samanaikaisten töiden huomiointi,
 - (5) Verkon suunnitteluhetken ja kytkennän toteutushetken kytkentätilanne sekä kytkennän jälkeinen kytkentätilanne ja
 - (6) Verkostolaskenta, eli toteuttaako verkko kytkennän aikana suojausvaatimukset.
- Nämä vaikuttavat kytkentätöiden toteutettavuuteen. (Verho, 1997; Sihvonen, 2015; Elenia Oy, 2016b)

3.1.1 Keskeytysalueen muodostaminen

Eroittimien valintaa ohjaa työn maantieteellinen sijainti ja mahdollisimman pienen keskeytysalueen muodostaminen. Käytönsuunnittelijan tehtävänä on määritellä kytkennässä käytettävät erottimet ja niiden ohjausjärjestys siten, että keskeytysalueelle jää mahdollisimman vähän asiakkaita. Työhön valitaan työaluetta lähimmät mahdolliset erottimet. Muita huomioitavia asioita ovat erottimen katkaisukyky ja tyyppi eli onko erotin kauko- vai käsikäytettävä. Jos mahdollista, keskeytyksen aiheuttava kytkentä pyritään suorittamaan kaukokäytettävällä erottimella, koska virrankatkaisu on automatiikan ansiosta turvallisempaa. Manuaalierottimia käytettäessä varmistetaan, että erottimen virrankatkaisukyky on riittävä. (Lakervi & Partanen, 2009; Salmi, 2017; Verho, 1997)

Kytkenäsuunnittelussa varmistetaan komponenttien toimintakunto, mikä voidaan tarkastaa tietojärjestelmistä kunnossapitotiedoista. Verkon käytettävyyden kannalta hajon-

neet erottimet tulee korjata mahdollisimman nopeasti (Salmi, 2017). Keskeytys aloitetaan työkohdetta lähimpänä olevalta erottimelta, jotta työryhmä pystyy aloittamaan suunnitellun työn mahdollisimman nopeasti. (Sihvonen, 2015)

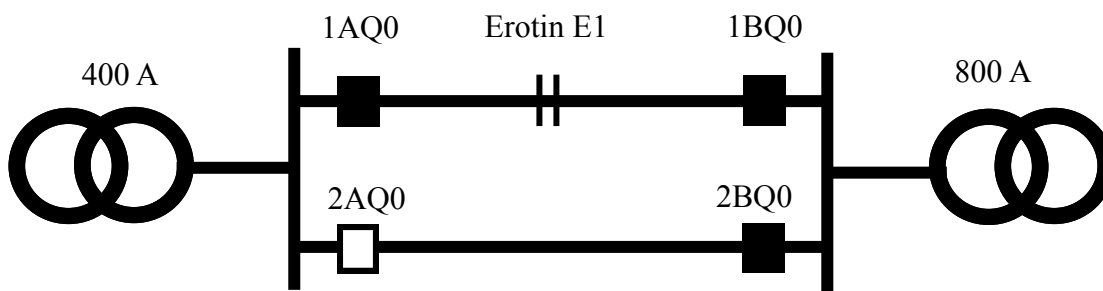
3.1.2 Rengasyhteyden muodostaminen

Verkon rengasyhteyksiä käytetään pienentämään keskeytysaluetta. Yleinen perusperiaate verkkotopologialle on, että jokaisella johtolähdöllä on yksi varasyöttö samalta sähköasemalta, jolloin johtolähtöjen rengaskäytössä ei ole päämuuntajan tai verkon maadoitustavan suhteen ongelmia. Tyypillisesti johtolähdöillä on yhteyksiä myös toisiin sähköasemiin. Tällöin rengaskäytössä täytyy varmistaa päämuuntajien rinnankytkettävyyden. Rinnankytkettävyyden ehtoina pidetään, että

- (1) muuntajien muuntosuhteet ovat samat,
- (2) muuntajien kytkentäryhmät ovat samat,
- (3) oikosulkuimpedanssit ovat hyväksyttävissä määrin yhtä suuret ja
- (4) mitoitustehojen suhde on enintään 1:3. (Elovaara & Haarla, 2011b; Zhu, et al., 2013)

Verkon eri maadoitustavat huomioidaan, kun kaksi päämuuntajaa kytketään rinnan. Jos rinnankytkettävien verkkojen maadoitustavat ovat eri eli toinen verkko on sammutettu ja toinen on maasta erotettu, sammutetun verkon sammutuskuristin kytketään käsikäytölle rengaskäytön ajaksi. Maadoitustapojen huomioiminen kirjataan kytkentäohjelman huomioriville. Lisäksi kun sammutettuun verkkoon lisätään verkkoa, täytyy varmistua, että sammutuskelassa on riittävästi säätövaraa lisäverkon kompensoimiseksi, jotta maasulkusuojaus toimii oikein. Käytännössä verkko suunnitellaan siten että maasulku suojaus toimii kytkentämuutoksissa. (Sihvonen, 2015; Lakervi & Partanen, 2009)

Johtolähtöjen kytkeminen renkaaseen aiheuttaa johtolähtöjen välille tasoisuvirran (Yang, et al., 2008). Tasoisuvirran arvo kasvaa, jos johtolähtöjä syöttävät eri päämuuntajat, tai jos johtolähtöjen tai päämuuntajien kuormat ovat erisuuret. Tasoisuvirta voi olla arvoltaan niin suuri, että verkon suojaus toimii (Xiang, et al., 2016). Tasoisuvirran vuoksi rengasyhteys on suositeltavaa kytkeä tai aukaista kaukokäytettävällä erottimella. Tasoisuvirrat aiheuttavat ongelmia erityisesti kaapeloiduissa taajamaverkoissa. Tällöin sähköasemien välimatkat ovat lyhyitä, jolloin asemien välinen impedanssi on pieni, mikä suurentaa tasoisuvirtaa. Tasoisuvirtaa voidaan pienentää muodostamalla apuyhteys päämuuntajien välille. Apuyhteyden muodostamisperiaate on kuvattu kuvassa 3.2. (Verho, 1997; Lakervi & Partanen, 2009)



Kuva 3.2 Yksinkertaistettu esitys rengasverkon apuyhteydestä. Kaksi päämuuntajaa on rinnankytkettäviä erotin E1 avulla, lisäksi muuntajilla on katkaisijalla suljettava apuyhteys lähdön 2A ja 2B välillä, joka voidaan sulkea katkaisijalla 2AQ. Perustuu lähteeseen (Virtanen, et al., 2017).

Kuvassa 3.2 on yksinkertaistettu esitys rinnan kytkettävistä päämuuntajista. Muuntajien kuormat ovat erisuuret, joten niiden välillä on tasoitusvirta, jonka sulkeminen erottimella E1 voi olla haasteellista. Renkaan kytkemiseen hyödynnetään apuyhteyttä, joka voidaan sulkea katkaisijalla 2AQ0. Kun halutaan kytkeä rengasyhteys lähtöä 1A pitkin, ensin suljetaan katkaisija 2AQ0. Koska lähtö 2A on määritelty apuyhteydeksi jo suunnitteluvaiheessa, se kestää tasoitusvirran. Katkaisijan sulkemisen jälkeen voidaan sulkea erotin E1 ja muodostaa loput halutut kytkennät. Renkaan aukaiseminen toteutetaan apuyhteyden avulla, mutta käänteisessä järjestyksessä siten, että apuyhteys avataan viimeisenä. (Verho, 1997; Virtanen, et al., 2017)

Verkkoyhtiöiden rajalla voi olla mahdollista muodostaa rengasyhteys viereisen verkkoyhtiön verkkoon, mitä kutsutaan varasyötöksi. Varasyötön muodostamisessa pätevät samat muuntajien rinnankytkemissäännöt kuin oman verkon muuntajien rinnankytkemisessä. Elenia Oy:n verkon kaikki varasyöttö pisteet on kuvattu DMS:ään ja niihin on tyypillisesti kirjattu: ovatko verkot rinnankytkettävissä ja vieraan verkon maadoitustapa sekä verkkoyhtiön yhteyshenkilön yhteystiedot. Jos verkot eivät ole rinnankytkettävissä, varasyöttö voidaan kytkeä lyhyen kytkentäkatkon avulla. Varasyötön käytöstä ja tehon tarpeesta sovitaan vieraan verkon yhteyshenkilön kanssa ja sovitut tiedot kirjataan kytkentäohjelmaan. Vaikka varayhteyden käytöstä syntyy kuluja, ne ovat tyypillisesti pienempiä kuin ilman varayhteyttä tehtävästä keskeytyksestä aiheutuvat KAH-kustannukset (Lakervi & Partanen, 2009). (Sihvonen, 2015)

3.1.3 Asiakastarkastelut ja töiden aikataulutus

Töiden aikataulutus ja työn kesto aika on huomioitava kytkentäsuunnittelussa. Suunnitellut asiakaskeytykset saavat kestää Elenia Oy:n jakeluverkossa enintään 3 tuntia. Keskeytystyön suoritus aikaa arvioidessa on huomioitava asiakastyypin, esimerkiksi yksityisasiakkaille keskeytys pyritään suorittamaan toimistotyöaikaan ja yritysasiakkaiden keskeytys pyritään suorittamaan toimistotyöajan ulkopuolella. (Elenia Oy, 2017b; Salmi, 2017; Sihvonen, 2015)

Osalle asiakkaista sähköjakelun keskeytys voi aiheuttaa merkittävää haittaa esimerkiksi tehtaan tuotannon pysähdyksenä. Tällaisille asiakkaille ei aiheuteta suunniteltuja keskeytyksiä paitsi, jos muuta keinoa työn toteuttamiseksi ei ole. Käytönsuunnittelija päättää kokemuksen ja yhteisten periaatteiden perusteella, täytyykö pienempien yrityksen kanssa sopia keskeytysajankohta. Asiakkaita, joille keskeytykset ilmoitetaan puhelimitse, ovat tyypillisesti vedenpumppaamot, kunnan palvelut tai muut pienet yritykset. (Salmi, 2017)

Verkon työt suoritetaan mahdollisimman nopeasti, jotta asiakkaiden kokema haitta jää mahdollisimman pieneksi (Sähkömarkkinalaki 588, 2013). Elenia Oy:ssä on kerätty tilastoa töiden keskimääräisistä kestoista vuosilta 2012 – 2016, mistä on koottu taulukko 3.1. Näitä suositusaikoja pyritään käyttämään, kun tarkastetaan työn toteutettavuutta.

Taulukko 3.1 Elenia Oy:n verkossa tehtyjen töiden keskimääräiset suoritusajat vuosilta 2012 – 2016 ja niihin suositellut tavoiteajat

Työ	Keskiarvo (h)	Tavoiteaikaehdotus (h)
Erothinuolto	1,09	1,0
Kaapelin käyttöönotto	1,83	2,0
Linjan päättely	1,75	2,0
Muuntajan vaihto	1,50	1,5
Muuntamon käyttöönotto	1,80	2,0
Orsityöt	1,70	2,0
Purkutyöt	1,54	2,0
Pylvään vaihto/lisäys	1,49	1,5
Ylijännitesuojien asennus/poisto	1,04	1,0

Elenia Oy:ssä työn kesto aika ilmoitetaan asiakkaille puolen tunnin tarkkuudella eikä työ saa kestää pidempään kuin on ilmoitettu. Taulukosta 3.1 nähdään, että kaikkien yleisimpien töiden keskimääräinen kesto on alle kolme tuntia eli alle suurimman sallitun kestoajan.

3.1.4 Verkon kytkentätilanteen hallinta

Verkon kytkentätilanne vaikuttaa kytkentätöiden toteutettavuuteen. Kytkentäsuunnittelijan tulee huomata, jos verkon kytkentätilanne ei ole normaali. Elenia Oy:n järjestelmistä verkon epänormaalitila voidaan huomata verkon erottimien normaalitilakirjauksista SCADA- tai DMS-järjestelmistä. Jos erotin on epänormaalitilassa, kytkentätilanne ei ole normaali. Verkon kytkentätilanne voi muuttua kytkennän suunnittelun ja toteutuksen välissä, esimerkiksi käyttöönotto töiden takia. (Sihvonen, 2015)

Töiden suunnittelussa huomioidaan muiden saman päivän töiden alkamisajankohta, jotta käyttökeskus ei ruuhkaudu. Jos tehdään useampia töitä samalla johtolähdöllä samaan aikaan, käyttövarmuus ja turvallisuus arvioidaan tapauskohtaisesti. Turvallinen ratkaisu on siirtää toista työtä eri ajankohtaan. (Sihvonen, 2015; Verho, 1997)

Sähköasemien korvauskytkennät huomioidaan kytkentätöiden suunnittelussa. Korvaustilanne voi johtua esimerkiksi päämuuntajan huollosta. Korvaustilanteessa sähköaseman kiskoa tai johtolähtöjä syötetään toisilta keskijännitelähdöiltä, jolloin sähköasemaa syöttävillä lähdöillä ei saa tehdä keskeytyksiä. Sähköasemakorvaustilanteet voidaan havaita SCADA:n ja DMS:n epänormaaleina kytkentätiloin. Lisäksi käytönvalvomo on aikatauluttanut sähköasematyöt sähköiseen kalenteriin. (Sihvonen, 2015)

Toimitusvarmuus vaarantuu, jos johtolähdölle ei jää yhtäkään rengasyhteyttä tai suuret kuormitus-alueet jäävät ilman rengasyhteyttä. Myös kytkentöjen vaikutus verkon toimitusvarmuuteen pitää huomioida. (Virtanen, et al., 2017)

3.1.5 Laskenta kytkentämuutoksissa

Verkon pitää toteuttaa suojausasettelut kaikissa tilanteissa. Kytkentäsuunnittelussa tarkastetaan verkon toiminta suorittamalla oikosulku- ja tehonjakolaskenta aina kun johtolähdölle kytketään lisää kuormitusta. (Elovaara & Haarla, 2011a; Lakervi & Partanen, 2009)

Tehonjakolaskennassa lasketaan verkon kuormitus huippukuormatilanteessa. Asiakkaiden kuormina käytetään joko mitattua huipputehoa tai arvioitua huipputehoa. Laskennalla selvitetään johtojen kuormitusaste, energiahäviöt ja johtojen jännitteenalenema. Kuormitusasteesta saadaan selville johtolähdön suurin kuormitusvirta ja johto-osat, joissa kuormitettavuus ylittää sallitut rajat. Tehonjakolaskennan tulosten avulla käyttäjä voi tarkastaa erottimien kuormankatkaisukyvyn riittävyyden kuormitusvirralle. Elenian sisäisten ohjeiden mukaan suurimman kuormitusvirran arvon pitää olla puolet pienempi kuin ylivirtasuojan ensimmäisen portaan asetteluarvo, jotta johtolähdön kytkemisen aiheuttama kytkentävirtasysäys ei aiheuta suojan toimintaa. (Elovaara & Haarla, 2011a)

Jännitteen alenemasta voidaan päätellä jokaisen jakelumuuntajan ensiöjännite (Elovaara & Haarla, 2011a). Kytkentämuutoksissa jännitteen tulee pysyä standardin SFS 50160 mukaisissa rajoissa. Elenian sisäisten ohjeiden mukaan kytkentäohjelmaan kirjataan huomautus ”nosta jännitettä”, jos verkon pienin jännite on kytkentämuutoksessa alle 20 kV. Ohjeiden mukaan kytkentää muutetaan, jos laskennan pienin jännite on alle 19,6 kV.

Oikosulkulaskennassa lasketaan verkon kolme- ja kaksivaiheisten oikosulkujen arvot. Kuormituslaskentaan verrattuna laskenta on yksinkertaisempaa, koska kuormitusvirran arvo oletetaan nolaksi. Oikosulkuvian arvot lasketaan lähtöjännitteen, syöttävän verkon

impedanssin ja mahdollisen vikaimpedanssin avulla. Kytkentämuutoksissa verkon komponenttien oikosulkukestoisuus tarkastetaan ja verkon pienintä mahdollista oikosulkuvirran arvoa verrataan johtolähdön suojausasetteluun. Pienin mahdollinen oikosulkuvirta syntyy kaksivaiheisessa oikosulussa (Lakervi & Partanen, 2009). Elenian sisäisten ohjeiden mukaan tilapäisessä kytkennässä pienin hyväksyttävä oikosulkuvirran laskenta-arvo on 1,3-kertainen suhteessa suojareleen ylivirtasuojan ensimmäisen portaan asetteluarvoon (Elenia Oy, 2016b). (Elovaara & Haarla, 2011a)

3.1.6 Sähköasematyöt

Sähköasemakorvauskytkennät ovat haastavia kytkentätöitä, jotka voivat erota toisistaan merkittävästi. Sähköasemilla on erilaisia kiskorakenteita, eri määriä päämuuntajia ja riippuen sähköasemasta jännitteensäätäjä voi olla joko käsi- tai automaattisäätöinen. Myös sähköaseman maadoitustapa, releiden asettelut ja toiminnallisuudet vaikuttavat korvauskytkentään. Tässä työssä käsitellään sähköasematöitä yleisellä tasolla yhden päämuuntajan tilanteessa eikä kojeiston rakenteeseen oteta kantaa. (Lakervi & Holmes, 1989)

Sähköasemakorvauksissa joudutaan korvaamaan sähköaseman päämuuntajan kuormat käyttäen muita sähköasemia. Riippuen korvauskytkennän syystä sähköaseman kisko on tai ei ole käytössä korvauskytkentään. Sähköasemakorvauskytkennöissä huomioidaan korvaavan verkon sammutuskelan riittävyys korvattavan verkon maasulkuvirtojen kompensoimiseksi. Verkko voidaan kompensoida keskitetysti sähköasemalla tai hajautetusti johtolähdöillä. Keskitetyssä järjestelmässä käytetään sähköasemalla säädettävää sammutuskelaa, jonka tarkoituksena on kompensoida koko päämuuntajan syöttämän verkon maasulkuvirta. Hajautetun kompensoinnin tarkoituksena on kompensoida johtolähtökohtaisesti pitkien kaapelien muodostama maasulkuvirta. Hajautettu kompensointi voi muodostua ongelmaksi, jos tällaista verkko-osuutta syötetään sähköasemalta, joka on maasta erotettu. Jos verkko on kompensoitu keskitetysti, sähköasemakorvauksessa huomioidaan, onko korvattavan päämuuntajan sammutuskela asennettu päämuuntajan tähtipisteeseen vai sähköaseman kiskoon maadoitusmuuntajan kautta. Korvauskytkennässä sammutuskelan säädön tulee riittää korvattavan verkon maasulkuvirran kompensointiin. Keskimäärin avojohtoverkko tuottaa maasulkuvirtaa 0,067 A/km. Kaapeliverkko tuottaa maasulkuvirtaa kaapelityypistä riippuen 2,7 – 4 A/km. (Lakervi & Holmes, 1989; Lakervi & Partanen, 2009; Pesonen, 2015)

3.1.7 Muut huomioitavat asia

Joissakin keskeytystilanteissa sähkönjakelu voidaan korvata kytkemällä muuntopiiriin tai johtolähtöön varavoimakone. Asiakaskeskeytyksen vaatinut työ voidaan tällöin suorittaa ilman asiakaskeskeytystä. Varavoimakoneen käyttö riippuu verkkoyhtiön verkko-tyypistä ja saatavilla olevien varavoimageneraattoreiden määrästä. Esimerkiksi Tampe-

reen Sähköverkko Oy käyttää varavoimakoneita yleisesti kaupunkialueella kaapelinkorjaustöissä tai muissa suunnitelluissa kaupunkialueen töissä (Virtanen, et al., 2017). Elenia Oy:n sisäisten ohjeiden mukaan varavoimaa käytetään urakoitsijan ehdotuksesta tai poikkeustilanteessa esimerkiksi, jos keskeytyksestä syntyy merkittävä pitkäkestoinen asiakasvaikutus. Tyypillisesti varavoimalla syötetään kriittistä asiakasta, joka sijaitsee keskeytysalueella. (Sihvonen, 2015)

Jännitetyökatkopaikan rakentamisella voidaan pienentää keskeytysaluetta, työn aiheuttamaa haittaa asiakkaille ja työn KAH-kustannusta. Jännitetyökatkopaikka voidaan rakentaa paikkaan, joka rajaa paljon asiakkaita pois keskeytysalueelta, on hyvien kulkuyhteyksien päässä ja se on hyödyllinen myös tulevaisuudessa. Jännitetyökatkopaikan takaisten kuormitusten tulee olla helposti erotettavissa verkosta tai verkon jakorajan tulee olla helposti siirrettävissä katkopaikan viereen. Kuitenkin katkopaikka investoinnit tehdään harkiten. (Sihvonen, 2015)

3.2 Keskeytystyöt

Keskeytystöiden turvallisuusohjeet on koottu sähkötyöturvallisuusstandardiin SFS 6002 (2015). Lisäksi sähkötyöturvallisuuslaki (2016) määrittelee valvontavastuut, työntekijöiden pätevyysvaatimukset sekä valvontaviranomaisen (Tukes). Standardi SFS 6002 (2015) määrittelee viisi turvallisuussääntöä jännitteettömän keskeytysalueen muodostamiseen ja siellä työskentelyyn:

- (1) täydellinen erottaminen,
- (2) jännitteen kytkemisen estäminen,
- (3) jännitteettömyyden toteaminen,
- (4) maadoittaminen ja
- (5) suojaaminen lähellä olevilta jännitteisiltä osilta.

Näiden sääntöjen mukaiset kytkentä- ja turvallisuustoimenpiteet kirjataan kytkentäohjelmaan. Alueen suojaaminen jännitteisiltä osilta on yleensä työryhmän vastuulla eikä sitä kirjata kytkentäohjelmaan. (SFS 6002, 2015)

Kytkeä toteutettaessa varmistetaan erottimien kaikkivaiheisesta avautumisesta tai sulkeutumisesta. Kytkijä voi varmistaa erottimen erotusvälin paikallisesti tai käytönvalvoja voi tarkastaa asian SCADA:sta, jos järjestelmät mahdollistavat tarkastamisen luotettavasti. Kytkentäsuunnitelmaan kirjataan toiminnon suorittaja, joka on maastossa työryhmän sähkötyöturvallisuuden valvoja ja kaukokäytettävillä erottimilla käyttökeskus. (Energiateollisuus, 2015)

Keskeytysalue erotetaan verkosta kaikista syöttösuunnista. Erityistä huolellisuutta käytetään tilanteissa, joissa takasyötön, eli tuotantolaitoksen tai pientuotannon, kytkeytyminen keskeytysalueelle on mahdollista. Energiantuotannon ja muiden mahdollisten ta-

käyttökohteiden erottaminen varmistetaan samalla tavalla kuin muidenkin syöttösuuntien. Keskeytysalue erotetaan käyttämällä näkyvää ilmapäliä tai muuta riittävää eristystä. Keskeytysalueen rajaamiseen käytettäviä laitteita ovat erottimet, erotuskytkimet, sulakkeiden poisto, jännitetyöerotuskohdat, erottavat katkaisijat tai vikavirtasuojat. Pelkän katkaisijan erotusväli ei ole riittävä keskeytysalueen erottamiseen verkosta. (SFS 6002, 2015)

Keskeytysalueen rajaamisen jälkeen jännitteen uudelleen kytkeytyminen estetään. Kytkinlaitteet lukitaan auki tilaan siten, että sulkeminen on mahdollista vain avaimen tai työkalun avulla. Lisäksi kytkinlaitteeseen liitetään kieltokilpi, joka kieltää jännitteen kytkemisen. Standardin SFS 6002 (2015) mukaan, kun kytkentöjä tehdään kaukokäytettävillä laitteilla, fyysistä lukitsemista ei tarvita, jos käytössä on luotettava kauko-ohjauksen estomenetelmä. Elenia Oy:n toimintaohjeiden mukaan pelkkä kaukokäytön estäminen ei ole riittävä. Keskeytysaluetta rajaavat kaukokäytettävät laitteet ohjataan paikallistilaan ja niiden ohjaus lukitaan ja kytketään kieltokilpi, kuten käsikäyttöisillä erottimilla. Näitä asioita kutsutaan turvallisuustoimenpiteiksi. Turvallisuustoimenpiteet kirjataan kytkentäohjelmaan ohjaustoimenpiteen huomioriville. Elenia Oy:ssä käytettävät turvallisuustoimenpiteet on koottu liitteeseen C. (SFS 6002, 2015)

Keskeytysalueen jännitteettömyys tarkastetaan kaikista vaiheista ennen päätyömaadoitusten kytkemistä. Jännitteettömyyden tarkastaminen kirjataan kytkentäohjelmaan. Aina kun mahdollista keskeytysalue maadoitetaan kiinteillä maadoituserottimilla, mutta maadoitus voidaan tehdä myös siirrettävillä maadoitusvälineillä. Maadoittaminen tehdään kaikista syöttösuunnista ja maadoituserottimet ja maadoituspaikat kirjataan kytkentäohjelmaan. Päätyömaadoitusten vaatiminen on verkkoyhtiön vastuulla. Työryhmä lisää tarvittaessa lisätyömaadoituksia. (SFS 6002, 2015)

Siirrettävien maadoitusvälineiden poikkipinta-alan laskemiseen tarvitaan viankestoaika sekä suurimman vikavirran suuruus kyseisessä paikassa. Suurin vikavirta syntyy kolmivaiheisesta oikosulusta (Lakervi & Partanen, 2009). Alle viisi sekuntia kestävien vikavirtojen maadoitusjohtimien poikkipinta-ala voidaan laskea yhtälöllä

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\Theta_f \beta}{\Theta_i \beta}}}, \quad (3.1)$$

Jossa A on johtimen poikkipinta-ala, I on johtimen vikavirran tehollisarvo, t_f on vikavirran kesto aika, K on virrallisen osan materiaalista riippuva vakio, β on virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, Θ_i on alkulämpötila, (suomessa käytetään arvoa $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) ja Θ_f on loppulämpötila (suomessa käytetään $300\text{ }^{\circ}\text{C}$). Maadoitusmateriaalina käytetään kuparia, alumiinia tai terästä, joiden materiaali-kohtaiset vakiot on kerätty taulukkoon 3.2. (SFS 6001, 2009)

Taulukko 3.2 Maadoitusmateriaalien materiaaliveikot (SFS 6001, 2009)

Materiaali	β (°C)	K ($A \cdot \sqrt{s/mm^2}$)
Kupari	234,5	226
Alumiini	225	148
Teräs	202	78

Maadoituksissa tyypillisesti käytetään kuparia. Taulukon 3.2 arvojen ja suomessa käytettyjen lämpötila-arvojen avulla voidaan yhtälö 3.1 supistaa muotoon

$$A = \frac{I}{226} \sqrt{\frac{t_f}{2.708}} \quad (3.2)$$

Verkkokytkennöissä maksimivirta saadaan DMS-järjestelmän laskemasta oikosulkuvirrasta. Viankestoaika saadaan suojauksen toiminta-ajasta. Standardin SFS 61230 (2008) mukaan suurjännitelaitteistossa tyypillisesti käytettäviä maadoitusjohtimien poikkipinta-aloja ovat 16 mm², 25 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm², 95 mm², 120 mm² ja 150 mm². (SFS 61230, 2008)

Työn jälkeen työkohteen jännitteen palautus toteutetaan samalla tavoin kuin jännitteen erotuskytkennät, mutta käännettyssä järjestyksessä. Myös jännitteen palauttamiseen tarvittavat toimenpiteet kirjataan kytkentäohjelmaan ja kytkemistoimenpiteet toteutetaan kytkentäohjelman mukaisesti kytkennänjohtajan valvonnassa. Elenian sisäisten ohjeiden mukaan erotus- ja palautuskytkennät suunnitellaan samaan kytkentäohjelmaan. Palautuskytkennöillä verkko voidaan palauttaa samaan kytkentätilanteeseen tai kytkentätilannetta voidaan muuttaa. (SFS 6002, 2015; Energiateollisuus, 2015)

3.3 Jännitetyöt

Jännitetyö (JT) määritellään standardissa SFS 6002 (2015): ”Jännitetyön tekemisen aikana työntekijät ovat kosketuksessa paljaiden jännitteisten osien kanssa tai ulottuvat jännitetyöalueelle joko kehonsa osilla tai käsittelemällä työkaluilla, varusteilla tai laitteilla.” Jos jännitetöissä ohjataan useampaa kuin yhtä erotinta tai muutetaan verkon tilaa, niiden tekeminen jakeluverkossa vaatii kirjallisen kytkentäohjelman. Jakeluverkon jännitetyöt ovat vaativia jännitetöitä, joissa työryhmään pitää kuulua ainakin kaksi jännitetyökoulutuksen käynnyttä henkilöä. (SFS 6002, 2015)

Jännitetyömenetelmiä käyttäen voidaan pienentää kunnossapitotöiden tai verkon rakentamisen aiheuttamia asiakashaittoja ja KAH-kustannuksia. Jännitetyömenetelmillä voidaan kytkeä uutta verkkoa käyttöön tai suorittaa kunnossapitotöitä ilman sähkönjake-lunkeskeytystä. Jännitetyömenetelmiä voidaan myös yhdistää keskeytystöihin, jolloin keskeytyksen turvallisuustoimenpiteet tehdään, kuten luvussa 3.2 on kuvattu, mutta tar-

vittava osa työstä toteutetaan jännitetyönä, mikä voi pienentää keskeytysaluetta. Jännitetyömenetelmillä voidaan esimerkiksi kytkeä yksivaiheiset erotuskohdat avojohtoon, joi- ta kutsutaan jännitetyökatkopaikoiksi (JT-katkopaikka). Jännitetyökatkopaikat mahdol- listavat esimerkiksi jännitteettöminä suoritettavien erotinhuoltojen katkoalueen rajaami- sen vain huollettavan erottimen alueelle. (Nikander & Mäkinen, 2014)

Tyypillisiä jännitetöitä ovat komponenttien vaihto sekä erilaiset liitäntä- ja puhdistus- työt (SFS 6002, 2015). Tyypillisesti Elenia Oy:n käytönsuunnittelija vaatii, että taulu- kon 3.3 mukaiset työt toteutetaan jännitetyömenetelmillä. Näistä töistä saa tulla keskey- tys vain jos jännitetyön ehdot eivät täyty. (Sihvonen, 2015)

Taulukko 3.3 Jännitetyönä tehtäviä töitä. Perustuu lähteeseen (Sihvonen, 2015)

Komponenttien vaihto	Liitännän teko tai irrotus	Puhdistus- tai voitelutyö
Erotinasennukset	AMKA-verkon kytkentä	Muuntamoimurointi
Kipinävälin poisto	JT-katkopaikan teko	
Lintupallojen asennukset	JT-katkopaikan avaaminen	
Välivarokkeen asentaminen	JT-katkopaikan sulkeminen kaapelikytkennät	

Standardin SFS 6002 (2015) mukaan jännitetöiden aikana verkossa ei saa olla käytössä jälleenkytkentöjä, koska niistä voi aiheutua kytkentäylijännitteitä, jotka voivat olla vaa- rallisia onnettomuustilanteessa. Jälleenkytkentöjä poistettaessa huomioidaan kaikki jän- nitetyökohdetta syöttävät katkaisijat. Johtolähdöllä ei saa olla energiantuotantoa kytket- tynä jännitetyön aikana. Jos jännitetyössä aiheutuu vika, tuotantolaitokset saattavat muuten syöttää vaarallista vikavirtaa. Jännitetyönä irti tai kiinni verkkoon kytkettävässä johto-osassa ei saa olla kuoritusta kytkettynä. Tuotannon poistaminen, jälleenkytkentö- jen poistaminen ja kuormituksen poiskytkeminen kirjataan kytkentäohjelmaan. Jännite- töitä ja muita töitä yhdistettäessä jälleenkytkentöjen poistaminen kirjataan töiden suori- tusjärjestyksessä eli juuri ennen johtolähdöllä tehtäviä jännitetöitä. Jälleenkytkentöjen poistamisen ja kytkemisen turvallisuustoimenpiteet on kirjattu liitteeseen C. (SFS 6002, 2015; Sihvonen, 2015)

Jännitetyömenetelmin saa kytkeä korkeintaan 1,5 A varausvirtaa. Suurimman sallitun varausvirran arvon määrittelee valokaaren hallittavuus ja vaiheoikosulun syntymisherk- kyys. 1,5 A varausvirran aiheuttaa esimerkiksi 25 km pitkä avojohto, tai 1 km pape- rieristeinen 120 mm² maakaapeli. Erityisesti pitkien maakaapelien kytkennässä varaus- virta aiheuttaa ongelmia. (Headpower, 2014a)

Jännitetyömenetelmillä johtojen kytkennät toteutetaan vaihe kerrallaan, mikä aiheuttaa verkkoon hetkellistä epäsymmetriaa. Epäsymmetrian vuoksi verkon nolajännite ja - virta kasvavat, mikä voi johtaa lähdön maasulkusuojan toimintaan. Kytkettäessä maa-

kaapeli ja sen päässä oleva muuntaja vaihe kerrallaan verkkoon maakaapelin kapasitiivisen reaktanssin ja tyhjäkäyvän muuntajan tyhjäkäynti-impedanssin välille voi syntyä sarjaresonanssi, joka nostaa nollajännitettä ja summavirtaa. Sarjaresonanssin vaikutus nollajännitteeseen ja -virtaan on suurempi kuin pelkkää maakaapelia kytkettäessä. Tällaisissa tilanteissa vaihejännitteet erotuskohdan takana voivat nousta niin suuriksi, että ne rasittavat muuntajan ylijännitesuojia. (Nikander & Mäkinen, 2014)

Elenia Oy:n ja Tampereen teknillisen yliopiston tekemien tutkimusten perusteella (Nikander & Mäkinen, 2014) Elenia Oy:n sisäisiin ohjeisiin on määrätty jännitetyöllä jännitteiseksi tai jännitteettömäksi kytkettävän verkon maksimipituudet: 1 km maakaapelia, 250 m maakaapeli ja yksi 200 kVA muuntaja tai 25 km avojohtoa. (Elenia Oy, 2016b)

3.4 Kytkentätilaus Elenia Oy:ssä

Kytkentätilaus tarkoittaa kytkentätarpeen ilmoittamista verkkoyhtiölle. Kytkentätilaus voidaan tehdä Elenia Oy:ssä kolmella tavalla:

- (1) Urakoitsija voi tehdä kytkentätilauksen täyttämällä kytkentäaloitteen DMS:ssä.
- (2) Urakoitsija voi lähettää sähköpostia Verkon käyttö -tiimin sähköpostiin
- (3) Asiakas voi tehdä kytkentätilauksen täyttämällä internetissä keskeytysjärjestelylomakkeen (Elenia Oy, 2017c).

Kytkentäaloite on Trimble DMS:n käytönsuunnittelun sovellus, jonka avulla hallitaan verkon suunniteltuja kytkentöjä. Trimble DMS:n avulla voidaan suunnitella kytkentäohjelmia ja tehdä keskeytysraportointia. Suurin osa Elenia Oy:n kytkentätilauksista tilataan DMS:n kytkentäaloitteella ja myös muilla tavoin tilatut kytkentätilaukset siirretään DMS-järjestelmään kytkentäaloitteiksi. (Sihvonen, 2015)

Verkkoyhtiö määrittelee millaisella aikataululla erilaiset kytkentätarpeet pitää ilmoittaa, jotta suunnitteluun jää riittävästi aikaa. Elenia Oy:ssä urakoitsijan kytkentäaloitteella tai sähköpostilla tilaaman asiakaskeskeytyksellisen työn tilausaika on viisi täyttä arkipäivää. Urakoitsijan muiden töiden tilausaika on kaksi täyttä arkipäivää. Asiakaskeskeytyksen tilausaika on pidempi, koska asiakkaita tiedotetaan riittävän aikaisin ennen sähköjakelun keskeytystä. Asiakkaan tilaaman keskeytysjärjestelyn tilausaika on kolme viikkoa (Elenia Oy, 2017c). Lisäksi sähköasemakorvausten tilausaika on kolme viikkoa ja siirtoverkon töiden tilausaika on neljä viikkoa. (Elenia Oy, 2016b)

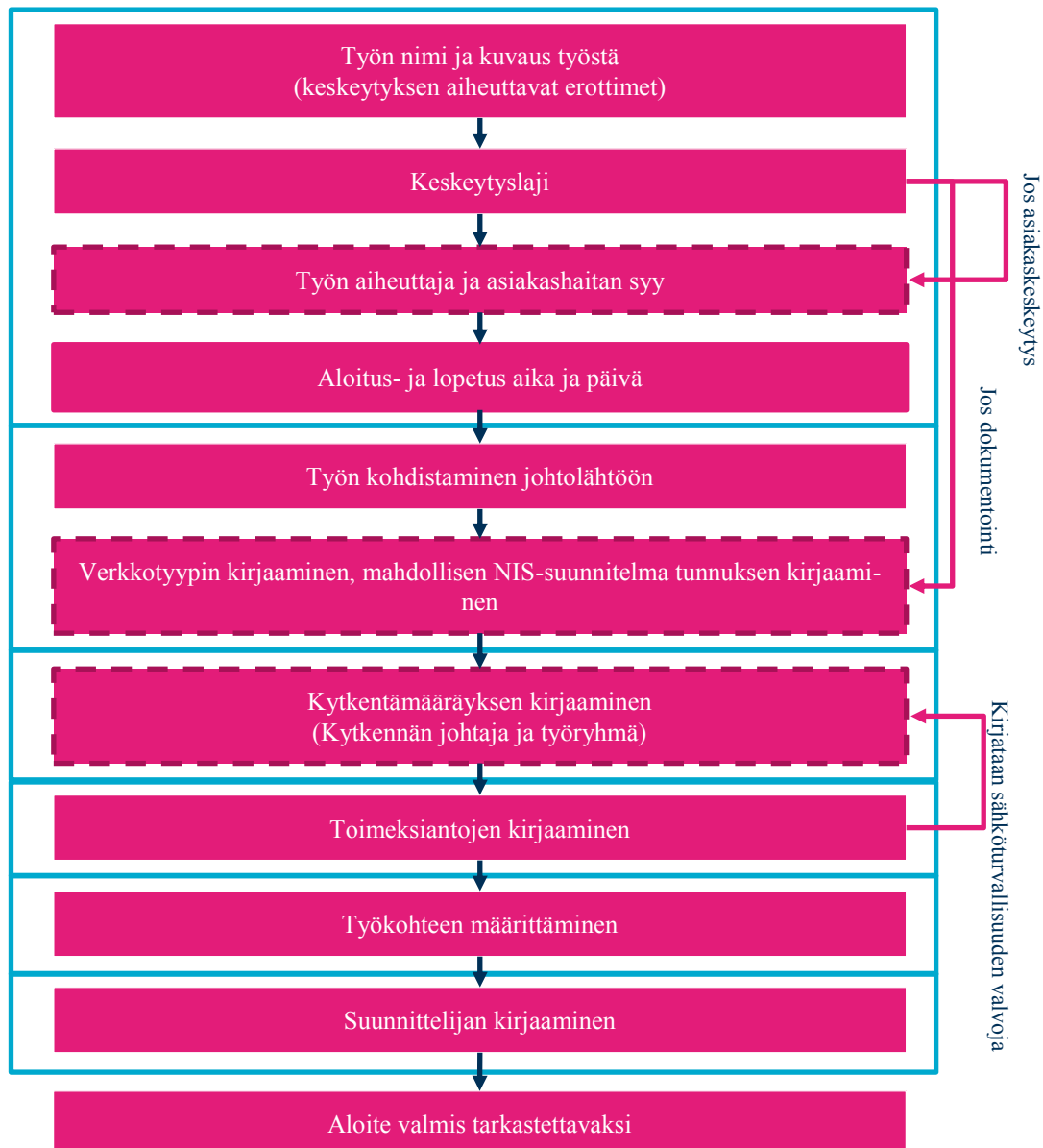
KJ-verkossa tehtävät työt voidaan jaotella kahteen kytkentälajin mukaiseen pääkategoriaan, joissa kummassakin voi lisäksi oli lisätyövaiheita, jotka vaikuttavat kytkentäsuunnitteluun. Pääkategorioita ovat keskeytystyöt ja työt, joista ei aiheudu asiakaskeskeytyksiä. Lisätyövaiheita ovat jännitetyöt ja uuden verkon käyttöönotto. Lisätyövaiheet eivät vaikutta kytkennän suunnitteluun. (Elenia Oy, 2016b)

KytKentäaloitteeseen kirjataan kaikki tiedot, joita vaaditaan keskeytystilastoinnissa keskeytystilastointiohjeen mukaan (2014). Aloitteeseen kirjataan myös energiateollisuuden sähkötyöturvallisuus ohjeen (2015) mukaiset vastuuhenkilöt, joita kutsutaan Trimble DMS-ohjelmassa toimeksiannoiksi. Työn tilaaja kirjaa kytKentäaloitteeseen vähintään työn tilaajan, työstä vastaavan henkilön ja työnaikaisen sähköturvallisuuden valvojan. Käytönsuunnittelija kirjaa työn valmisteluluvan myöntäjän ja asiakastiedotuksesta vastaavan henkilön. KytKennän johtajana toimii aina Elenia Oy:n käyttökeskus. Jokainen kytKentäaloite kohdennetaan sähköasemaan ja sähköaseman johtolähtöön. Taulukkoon 3.4 on koottu kytKentäaloitteeseen kirjattavat asiat jaoteltuna kirjausperusteen mukaan. (Elenia Oy, 2016b)

Taulukko 3.4 KytKentäaloitteeseen kirjattavat asiat kirjausperusteen mukaan. (Energiateollisuus, 2014; Sihvonen, 2015; Elenia Oy, 2016b)

Keskeytys-tilastointi	Sähköturvallisuuslain määrittelemät vastuut	KytKentäsuunnittelun mahdollistavat asiat
Jännitetaso	Työn tilaaja	Yleiskuva työstä
Keskeytyslaji	Työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja	Otsikko ja ID
Aiheuttaja	Työn vastuuhenkilö	Työn päivä ja kesto aika
Sijainti	Valmisteluluvan myöntäjä	Työn kohde
Aloitusaika	Asiakastiedotuksesta vastaava	Suunnittelija
Lopetusaika	KytKennän johtaja	Tarkastaja NIS-suunnitelmatunnus (käyttöönotto työt)

KytKentäaloitteeseen kirjattujen tietojen tavoitteena on, että käytönsuunnittelija pystyy suunnittelemaan kytKennän ilman yhteydenottoa työn tilaajaan. Aloitteen oikeellisuutta kutsutaan kytKentäaloitteen laaduksi. Suunnittelun kannalta tärkein kytKentäaloitteeseen kirjattava tieto on työn kuvaus. Urakoitsija kuvaa työn toteutuksen mahdollisimman selkeästi: mitä tehdään ja missä sekä mitkä erottimet rajaavat keskeytysalueen. KytKentäaloitteen kirjaamisen vaiheet on kuvattu kuvaan 3.3.



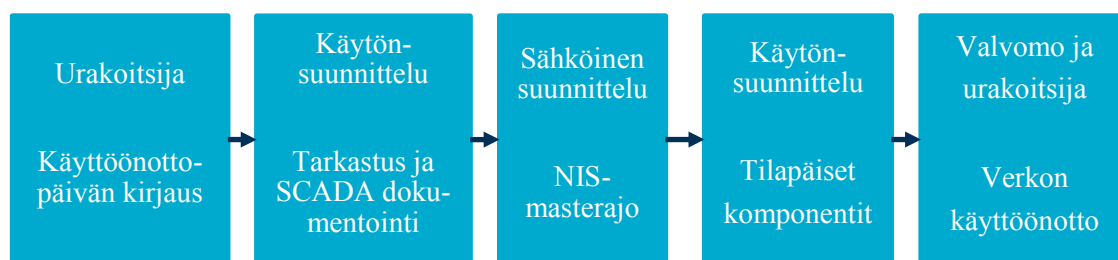
Kuva 3.3 Urakoitsijan aloitteen kirjaamisprosessi, siniset laatikot kuvaavat aloitteen eri välilehtiä ja punaiset nuolet kuvaavat työvaiheen vaikutusta. Perustuu lähteeseen (Elenia Oy, 2016b)

Kuvan 3.3 siniset laatikot kuvaavat aloitesovelluksen yhtä välilehteä, punaiset laatikot toimenpidettä välilehdellä ja katkoviivalla ympäröidyt punaiset laatikot kuvaavat kytkentäohjelman muodostamiseen vaikuttamattomia vaiheita. Kuvasta 3.3 huomataan, että kytkentäaloitteen kirjaamisessa on monta vaihetta, joista moni vaikuttaa kytkentäohjelman tekemiseen. Aloitteessa erityisesti keskeytyslajin valinta vaikuttaa siihen mitä kenttiä täytetään, esimerkiksi jos keskeytyslajina on asiakaskeskeytys ja dokumentointi, niin aloitteelle kirjataan NIS-suunnitelmatunnus ja asiakashaitan syy. Näitä yhteyksiä kuvaavat oikealla olevat nuolet. Vaikka kaikki kentät eivät suoraan vaikuta kytkentäohjelman suunnitteluun, niitä tarvitaan keskeytystilastoinnissa. (Elenia Oy, 2016b)

3.5 Uuden verkon käyttöönotto Elenia Oy:ssä

Vuonna 2016 Elenia Oy:n verkossa tehtiin käyttöönottoja 1464 kappaletta, mikä oli 44 % kaikista verkon suunnitelluista töistä. Näistä töistä 957 kappaletta toteutettiin ilman asiakaskeskeytyksiä ja 507 kappaletta aiheutti asiakaskeskeytyksen. Kaikkiaan jännitetyömenetelmiä käytettiin uuden verkon käyttöönottoissa 605 kertaa. (Luku 5.1 taulukko 5.1)

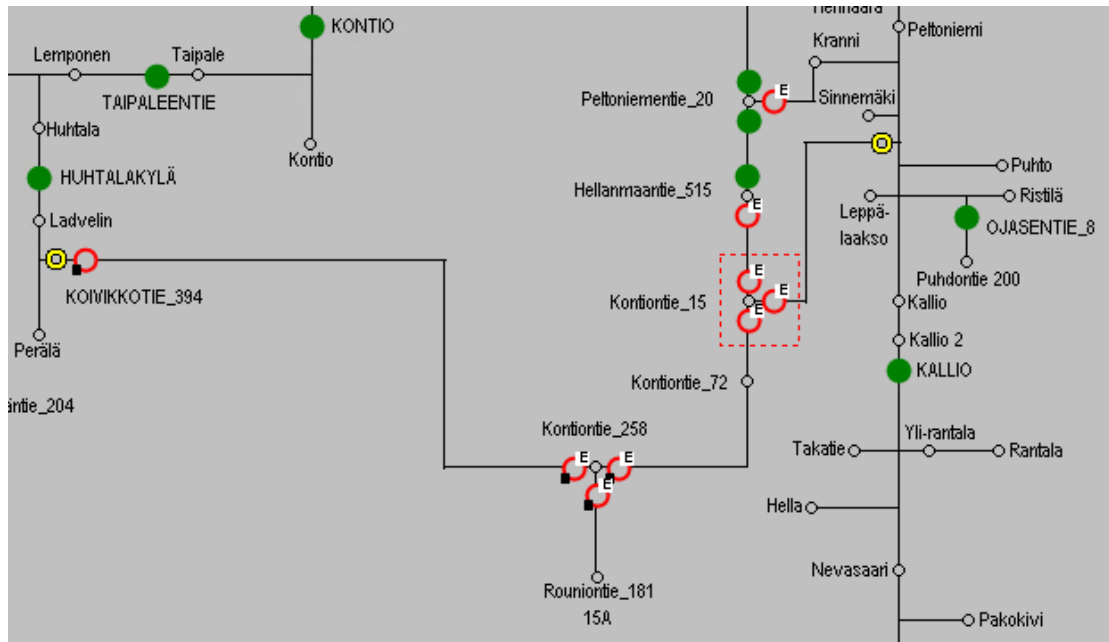
Seuraavaksi käsitellään Elenia Oy:n uuden verkon käyttöönottoprosessia Elenia Oy:n sisäisten ohjeiden (2016b) ja Sihvosen (2015) opinnäytetyön perusteella. Käyttöönotto-työt monimutkaistavat kytkentäsuunnittelua, koska verkko dokumentoidaan sekä NIS/DMS:ään että SCADA:an ennen kytkentäohjelman suunnittelua. Käyttöönotto töissä kytkentäaloitteelle kirjataan muiden tietojen lisäksi käyttöönotettavan verkon NIS-suunnitelmatunnus, jotta käytönsuunnittelija pystyy tarkastamaan verkon dokumentoinnin olevan käyttöönoton osalta riittävä ja yksiselitteinen. Uuden verkon käyttöönottoprosessi Elenia Oy:ssä on kuvattu kuvaan 3.4.



Kuva 3.4 Verkon käyttöönottoprosessin kulku ja työvaiheet Elenia Oy:ssä, perustuu lähteeseen (Kamppari, 2016)

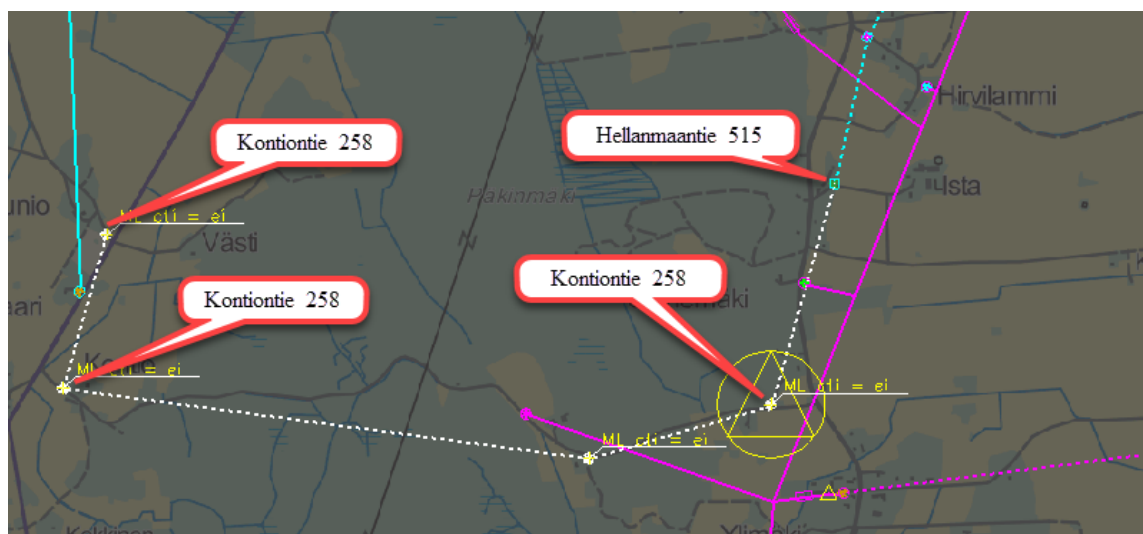
Käytönsuunnittelijan tehtävänä on tarkastaa verkkotietojärjestelmästä, että uuden verkon käyttöönottopäivämäärät ja kytkinlaitteiden tiedot ovat oikein. Tarkastuksen jälkeen voidaan pyytää uuden verkko-osan tallennus mastertietokantaan. Mastertietokanta tarkoittaa kaikkea verkkoyhtiön käytössä olevaa verkkoa, joka on dokumentoitu verkkotietojärjestelmään. Uuden verkon tallentamisen NIS-master-tietokantaan suorittaa Elenia Oy:ssä Sähköinen suunnittelu -tiimi ja se toteutetaan yleensä päivä ennen varsinaista kytkentää. (Elenia Oy, 2016b; Kamppari, 2016)

Käytönsuunnittelun tehtävänä on dokumentoida verkko SCADA:an ennen verkon masterajoa, jotta kytkentätilanne on yksiselitteinen. SCADA:n oikea kytkentätilanne toteutetaan tilapäisillä katkopaikoilla. Kuvassa 3.5 on kuvattu käyttöönottamaton verkko SCADA:ssa, joka on erotettu käytössä olevasta verkosta katkopaikoilla. (Sihvonen, 2015)



Kuva 3.5 Käyttöönotettava verkko SCADA:n verkkokaaviokuvassa, jossa käyttöönotettava verkko on erotettu käytössä olevasta verkosta keltaisilla katkopaikoilla ja auki olevalla manuaalierottimella. (Elenia Oy, 2016b)

Verkon masteriin tallennuksen jälkeen käytönsuunnittelija tarkastaa DMS:n kytkentätilanteen. Kun uusi verkko ajetaan mastertietokantaan, se kytketään suunniteltuun kytkentätilaan. Kuitenkin maastossa verkkoa ei ole vielä otettu käyttöön, joten käytönsuunnittelija korjaa DMS:n kytkentätilanteen vastaamaan maaston kytkentätilannetta tilapäis-komponenteilla, joita kutsutaan DMS-jompeiksi ja DMS-katkopaikoiksi. Maaston kytkentätilanne voidaan tarkastaa SCADA:n kytkentätilanteesta. Kuva 3.6 kuvaa uutta verkkoa DMS:ssä, jota ei ole otettu käyttöön. Kuva 3.6 kuvaa samaa verkko-osuutta kuin kuva 3.5.



Kuva 3.6 Käyttöönotettava verkko DMS:n karttakuvassa. Kuvaa samaa verkko-osuutta kuin kuva 3.5. (Elenia Oy, 2016b)

Kuvasta 3.6 huomataan, että SCADA-kuvan 3.5 verkosta vain osa on ajettu DMS:n masterverkkoon. Kuvasta 3.6 puuttuu erotin Koivikkotie_394 ja johto-osa, joka kytkee Kontiontie_258 viereiseen johtolähtöön. Nämä verkko osat otetaan käyttöön myöhemmin, mutta ne on jo dokumentoitu valmiiksi SCADA-järjestelmään.

Kun uusi verkko on dokumentoitu ja kytkentätilanne on muutettu oikeaksi kummassakin (DMS ja SCADA) tietojärjestelmässä, kytkentäohjelma voidaan suunnitella. Kytkentäohjelmaan suunnitellaan keskeytys tai jännitetyö kuten edellisissä kappaleissa on kuvattu. Uusi verkko kytketään kummassakin tietojärjestelmässä poistamalla tilapäis-komponentit tai sulkemalla erottimet. Käyttöönottovaiheessa kirjataan maadoituksen poistamiselle oma turvallisuustoimenpide, jossa varmistutaan, että käyttöönotettavassa verkossa ei ole maadoituksia ja erottimet ovat ”auki”-tilassa. Ennen jännitteen kytke-mistä uuteen verkkoon jälleenkytkennät poistetaan käytöstä ja, kun uusi verkko on otet-tu käyttöön, jälleenkytkennät kytketään päälle. Uuden verkon käyttöönotossa varmiste-taan, että työn jälkeen verkonkytkentä palautetaan suunnittelijan suunnittelemaan kyt-kentätilanteeseen. (Elenia Oy, 2016b)

Jos käyttöönottotyö vaatii asiakaskeskeytyksen, asiakkaat tiedotetaan tekemällä väliai-kainen kytkentäohjelma. Väliaikaisessa kytkentäohjelmassa suunnitellaan keskeytys kaikille keskeytyksen piiriin jääville asiakkaille, jossa työn kesto ja päivämäärä vastaa-vat työn toteutuspäivää. Väliaikaista ohjelmaa ei toteuteta maastossa ja sen ainoa tehtä-vä on mahdollistaa asiakkaiden tiedotus. (Elenia Oy, 2016b)

4 HAASTATTELUTUTKIMUS

Tämän tutkimuksen tavoitteena on haastattelujen avulla löytää kaikkien tuntemia kehitettäviä asioita kytkentäsuunnitteluprosessista. Tiaisen (2014) mukaan haastattelututkimuksissa on ongelmana, ettei ihmisten vastausten todenmukaisuutta voida varmistaa. Ongelma voidaan ratkaista käyttämällä haastattelujen lisäksi muita tietolähteitä, kuten tilastoja, julkaisuja tai artikkeleita. Tätä kutsutaan triangulaatioksi (Saunders, et al., 2009). Tiaisen (2014) mukaan toinen tapa ratkaista haastattelututkimusten todenmukaisuusongelma on kysyä ihmisiltä heidän mielipiteitään, johon myös tässä tutkimuksessa pyritään. (Tiainen, 2014)

Haastattelututkimukset voidaan jakaa kvalitatiivisiin eli laadullisiin ja kvantitatiivisiin eli määrällisiin tutkimuksiin. Saunders et. al.(2009) määrittelee kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän sellaiseksi, joka tuottaa numeerista dataa, ja kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän sellaiseksi, joissa syntyy dataa, jota ei voi määrittää numeerisesti. Kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä voidaan yhdistää toisiinsa, jolloin kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen tutkimus tukevat toisiaan. (Saunders, et al., 2009)

Kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä ovat esimerkiksi lomakehaastattelut. Lomakehaastattelussa kysymykset ovat tiukasti määriteltyjä ja haastateltavia tarvitaan paljon, jotta saadaan riittävästi dataa analysoitavaksi. Kvantitatiivisella tutkimuksella saadaan pintapuolinen kuva tutkitusta asiasta, koska tutkimuksessa ei voida tehdä tarkentavia kysymyksiä. (Tiainen, 2014)

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa haastattelut ovat vapaamuotoisia ja osallistujamäärä on pieni. Kvalitatiivinen tutkimus voidaan tehdä esimerkiksi vapaina haastatteluina, joissa ei ole tarkkaa kysymysten asettelua tai ennalta määriteltyä teemaa. Vapaan haastattelun ja lomakehaastattelun välimuoto on teemahaastattelu, jossa haastattelun teemat on määritelty ja kysymyksille on ennalta määrätty rakenne, josta voidaan kuitenkin poiketa haastattelun edetessä. Teemahaastattelussa tärkeää on haastattelijan tuntemus tutkimusaiheesta ja vuorovaikutus haastateltavan ja haastattelijan välillä. Teemahaastattelun avulla saadaan teeman aiheesta syvällistä tietoa. (Tiainen, 2014; Saunders, et al., 2009)

Haastattelututkimusten tulokset voidaan luokitella Deetzin (1996, katso Tiainen 2014) mukaan yksiaäniseen ja moniääniseen tulokseen. Yksiaäninen tulos tarkoittaa, että tutkittavat kertovat samanlaisia kaikkien tiedostamia asioita tutkittavasta asiasta. Tiaisen (2014) mukaan yksiaäninen tulos on kiinnostava, jos se ei ole ennestään tunnettu. Yksiaänisen tuloksen vastakohta on moniääninen tulos, jossa kuvataan erilaisia tapoja ymmärtää asioita. (Tiainen, 2014)

4.1 Haastattelututkimuksen toteutus

Tutkimusmenetelmäksi valikoituivat kvalitatiiviset teemahaastattelut. KytKentäsuunnitteluprosessin tehostamiseksi on tarpeellista selvittää erilaisia kytKentäsuunnitteluprosesseja eri verkkoyhtiöistä, jotta havaittiin nykyisen prosessin kehityskohteet. Tutkimuksessa selvitettiin nykyisen kytKentäsuunnittelutyökalun toiminta- ja käyttötavat, jotta voidaan järjestelmäkehityksen avulla tehostaa kytKentäsuunnitteluprosessia mahdollisimman paljon.

Työn aikana haastateltiin neljää eri verkkoyhtiötä, joista pääasiallisena aineistona käytettiin Elenia Oy:n verkon käyttöön ja projektin läpimenoon liittyvien henkilöiden haastatteluja. Lisäksi haastateltiin urakoitsijakumppaneita, jotka tilaavat ja toteuttavat kytKentöjä Elenia Oy:n verkossa. Näin pyrittiin saamaan mahdollisimman kattava kuva asioista, joita voidaan kehittää tai siirtää järjestelmän vastuulle.

Tutkimuksessa tehtiin yhteensä 17 teemahaastattelua vuoden 2017 maaliskuu – toukokuu välisenä aikana. Haastattelut toteutettiin henkilökohtaisina ja keskustelunomaisina. Tutkimukseen sisältyi myös puhelinhaastatteluja kahdelle urakoitsijakumppanille ja Loiste Sähköverkko Oy:lle (LSV). Lisäksi vierailtiin Savon Voima Verkko Oy:n (SVV) toimistolla Kuopiossa ja Tampereen sähköverkko Oy:n (TSV) toimistolla Tampereella. Verkkoyhtiöiden haastattelut olivat ryhmähaastatteluja, joihin osallistui haastattelija lisäksi kaksi tai kolme henkilöä verkkoyhtiöstä. SVV:n vierailuun osallistui tutkimuksen tekijän lisäksi Elenia Oy:n käytönsuunnittelija. Henkilökohtaiset haastattelut kestivät noin tunnin, puhelinhaastattelut noin puolitoista tuntia ja toimistovierailut noin neljä tuntia. Kaikki haastattelut nauhoitettiin ja niistä tehtiin haastattelun aikana muistiinpanoja.

Ennen haastattelua jokaiselle haastateltavalle lähetettiin saatekirjelmä, jossa annettiin taustatiedot aiheesta ja kerrottiin haastattelun tema. Haastattelut oli jaettu viiteen eri teemaan:

- (1) lämmittely,
- (2) kytKentäsuunnittelu tällä hetkellä,
- (3) aloitteen kehittäminen,
- (4) kytKentäsuunnittelun automatisointi ja
- (5) automaation hyödyt.

Haastatteluissa pyrittiin painottamaan asioita, jotka olivat haastateltavan työtehtävien mukaisia. Painotuksia käytettiin, jotta haastateltavat pystyivät keskittymään omaan vastualueeseensa. Erilaisia painotuksia olivat: käytönsuunnittelijoilla ja kumppaneilla kytKentäsuunnittelu, käytönvalvojilla käyttökeskustoiminta sekä sähköasematöiden suunnittelu ja projektipäälliköillä projektin seuranta.

Verkkoyhtiövierailuissa tutustuttiin käytöntukijärjestelmään ja sen kytKentäsuunnittelu-sovelluksen käyttöön. Verkkoyhtiöiden haastatteluissa teemoina olivat:

- (1) kytkentäsuunnitteluprosessi,
- (2) automatiikan toteutus ja
- (3) automatiikan hyödyt.

Lämmittelynä esiteltiin Elenian kytkentäsuunnitteluprosessi. Liitteeseen D on koottu kaikki haastatteluissa käytetyt kysymyspohjat.

Tässä tutkimuksessa saatiin Deetzin (1996) (katso Tiainen, 2014) määrittelemä yksiaäninen tulos kytkentäsuunnittelun järjestelmäkehityksen tarpeista, koska teemahaastatteluiden sisältö oli yhtenäistä haastateltavasta riippumatta. Haastatteluissa havaittiin piilotettua tietoa kytkentäsuunnittelusta sekä käytönsuunnittelun toimintatavoista, joita ei ollut kirjoitettu ohjeisiin. Mielipiteitä, vaatimuksia ja määrittelyjä saatiin riittävästi automaation toiminnan kuvaamiseen.

Haastattelututkimuksen avulla saatiin laaja kuva kytkentäsuunnittelusta ja sen kehitystarpeista verkkoyhtiöissä. Aineisto analysoitiin kirjoittamalla haastattelutallenteet tekstiksi. Haastatteluista saadun aineiston perusteella tutkimuksen tulokset on kirjoitettu lukuihin 5, 6 ja 7, joissa kuvataan kytkentäsuunnittelun nykytila, järjestelmäkehitys ja järjestelmäkehityksen hyödyt. Lisäksi aineistosta eroteltiin yksittäisiä tutkijan mielestä hyviä kehitysehdotuksia ja tarpeellisia huomioita tuloksiin.

4.1.1 Elenia Oy:n haastattelut

Tutkimuksessa haastateltiin Elenia Oy:n henkilöstöä, joiden toimenkuva liittyy verkon käyttööntoimintaan. Lisäksi haastateltiin kahta projektipäällikköä. Tutkimuksen painopiste oli kytkentäsuunnittelua tekevissä henkilöissä. Taulukkoon 4.1 on koottu Elenia Oy:n haastateltavien työtehtävät.

Taulukko 4.1 Elenia Oy:n haastateltavien tehtävänimikkeet ja tiimit.

Tehtävänimike	Haastateltavien lkm.	Tiimi
Käytönsuunnittelija	4	Verkon käyttö
Käytönvalvoja	2	Verkon käyttö
Käyttöinsinööri	1	Verkon käyttö
Kunnonhallinta- ja turvallisuuspäällikkö	1	Kunnonhallinta
Käyttöpäällikkö	1	Verkon käyttö
Projektipäällikkö	2	Rakennuttaminen

Yhteensä Elenia Oy:stä haastateltiin 11 henkilöä, joista viidellä oli kokemusta kokopäiväisestä kytkentäsuunnittelusta. Näitä henkilöitä olivat käytönsuunnittelijat ja käyttöinsinööri. Lisäksi käytönvalvojilla on vastuullaan kytkentäsuunnitelmien tarkastaminen ja kytkentöjen johtaminen, joten haastateltavilla oli kattavasti kokemusta sekä tietoa kytkentäsuunnittelusta ja sen kehitystarpeista. Projektipäällikköitä haastateltiin, jotta tutki-

muksen tekijä sai kuvan erityyppisten projektien etenemisestä Elenia Oy:ssä. Toisen projektipäällikön vastuualueella oli kaapelointiprojekteja ja toisen sähköasemaprojekteja. Sähkölaitteiston käytönjohtajan haastattelun avulla pyrittiin laajentamaan tutkimuksen turvallisuuskulmia.

4.1.2 Urakointiyhtiöiden haastattelut

Tutkimuksessa haastateltiin Elenia Oy:n urakoitsijakumppaneita. Haastateltavat valittiin yhteistyössä Elenia Oy:n käytönsuunnittelijoiden kanssa. Kumppaneita valittiin kolme kappaletta ja ne pyrittiin valitsemaan eri yhtiöistä siten, että heillä on erilainen kokemusta kytkeäntäilauksen tekemisestä ja kytkeäntäsuunnittelusta. Taulukkoon 4.2 on koottu urakoitsijoiden tehtävät ja kokemus.

Taulukko 4.2 Haastateltujen urakoitsijoiden kumppanuustyyppi ja kokemustaso kytkentätilauksista.

Kumppanityyppi		Kokemus kytkentätilauksista
Kumppani 1	Aluekumppani	Paljon
Kumppani 2	Aluekumppani	Vähän
Kumppani 3	Projektikumppani	Paljon

Kumppanien haastattelujen avulla pyrittiin selvittämään miten kytkentäaloitteiden virheitä voidaan vähentää joko prosessi- tai järjestelmäkehityksen avulla. Lisäksi kumppanihaastatteluilla haluttiin saada näkemys Elenia Oy:n ulkopuolelta kytkentäsuunnitteluprosessin toimivuudesta. Osa kumppaneista tekee urakointia myös muille verkkoyhtiöille, joten kumppanihaastatteluilla voitiin pienissä määrin vertailla Elenia Oy:n kytkentäsuunnitteluprosessia muihin verkkoyhtiöihin, joita ei haastateltu tässä työssä.

4.1.3 Verkkoyhtiöiden haastattelut

Verkkoyhtiöiden haastattelujen tavoitteena oli selvittää, miten kytkentäsuunnittelu ja kytkentäsuunnitteluprosessi on organisoitu eri verkkoyhtiöissä sekä miten tietojärjestelmiä hyödynnetään kytkentäsuunnittelussa. Lisäksi selvitettiin kytkentäsuunnittelun järjestelmäkehityksen tarpeita ja näkemyksiä siitä, mitä järjestelmän pitää toteuttaa kunkin verkkoyhtiön näkökulmasta.

Tampereen Sähköverkko Oy valittiin haastateltavaksi, koska tutkimukseen haluttiin toisen asiakasmäärältään suuren Trimble DMS -järjestelmää käyttävän verkkoyhtiön näkemyksiä kytkentäsuunnittelujärjestelmän kehittämisestä. Lisäksi TSV:n verkkotyyppi on erilainen Elenia Oy:hyn verrattuna. Loiste Sähköverkko Oy valittiin, koska se on maaseutuverkkoyhtiö ja käyttää Trimble DMS -järjestelmää. Lisäksi haastateltiin Savon Voima Verkko Oy:tä, jolla on käytössään ABB:n DMS600 -järjestelmä. SVV valikoitui

haastateltavaksi, koska se on verkkotyypiltään samanlainen kuin Elenia Oy. Lisäksi SVV:n haastattelun avulla tutkimukseen haluttiin saada näkemys, miten eri käytöntuki-järjestelmässä kytkentäsuunnitteluprosessi ja kytkentäohjelman tekeminen on toteutettu. Haastatellut verkkoyhtiöt ja niiden käyttämät tietojärjestelmät on koottu taulukkoon 4.3. Lisäksi taulukossa on esitetty kunkin verkkoyhtiön toteutuneiden töiden määrä haastattelun mukaan vuonna 2016.

Taulukko 4.3 Haastateltujen verkkoyhtiöiden haastatteluihin osallistujat, käytössä olevat järjestelmät ja kytkentätöiden määrät ja verkkotyyppi.

Verkkoyhtiö	Haastattelut	SCADA	DMS	NIS	Työt	Verkko/ asiakas
Elenia Oy	ks. Taulukko 4.1	Netcontrol Netcon 3000	Trimble DMS	Trimble NIS	3328	164 m
Tampereen Sähköverkko Oy	Käyttömestari, Käyttöinsinööri, Kehitysinsinööri	ABB Micro SCADA- Pro	Trimble DMS	Trimble NIS	616	26 m
Loiste Sähkö- verkko Oy	Käyttöpäällikkö, Käyttöinsinööri	ABB Micro SCADA- Pro	Trimble DMS	Trimble NIS	~1000	230 m
Savon Voima Verkko Oy	Palveluvastaava, Käyttöinsinööri	ABB Micro SCADA- Pro	ABB DMS600	Tieto Pgfield	1100	227 m

Taulukosta 4.3 havaitaan, että Elenia Oy teki määrällisesti eniten kytkentätöitä vuonna 2016. Tätä osaltaan selittää verkon kokonaispituus, joka on Elenia Oy:ssä suurin. Taulukon 4.3 perusteella Loiste sähköverkko Oy tai Savon Voima Verkko Oy vaikuttavat pikemminkin toisiaan vastaavilta verkkoyhtiöiltä. Kuitenkin LSV, SVV ja Elenia Oy ovat kaikki pääosin maaseutuyhtiöitä, mikä näkyy verkon pituudessa asiakasta kohti. Lisäksi yhtiöillä on henkilöstömäärään verrattuna paljon kytkentätöitä, joten niitä voidaan vertailla.

4.2 Lomakehaastattelun toteutus

Kytkeäsuunnitteluprosessin tehostumisen tarkastelemiseksi toteutettiin lomakehaastattelu Elenia Oy:n Verkon käyttö -tiimille. Lomakehaastattelun tavoitteena oli selvittää nykyiseen kytkentäsuunnitteluprosessiin kuluva aikaa. Kytkentäsuunnitteluprosessi jaettiin kolmeen osaan:

- (1) aloitteen tarkastaminen ja mahdollisten virheiden korjaus,
- (2) kytkentäohjelman suunnittelu ja
- (3) kytkentäohjelman tarkastaminen.

Tavoitteena oli jaottelun avulla selvittää jokaiseen vaiheeseen kuluva aika. Lomakehaastattelun kysymyspohjat on kuvattu liitteeseen E.

Lomakkeessa oli kaksi osa-aluetta: käytönsuunnittelijoiden osuus ja käytönvalvojien osuus. Käytönsuunnittelijoiden osuudessa kysyttiin aloitteen kirjausten tarkastamiseen ja virheiden korjaamiseen sekä kytkentäohjelmaan suunnitteluun kuluvaan aikaan. Käytönvalvojien osuudessa kysyttiin vuoron alussa tarkastettavien töiden määrää ja niiden tarkastukseen kuluvaan aikaan. Vastausvaihtoehtoja oli jokaisessa monivalintakysymyksessä viisi kappaletta, joista pienin tarkoitti, että toimintoon kuluu aikaa alle kaksi minuuttia ja suurimman mukaan aikaa kului yli kymmenen minuuttia. Vastaajilla oli mahdollisuus selventää vastauksiaan myös sanallisesti monivalinta kysymyksen jälkeen.

Lomakehaastattelu toteutettiin elokuussa 2017. Lomakehaastatteluun vastasi kahdeksan käytönsuunnittelijaa ja kuusi käytönvalvojaa. Tutkimuksen laajuus oli riittävä prosessin tehostumisen tarkastelemiseksi. Lomakehaastattelun tulokset on kuvattu luvussa 7.3.

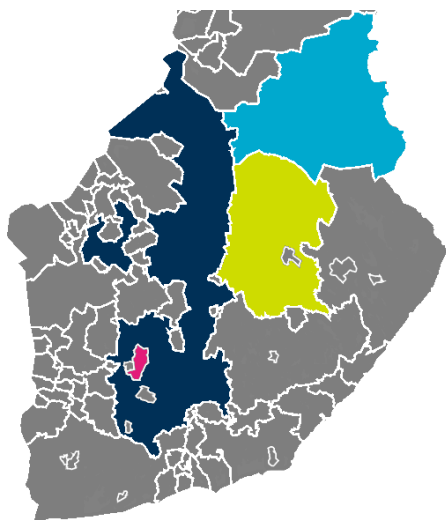
4.3 Mittausten toteutus

Prosessin tehostumisen tarkastelemiseksi toteutettiin nykyiseen kytkentäsuunnitteluprosessiin kuluvan ajan mittauksia. Tavoitteena oli selvittää kuinka kauan kytkentäsuunnitelman läpimenoon kuluu aikaa. Kytkeäsuunnitelmat jaoteltiin keskeytyslajin perusteella. Mittauksella pyrittiin selvittämään koko kytkentäsuunnitelman läpimenoaika aloitteen tarkastamisesta kytkentäohjelman suunnitteluun. Mittauksissa jätettiin huomiotta dokumentointiprosessiin kuuluvat asiat.

Mittaukset kohdistettiin Elenia Oy:n käytönsuunnittelijoihin vuonna 2017 viikoilla 38 ja 39. Mittaukset toteutettiin käytönsuunnittelijoiden työpisteillä, joissa mitattiin sekuntikellolla aloitteen tarkastamiseen ja kytkentäohjelman suunnitteluun käytettyä aikaa ja näin saatiin kytkentäsuunnitteluprosessin läpimenoaika. Mittausten tulokset on kuvattu luvussa 7.3.

5 KYTKENTÄSUUNNITTELUPROSESSI ERI VERKKOYHTIÖISSÄ

Haastattelututkimukseen osallistuneiden neljän verkkoyhtiön kytkentäsuunnitteluprosessit on kuvattu tähän lukuun. Kuvaan 5.1 on kuvattu haastateltujen verkkoyhtiöiden verkkoalueet Suomen kartalla.



Kuva 5.1 Haastateltujen verkkoyhtiöiden verkkoalueet. Tumman sinisellä Elenia Oy, vaalean sinisellä Loiste Sähköverkko Oy, vihreällä Savon Voima Verkko Oy ja punaisella Tampereen Sähköverkko Oy. Perustuu lähteeseen (Yle, 2013).

Kuvassa 5.1 huomataan, että Elenia Oy:n verkkoalue on pinta-alaltaan suurin. Loiste Sähköverkko Oy ja Savon Voima Verkko Oy sijaitsevat melko lähekkäin ja ovat melko samankokoisia. Tampereen Sähköverkko Oy:n verkkoalue on hyvin pieni, mutta Tampereen kaupungin vuoksi sillä on paljon asiakkaita.

5.1 Elenia Oy

Elenia Oy on Suomen toiseksi suurin verkkoyhtiö. Sen jakeluverkon johtopituus on 68 900 km ja asiakkaita sillä on noin 420 000. Jakeluverkko sijaitsee yli sadan kunnan alueella. Elenian verkkoalue on pääosin ilmajohtoverkkoa ja sen kaapelointiaste on 38 %. Maaseutuverkolle tyypillisesti Elenia Oy:llä on paljon verkkoa yhtä asiakasta kohti, keskimäärin 164 metriä.

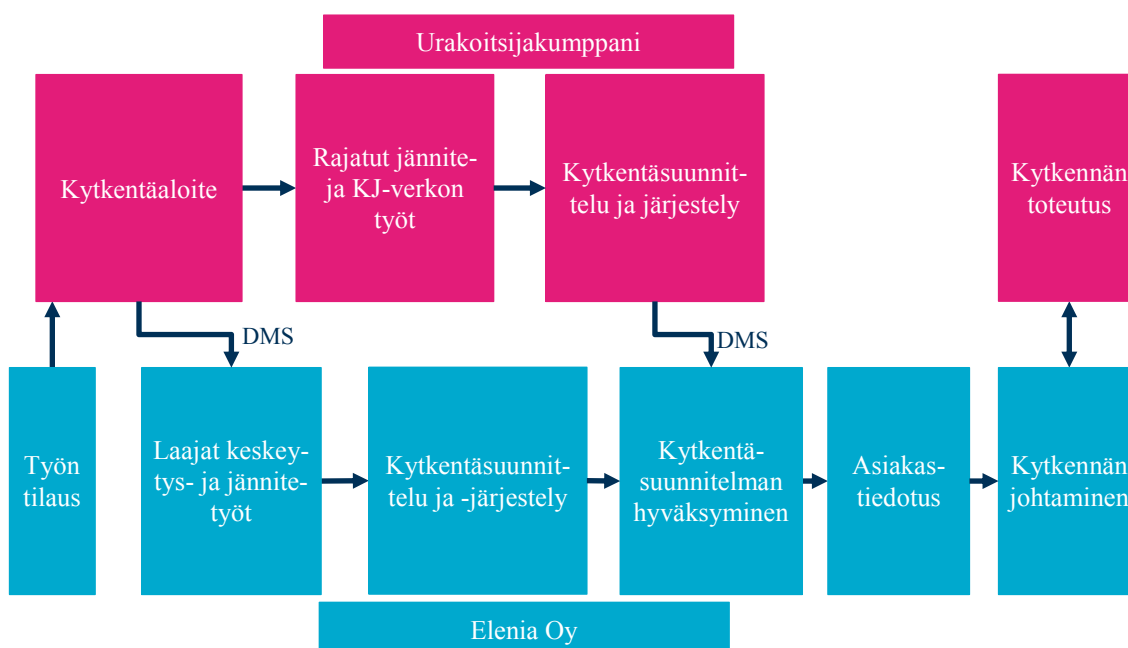
Elenia oy:n verkossa tehdyt työt vuonna 2016 on jaoteltu taulukkoon 5.1. Työt on jaoteltu Elenia oy:n kytkentäaloitteessa käytettyjen keskeytyslajien mukaan. (Elenia Oy, 2016b)

Taulukko 5.1 Elenia Oy:ssä tehdyt kytkentätyöt KJ-verkossa keskeytyslajin mukaan jaoteltuna vuonna 2016.

Keskijänniteverkon työt	Määrä kpl
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä	539
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä + dokumentointi	468
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä	247
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä + dokumentointi	489
Oman verkon suunniteltu keskeytys	997
Oman verkon suunniteltu keskeytys + dokumentointi	391
Oman verkon suunniteltu keskeytys + jännitetyö	65
Oman verkon suunniteltu keskeytys + jännitetyö + dokumentointi	116
Asiakkaan verkon suunniteltu keskeytys	16
Kaikki työt joissa jännitetöitä	917
Kaikki työt joissa dokumentointia	1464
Töitä yhteensä	3328

Uuden verkon käyttöönottoa kuvaa taulukossa 5.1 termi dokumentointi. Lähes puolessa suunnitelluista töistä otettiin uutta verkkoa käyttöön, mikä kertoo mittavista investoinneista sähköverkkoon. Jännitetöitä tehtiin noin yhdessä kolmasosassa kaikista töistä vuonna 2016. Kaikki Elenia Oy:n KJ-jännitetyöt tehdään kytkentäaloitteen avulla, joten ne kaikki tilastoidaan.

Kytkenäohjelmien suunnittelu on Elenia Oy:ssä käytönsuunnittelijoiden vastuulla. Jokainen käytönsuunnittelija on vastuussa koko verkkoalueen jakeluverkon kytkentätilauksista. Elenia Oy:n tietojärjestelmät on kuvattu luvussa 2. Elenia Oy:n kytkentäsuunnitteluprosessi on esitetty kuvassa 5.2.



Kuva 5.2 Elenia Oy:n kytkentäsuunnitteluprosessi, perustuu lähteeseen (Sihvonen, 2015).

Kuvan 5.2 mukaisesti kytkentätyön tilaus tehdään yleensä käytöntukijärjestelmän kautta eli noin 90 % kaikista tilauksista. Tiedyt urakoitsijakumppanit voivat itse suunnitella työt, joissa ohjataan korkeintaan yhtä erotinta sekä KJ-verkon haarajohdolle tehtävät keskeytys- ja jännitetyöt. Elenia Oy:n käytönsuunnittelijat suunnittelevat kaikki muut jakeluverkon kytkentätyöt. Kytentäohjelman tarkastaa aina Elenia Oy:n käytönsuunnittelija. (Sihvonen, 2015)

Elenia Oy:ssä asiakkaista noin 60 % on sähköisen tiedottamisen piirissä. Sähköinen tiedote keskeytyksestä lähtee heti kun käytönsuunnittelija on hyväksynyt kytkentäohjelman. Muuten asiakastiedotus tapahtuu postikorteilla, joiden kulkemisajaksi lasketaan 2 – 3 arkipäivää. Jos kaikki asiakkaat olisivat sähköisen tiedotuksen piirissä, keskeytysten tilausaikaa voitaisiin lyhentää. Asiakastiedotuksesta vastaa lähes aina Elenia Oy:n käytönsuunnittelija. (Paananen, 2017; Elenia Oy, 2016b; Sihvonen, 2015)

5.2 Tampereen Sähköverkko Oy

Tampereen Sähköverkon verkkoalue sijaitsee pääosin Tampereen kunnan alueella, jossa asiakkaita on 146 500 kappaletta. Sähköverkkoa on noin 3 770 km ja sähköasemia on 13 kpl. Suurin osa asiakkaista sijaitsee taajama-alueella ja suurin osa verkosta on maa-kaapeloitu. Varsinkin taajama-alueella jakeluverkko on tiheästi silmukoitu. Myös PJ-verkko on kaupunkialueelta suurelta osin silmukoitu. Verkkoa kuitenkin käytetään säteittäisesti. (Tampereen Sähkölaitos, 2016; Virtanen, et al., 2017)

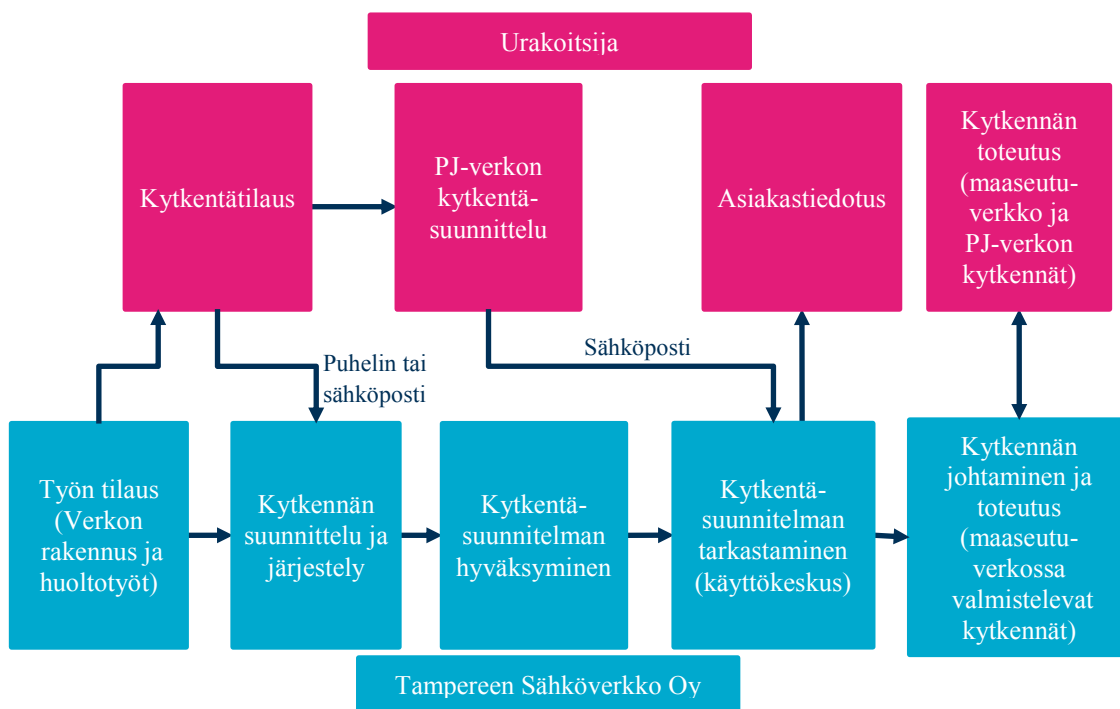
Tampereen Sähköverkko Oy:llä oli vuonna 2016 616 kappaletta suunniteltua kytkentätyötä. Näistä neljäsäksymmenessä tehtiin asiakaskeskeytys joko asiakkaan tai verkkoyh-

tiön verkkoon. Asiakaskeskeytyksiä oli 6,5 % kaikista suunnitelluista kytkentätöistä. Asiakaskeskeytysten pieni määrä johtuu tiheästi silmukoidusta verkosta ja TSV:n vaatimuksesta käyttää varavoimakoneita, kun tehdään huoltotöitä. Kaupunkialueella kaivutyöt aiheuttavat suurimman osan verkon kytkentätöistä. (Virtanen, et al., 2017)

TSV käyttää ABB:n MicroSCADA Pro -käytönvalvontajärjestelmää. SCADA-järjestelmässä on ohjauskuvat sähköasemille sekä kaukokäytettäville komponenteille. Käytöntuki- ja verkkotietojärjestelmänä on Trimble NIS/DMS. DMS-järjestelmässä on verkon kaavio- että karttakuva. Kumpaankin kuvaan on mahdollista värittää verkon topologia. SCADA ja DMS ovat yhteydessä toisiinsa siten, että DMS:stä saadaan SCADA:an verkon topologiavärit sähköasemien johtolähtöihin ja SCADA:sta DMS:n saadaan verkon komponenttien tilatiedot. Lisäksi vikojen sähköiseen viestimiseen on tekstiviestijärjestelmä. (Virtanen, et al., 2017)

Tampereen Sähköverkko Oy:n jakeluverkkotiimissä on viisi henkilöä, joista neljä osallistuu kytkentäsuunnitteluun. Kytkentäsuunnittelun vastuu jakautuu siten, että yksi henkilö on pääasiallisessa vastuussa kytkentäsuunnittelusta ja hän tekee noin 70 % kaikista kytkentäsuunnitelmista. Muille kolmelle jää jokaiselle noin 10 % kytkentäsuunnitelmista. Yhdellä suunnittelijalla on vastuullaan kaikki muuntamohuollot ja niiden kytkentäohjelmien suunnittelu. Jokaisella kytkentäsuunnittelijalla on osaaminen kaikkiin kytkentäsuunnittelutöihin. Sähköasemakorvaukset suunnitellaan kahden hengen ryhmässä. (Virtanen, et al., 2017)

KytKentätöiden ohjeellinen tilausaika on vähintään kaksi arkipäivää, mutta töitä toteutetaan myös lyhyemmällä tilausajalla. Laajemmat keskeytykset tai asiakaskeskeytystä vaativat kytkennät tilataan viikkoa ennen työn aloittamista. Tilaus tehdään joko puhelinsoitolla tai sähköpostilla. Tilauksessa kerrotaan työkohde, johon kytkennänsuunnittelija määrittelee keskeytykseen jäävän erotinvälin. Asiakaskeskeytyksissä urakoitsija tekee keskeytysilmoitukset asiakkaille, kun lupa työn toteuttamiseen on saatu TSV:n kytkentäsuunnittelijalta. Kortit jaetaan viimeistään vuorokausi ennen työn toteuttamista. Kuvaa 5.3 on kuvattu Tampereen TSV:n kytkentäsuunnitteluprosessi. (Virtanen, et al., 2017)



Kuva 5.3 Tampereen Sähköverkko Oy:n kytkentäsuunnitteluprosessi jaettuna urakoitsijan ja TSV:n suunnittelijan toimintaan. Perustuu lähteeseen (Virtanen, et al., 2017).

Tyypillisesti Tampereen Sähköverkko Oy:n verkkoalueella taajamassa kytkentätarpeen aiheuttavat kaivutyöt ja maaseudulla taas verkonrakennus. Kaivutöissä työn ensimmäinen aloite tulee kaivu-urakoitsijalta. Kuvasta 5.3 huomataan, että TSV:n käyttötiimi suunnittelee kaikki ennakoituvat kytkentätyöt. Urakoitsija suunnittelee PJ-verkon työt, jotka tarkastetaan käyttökeskuksessa. Keskeytyksen asiakastiedotuksesta vastaa aina urakoitsija. Käyttökeskus johtaa kytkentää ja kaupunkialueella kaikissa kaivutöissä TSV:n omat kytäjät suorittavat kytkenät ja ilmoittavat urakoitsijalle, kun kaivaminen voidaan aloittaa. Maaseudulla ennakoitussa verkon rakennus- ja huoltotöissä urakoitsija suorittaa kaikki kytkenät TSV:n laatiman kytkentäohjelman mukaisesti. (Virtanen, et al., 2017)

Haastattelun mukaan Tampereen Sähköverkko Oy:n verkossa on paljon rengasyhteyksiä, mutta johtojen kuormitettavuus ei välttämättä riitä kytkentämuutoksissa tai rengaskytkennoissä. Rengaskytkennoissä TSV:n verkossa pyritään käyttämään apuyhteyksiä. Tietty johtolähdöt on määritelty joko apuyhteys- tai sähköasemakorvausjohtolähdöiksi. Nämä johdot kestävät varmasti tasaus- tai kuormavirrat. Tyypillisesti johtojen kuormitettavuus on kytkentäsuunnittelua rajoittava tekijä. (Virtanen, et al., 2017)

5.3 Loiste Sähköverkko Oy

Loiste Sähköverkko Oy:n verkkoalue käsittää Kainuun alueen ja osia Pohjois-Pohjanmaasta. Asiakkaita LSV:llä on noin 58 400 kappaletta ja jakeluverkon pituus on 13 100 km. Verkkopituus asiakasta kohti on 227 metriä. LSV:n verkko sijaitsee pääosin

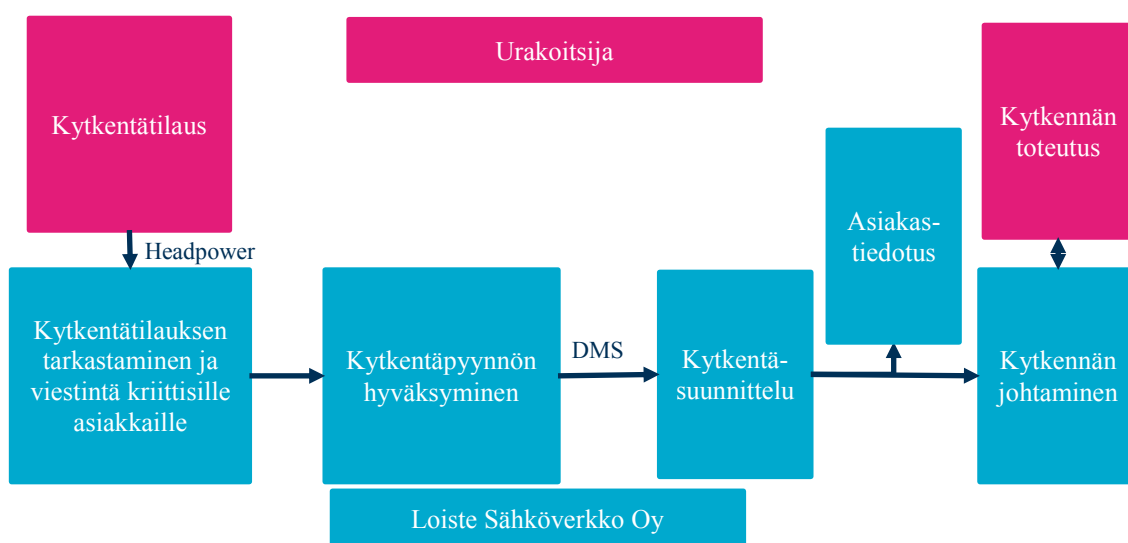
metsäisillä haja-asutusalueella ja verkko on tyypillisesti ilmajohtoverkkoa. (Kilpeläinen, 2016)

Loiste Sähköverkko Oy:n alueella suunniteltuja töitä oli vuonna 2016 noin 1100 kappaletta, joista noin 70:ssä tehtiin jännitetöitä. Uuden verkon käyttöönottoja tehtiin arviolta noin 10 % kytkentätöistä eli noin 110 kappaletta. (Reinikka & Karvonen, 2017)

Loiste Sähköverkko Oy:n SCADA-järjestelmänä on ABB:n MicroSCADA Pro. SCADA-järjestelmässä on verkon pääkuvat, jossa on kuvattu kaukokäyttöerottimien sijainnit ja sähköasemat. Verkon jakorajaerottimet on dokumentoitu SCADA:aan. LSV:n käyttötuki- ja verkkotietojärjestelmänä on Trimble NIS/DMS. SCADA ja DMS ovat risti-viitattu eli kaukokäytettävien komponenttien tilatiedot siirtyvät SCADA:sta DMS:ään. DMS:stä voidaan havaita verkon reaaliaikainen kytkentätilanne. Työnohjausjärjestelmänä käytetään Headpower-järjestelmää (Reinikka & Karvonen, 2017)

Loiste Sähköverkko Oy:n käyttötiimissä on kahdeksan työntekijää, joilla kaikilla on pätevyys tehdä kytkentäsuunnittelua. Kytkeäsuunnitteluun on aikataulutettu yhden henkilön työpanos jokaiselle työpäivälle. Yhdellä työntekijällä on vastuullaan kytkentäsuunnitteluprosessi ja sen kehittämisestä. Hänen työajastaan noin 50 % työajasta on kytkentäsuunnittelua. Muut vuorossa olevat henkilöt tekevät kytkentäsuunnittelua vuorolistaan kirjattuina päivänä. Tarkoituksena on, että koko käyttöhenkilöstöllä on osaa minen kytkentäsuunnittelun tekemiseen. (Reinikka & Karvonen, 2017)

Urakoitsija tekee keskeytyspyynnön Headpower-järjestelmässä neljä arkipäivää ennen työn aloittamista. Keskeytystyöt pyritään suunnittelemaan heti tilauspäivänä. Tyypillisesti jännitetöistä tehdään jännitetyöilmoitus käyttökeskukseen ennen työn aloittamista. LSV:n Kytkentäsuunnitteluprosessi on kuvattu kuvaan 5.4. (Reinikka & Karvonen, 2017)



Kuva 5.4 Loiste Sähköverkko Oy:n kytkentäsuunnitteluprosessi. Perustuu lähteeseen (Reinikka & Karvonen, 2017).

Kun keskeytyspyyntö on saapunut käyttökeskukseen, kytkentäsuunnittelija tarkastaa kytkentäpyynnön toteutettavuuden ja sopii keskeytyksestä kriittisten asiakkaiden kanssa, jos urakoitsija ei ole vielä sopinut keskeytystä. Jos keskeytys ei ole toteutettavissa, urakoitsijan kanssa sovitaan uusi päivä keskeytykselle. Osalle asiakkaista keskeytystieto lähetetään teksti- tai sähköpostiviestillä, osalle postikorteilla. Asiakas saa tiedon keskeytyksestä viimeistään päivää ennen keskeytystä. Keskeytys suunnitellaan DMS:ssä. Kytken-
töohjelman hyväksymisen jälkeen kytkentäohjelma siirtyy automaattisesti Headpower-järjestelmään, josta urakoitsija voi tulostaa kytkentäsuunnitelman itselleen. Urakoitsija toteuttaa kytkennät käyttökeskuksen valvonnassa. (Reinikka & Karvonen, 2017)

5.4 Savon Voima Verkko Oy

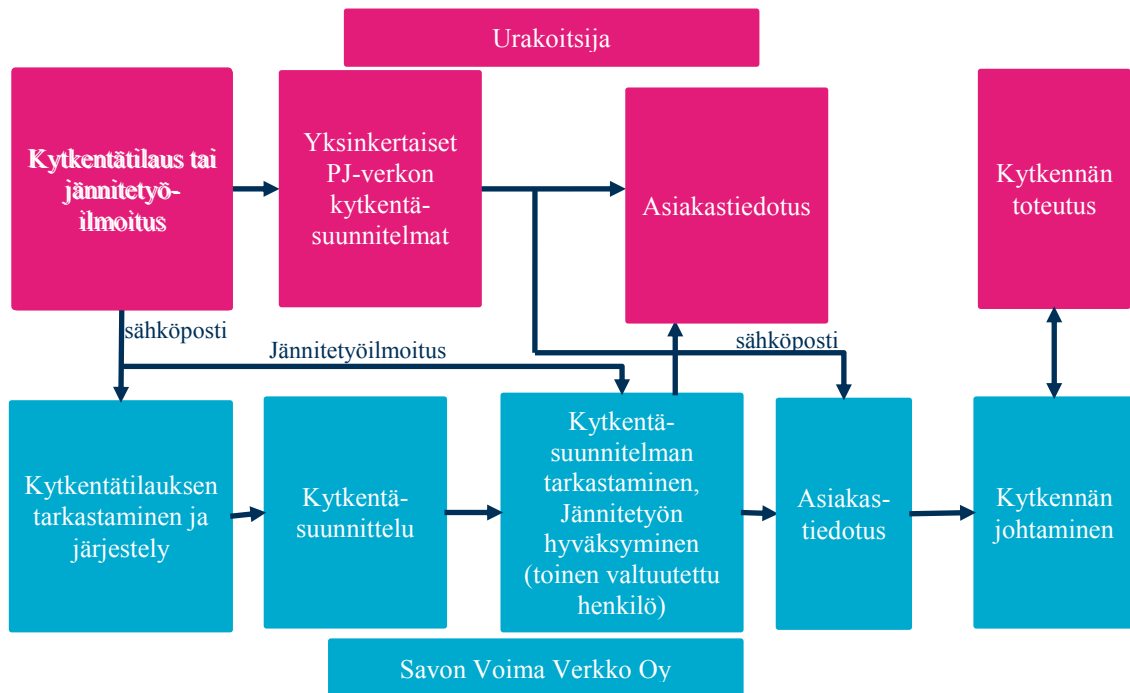
Savon Voima Verkko Oy:n verkkoalue sijaitsee Pohjois- ja Etelä-Savon sekä keskisuomen alueella. Asiakkaita SVV:n verkkoalueella on noin 117 000. Verkkopituus on 27 000 km. Verkkoa on asiakasta kohden noin 230 metriä. Suurin osa SVV:n verkosta sijaitsee metsäisellä haja-asutusalueella. Verkko on pääasiassa ilmajohtoverkkoa. (Kiiski & Eskelinen, 2017; Savon Voima Verkko Oy, 2017a; Savon Voima Verkko Oy, 2017b)

Savon Voima Verkon alueella suunniteltuja töitä oli vuonna 2016 noin 1000 kappaletta, johon sisältyvät sellaiset jännitetyöt, joiden yhteydessä ohjattiin verkon kiinteitä komponentteja. SVV ei vaadi kaikista jännitetöistä kirjallista kytkentäsuunnitelmaa vaan pelkkä jännitetyöilmoitus käyttökeskukseen riittää. SVV pyrkii tekemään kaikki käyttöönottotyöt jännitetyömenetelmiä hyödyntäen. (Kiiski & Eskelinen, 2017)

Savon Voima Verkko Oy:n käytönvalvontajärjestelmänä on ABB:n toimittama MicroSCADA Pro. SCADA:n kautta ohjataan kaukokäytettäviä laitteita niin sähköasemilla kuin verkossa. SCADA:ssa ei ole erikseen verkon kaaviokuvaa, mutta kaukokäytettävät laitteet on kuvattu SCADA-kuviin, joissa näkyy verkon kytkentyminen. Käytöntukijärjestelmän on ABB:n toimittama DMS600. DMS on käyttökeskuksen pääasiallinen järjestelmä. DMS:ssä on vain verkon karttakuva eikä varsinaista verkkokaaviokuvaa ole käytössä. Verkkotietojärjestelmänä SVV käyttää Tiedon toimittamaa PowerGrid (PG) -järjestelmää. PG:n kautta DMS saa asiakastiedot. Lisäksi asiakashallintaan on käytössä GridWise, joka on paikkatietopohjainen tehtävienhallintajärjestelmä. GridWiseä käytetään muun muassa vikatehtävien välittämiseen urakoitsijoille sekä keskeytysten sähköiseen tiedotukseen. (Kiiski & Eskelinen, 2017)

Savon Voima Verkko Oy:n käyttötiimiin kuuluu kuusi henkeä, joista osa on kokopäiväisiä käyttöyksikön jäseniä ja osa toimii käyttötehtävissä oman toimensa ohella. Verkon kytkentäsuunnittelu on käytönvalvojen oheistyötehtävä. Kytken-
tösuunnitelmat tehdään aamu- ja iltavuorossa työkuorman mukaan ja seuraava vuoro tarkastaa edellisen vuoron tekemät suunnitelmat. (Kiiski & Eskelinen, 2017)

Kytkeäsuunnitelmien tilausajat ovat viisi täyttä arkipäivää asiakaskeskeytystyöhön ja kaksi täyttä arkipäivää työhön, jossa ei ole asiakaskeskeytyksiä. Kytkeätyöt tilataan sähköpostilla. Jännitetyöt ilmoitetaan SVV:lle päivää ennen työn suoritusta sähköpostilla. Jännitetyöilmoitus tarkastetaan käyttökeskuksessa ja siitä lähetetään jännitetyölupa urakoitsijalle. Kuvaan 5.5 on kuvattu SVV:n kytkeäsuunnitteluprosessi. (Kiiski & Eskelinen, 2017)



Kuva 5.5 Savon Voima Verkko Oy:n kytkeäsuunnitteluprosessi. Perustuu lähteeseen (Kiiski & Eskelinen, 2017).

Käyttökeskus suunnittelee kaikki KJ-verkon kytkeätyöt. Urakoitsija voi suunnitella itse PJ-verkon kytkenät, mutta rengasyhteyksiä hyödyntävät PJ-verkon työt suunnitellaan käyttökeskuksessa. Kytkenä suunnittelija varmistaa työn toteutettavuuden, minä jälkeen tehdään kytkeäohjelma. SVV:lla on käytössään ABB:n DMS600 sisäinen avustava kytkeäsuunnitteluohjelma, joka muodostaa automaattisesti suunnittelijan rajaamalle keskeytysalueelle kytkeäsuunnitelman. Kytkeäsuunnitelman tarkastaa aina toinen käytönvalvoja. Tarkastamisen jälkeen keskeytyksestä tiedotetaan asiakkaille, joissakin tapauksissa, kuten PJ-töissä, urakoitsija tiedottaa asiakkaat. Urakoitsija toteuttaa suunnitellut kytkenät tai jännitetyöt käyttökeskuksen johtamana. SVV säilyttää kaikki kytkeäsuunnitelmat ja jännitetyödokumentit kaksi vuotta. (Kiiski & Eskelinen, 2017)

Savon Voima Verkko Oy:n käytössä olevassa ABB:n DMS600-ohjelmistossa on avustava kytkeäsuunnittelu ohjelma. Ohjelma pystyy muodostamaan kytkeäohjelman tilanteeseen, jossa kytkeä palautetaan takaisin samaan kytkeätilaan kuin aikaisemmin. Ohjelmassa määritellään työalue, jonka perusteella ohjelma määrittelee kytkinlaitteet, rengasyhteydet, yhden maadoituksen ja kytkinlaitteiden ohjausjärjestyksen. Ohjelma

tarkastelee verkon suojausasettelun, verkon jännitteenaleneman ja komponenttien kuorman katkaisukyvyn. Jos nämä kolme ehtoa eivät toteudu, kytkentäohjelmaa ei voida tehdä. Kytkeäsuunnittelija lisää itse turvallisuustoimenpiteet, työn kuvauksen ja päätyömaadoitukset. Sovellus koetaan hyödylliseksi varsinkin taajamissa, jossa verkko voi olla vaikeasti hahmotettava. (Kiiski & Eskelinen, 2017)

SVV mukaan kytkentäsuunnittelusovellusta tulee kehittää avustamaan sähköasemakorvaus suunnitelmissa. Tulevaisuudessa sovelluksen pitää osata toteuttaa uuden verkon käyttöönottokytkentöjä. Kytkeäsuunnitelmaan asioiden manuaalinen lisääminen vähentää automaation tuomaa hyötyä. Haastattelun perusteella automatiikka kytkentäsuunnittelussa on hyvä ja tarpeellinen asia, vaikka sen ei koeta nopeuttavan suunnittelua. (Kiiski & Eskelinen, 2017)

5.5 Kytkeäsuunnittelun nykytila

Kytkeäsuunnitteluprosessi on kaikissa tutkimukseen osallistuneissa verkkoyhtiöissä melko samanlainen. Pääasiallinen vastuu töiden suunnittelusta, keskeytysjärjestelyistä sekä asiakastiedotuksesta on verkkoyhtiöllä. Urakoitsijan vastuulla on työkohteen määrittäminen, työn tilaaminen ja kytkentöjen toteuttaminen verkkoyhtiön käyttökeskuksen ohjauksessa.

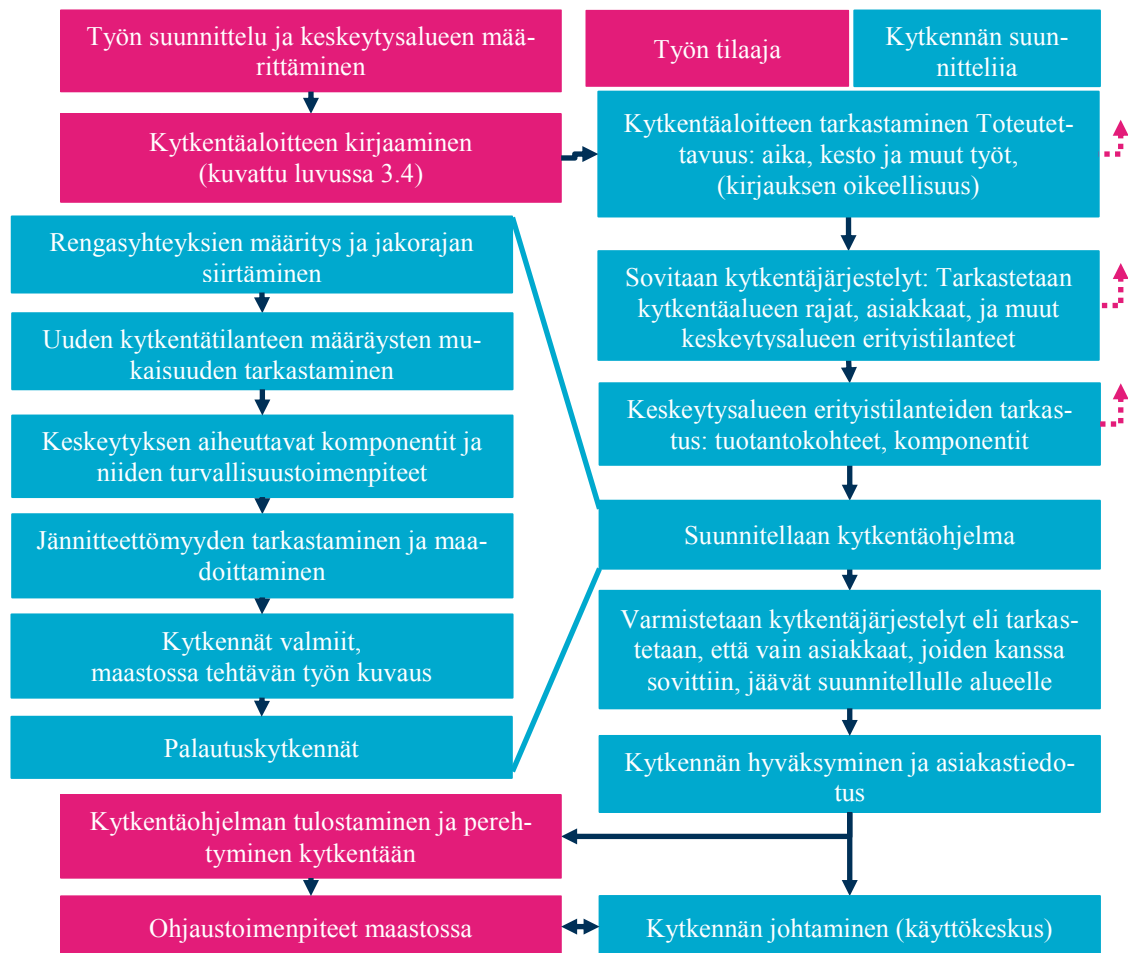
Kytkeäsuunnittelussa käytetään DMS, SCADA, NIS ja CIS-järjestelmiä. DMS:n ja SCADA:n rooli kytkentäsuunnittelussa riippuu verkkoyhtiöstä. Esimerkiksi Elenia Oy:ssä SCADA on suuressa roolissa, koska se sisältää verkkokaaviokuvan sekä kauko- käyttöerottimien toimintatietoja, joita ei ole viety DMS-järjestelmään. Haastattelujen perusteella tulevaisuudessa DMS-järjestelmää pyritään käyttämään pääasiallisena järjestelmänä ja SCADA-järjestelmä pidetään taustalla prosessitietojärjestelmänä. Haastatel- luissa verkkoyhtiöissä NIS-järjestelmä toimii käyttöönottojen tukena ja CIS-järjestelmän avulla toteutetaan asiakastiedotus joko postikorteilla, tekstiviestillä tai sähköpostilla. Urakoitsijoilla ei tyypillisesti ole mahdollisuutta tarkastella SCADA-järjestelmää tai DMS-järjestelmää. Järjestelmien käyttöoikeusrajoitukset estävät urakoitsijalta tehokkaan kytkentäsuunnittelun.

Haastattelujen perusteella kytkentätöiden tilausajat ovat riittävän lyhyitä. Kytkentätöiden tilaamistavat vaihtelevat ja ne voi tilata verkkoyhtiöstä riippuen DMS:ssä, sähköpostilla tai puhelulla. Sähköpostitilauksissa käytetään valmiita dokumenttipohjia, jotka varmistavat tietojen oikean täyttämisen. Haastattelujen perusteella DMS:n käyttäminen kytkentäsuunnitelman tilaamisalustana on toimiva ratkaisu. DMS:n käyttäminen urakoitsijan kytkentäaloitteen kirjaamiseen muissa verkkoyhtiöissä kuin Elenia Oy:ssä vaatii käytäntöjen muuttamista. Jos urakoitsijalla on pääsy DMS:ään, käyttöoikeuksien ja vastuiden tulee olla selkeät.

Verkkoyhtiön vastuulla on keskijänniteverkon kytkentäsuunnittelu. Haastatteluista verkkoyhtiöistä vain Elenia Oy sallii urakoitsijakumppaneilleen rajatun KJ-verkon kytkentäsuunnittelun, jonka verkkoyhtiö tarkastaa. Haastateltujen verkkoyhtiöiden näkemyksen mukaan KJ-verkon kytkentäsuunnittelu on verkkoyhtiön vastuulla myös tulevaisuudessa ja kytkentäohjelmien tarkastamisvastuu pysyy verkkoyhtiöissä. Urakoitsijayhtiöiden näkemyksen mukaan kytkentäsuunnittelu siirtyy osittain urakoitsijalle, mikä urakointiyhtiöiden mukaan nopeuttaa töiden toteuttamista. Verkon määräystenmukaisuuden varmistaminen on verkkoyhtiöiden vastuulla myös tulevaisuudessa.

Standardin SFS 6002 (2015) mukaisesti kaikista kytkentä- ja jännitetöistä pitää tehdä verkkoyhtiön tarkastama kytkentäohjelma ja toisen verkon tuntevan henkilön tulee tarvittaessa tarkastaa suunniteltu kytkentäohjelma. Tällä hetkellä joissakin verkkoyhtiöissä toteutetaan joitakin jännite- ja kytkentätöitä ilmoituksella käyttökeskukseen ilman kytkentäohjelmaa. Kaikkia kytkentäohjelmia ei välttämättä tarkasteta järjestelmällisesti, vaikka se on SFS 6002 (2015) hengen mukaista. Lisäksi tulevaisuudessa verkon käyttötoiminnan tilastointi vaatimukset luultavasti kasvavat.

Verkossa tehtävä työ määrittää keskeytysalueen laajuuden ja keskeytys aiheuttaa haittaa asiakkaille. Verkkoyhtiö sopii keskeytysajan keskeytysalueelle jäävien yritysten tai kunnan toimintojen kanssa. Lisäksi keskeytysalueelta huomioidaan hajautettu tuotanto, jotta keskeytysalueelle ei muodostu takasyöttötilanteita. Lisäksi verkkoyhtiöillä on kytkentään vaikuttavia erikoistilanteita tai -komponentteja. Kytkentäohjelman suunnittelu ja aloitteen tarkastaminen on kuvattu 5.6 kuvaan.



Kuva 5.6 Kytentäaloitteen tarkastaminen ja kytentäohjelman suunnittelu Elenia Oy:ssä. Oikean reunan punaiset nuolet kuvaavat takaisin kytentää. Perustuu lähteeseen (Elenia Oy, 2016b).

Käytönsuunnittelija suunnittelee kytentän rengasyhteydet, kytkinlaitteiden ohjausjärjestuksen, turvallisuustoimenpiteet ja päätyömaadoitukset. Jokaisessa kytentämuutoksessa pitäisi tehdä verkon oikosulku- ja tehonjakolaskenta. Periaatteessa kytentäohjelman tekemiseen ei tarvita muita tietojärjestelmiä kuin DMS, mutta verkkoyhtiöiden tietojärjestelmien käyttötavat eroavat toisistaan ja muitakin järjestelmiä voidaan tarvita. Urakoitsija toteuttaa kytentäohjelman verkkoyhtiön käyttökeskuksen johtamana.

Yleisesti Elenia Oy:n kytentäsuunnitteluprosessi on hyvä ja toimiva. Kuitenkin joitakin tehostamiskohteita on esimerkiksi uuden verkon käyttöönottamisessa ja dokumentoinnissa tietojärjestelmiin. Haastattelututkimuksen perusteella DMS on optimaalinen järjestelmä kytentätilauksen tekemiseen, koska urakoitsija pystyy havaitsemaan verkon topologian ja muut kytentään vaikuttavat asiat. Kytentäsuunnitteluprosessi nopeutuu, jos yritys- tai yhteiskuntatoimintojen keskeytyksen sopiminen on urakoitsijakumppanin vastuulla.

5.6 KytKentäsuunnittelun kehityskohteet

KytKentäaloitteiden heikkoa laatua voidaan parantaa muokkaamalla kytKentäaloitetta. Aloitteiden laadun heikkous johtuu tutkimuksen alkuoletusten perusteella huolimattomuudesta, tietämättömyydestä ja ohjeiden unohtamisesta. KytKentäaloitteiden tekeminen on urakoitsijoille vain sivutoimi, joita tehdään vain muutamia viikossa. Kun aloitteita tehdään harvoin, ohjeet unohtuvat eikä rutiinia synny. Joillakin urakointiyhtiöillä aloitteiden tekovastuu on jokaisella työnjohtajalla. Toisilla aloitteenkirjausprosessi on keskitetty yhdelle henkilölle, jolloin työn läpikäynti asentajien kanssa saattaa jäädä heikommaksi. Keskitetyssä ratkaisussa aloitteen tekijällä on lisäksi muitakin työtehtäviä, jolloin aloitteiden suuri määrä saattaa johtaa kiireeseen, mikä heikentää aloitteiden laatua.

Haastattelututkimuksen perusteella osa kytKentäaloitteista tehdään kopioimalla vanhoja aloitteita, jolloin aloitteen tekstikenttiin saattaa jäädä tietoja edellisistä töistä. Haastattelututkimuksen perusteella paras laatu syntyy, kun kytKennän tilaaja täyttää mahdollisimman paljon tekstikenttiä itse ja kopioi mahdollisimman vähän. Nykyisen aloitedialogin ongelmana on, että työn tilaajalta vaaditaan usean kentän täyttämistä eri välilehdiltä. Aloitedialogin sekavuus heikentää aloitteiden laatua.

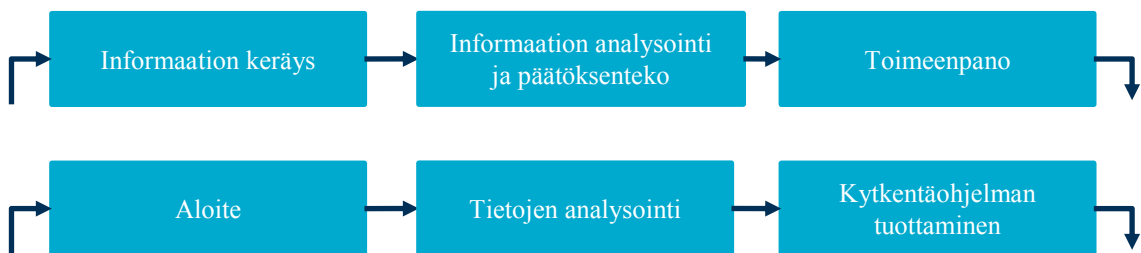
Haastattelututkimuksen mukaan aloitteiden yleisimpiä virheitä ovat työn aloitus- ja lopetusaikojen väärin kirjaaminen sekä liian pitkä työn kesto. Tyypillisesti keskeytyksille pyritään varaamaan enemmän aikaa kuin työn suorittamiseen kuluu. Työn suunnittelun ja suorituksen kannalta tämä on hyvä asia, mutta asiakkaat joutuvat varautumaan pitkään keskeytykseen. Työn tilaaja ei siis aina tunnista työn määrittelyssä pienimpiä mahdollisia asiakashaittoja. Tutkimuksessa ilmeni myös haasteita keskeytysaluetta rajaavien erottimien tunnistamisessa ja jännitetyömenetelmien hyödyntämisessä.

Haastattelututkimuksen perusteella käyttöönottoitoiden NIS-suunnitelmien tarkastaminen aiheuttaa paljon työtä. Jos NIS-suunnitelmassa on virhe, se johtaa aina aloitteen hylkäämiseen, mikä taas aiheuttaa haasteita työn tilaajan työnsuunnitteluun ja kasvattaa kustannuksia. KytKentäsuunnittelujärjestelmään tarvitaan ilmoitusjärjestelmä kytKentäsuunnitelman seurantaan, jotta työn tilaaja voi reagoida nopeasti kytKentäsuunnitelman hylkäämiseen tai hyväksymiseen.

KytKentäohjelmasta toivotaan lisää tietoja kytKennän suorittamiseen. KytKentäohjelman kytKentöjen suorittamiseen kuluvan ajan pitäisi selvittää kytKentäohjelmasta. Myös kytKentäohjelman tarkastamiseen toivotaan avustavia toimintoja sekä toimintoja laskentaan, kuten sammutuksen riittävyuden tarkastelua erilaisissa korvaustilanteissa.

6 KYTKENTÄSUUNNITTELUN JÄRJESTELMÄKEHITYS

Jokainen kytkentäohjelma tehdään luvussa kolme kuvattujen reunaehtojen mukaisesti. Tämän perusteella kytkentäsuunnittelua voidaan pitää toisteisena prosessina ja toisteiset prosessit voidaan Sharman (2011) ja Tzafestasin (2010) mukaan automatisoida. Tässä työssä automaatio tarkoittaa asiaa, jonka kone voi tehdä ilman ihmisen sekaantumista siihen (Black, et al., 2017). Sharman (2011) mukaan automaatiojärjestelmän toiminta koostuu kolmesta osasta: (1) informaation keräämisestä, (2) informaation analysoinnista ja päätöksenteosta, (3) päätösten toimeenpanosta (Sharma, 2011). Automaatiojärjestelmän toimintaa voidaan soveltaa kytkentäsuunnittelun järjestelmäkehitykseen. Kuvaan 6.1 on kuvattu automaatiojärjestelmän toiminnan vaiheet ja kytkentäohjelman automatisointiin tarvittavat vaiheet. (Tzafestas, 2010)



Kuva 6.1 Automaatiojärjestelmän toimintaperiaate ja sen soveltaminen kytkentäsuunnitteluun. Perustuu lähteeseen (Sharma, 2011).

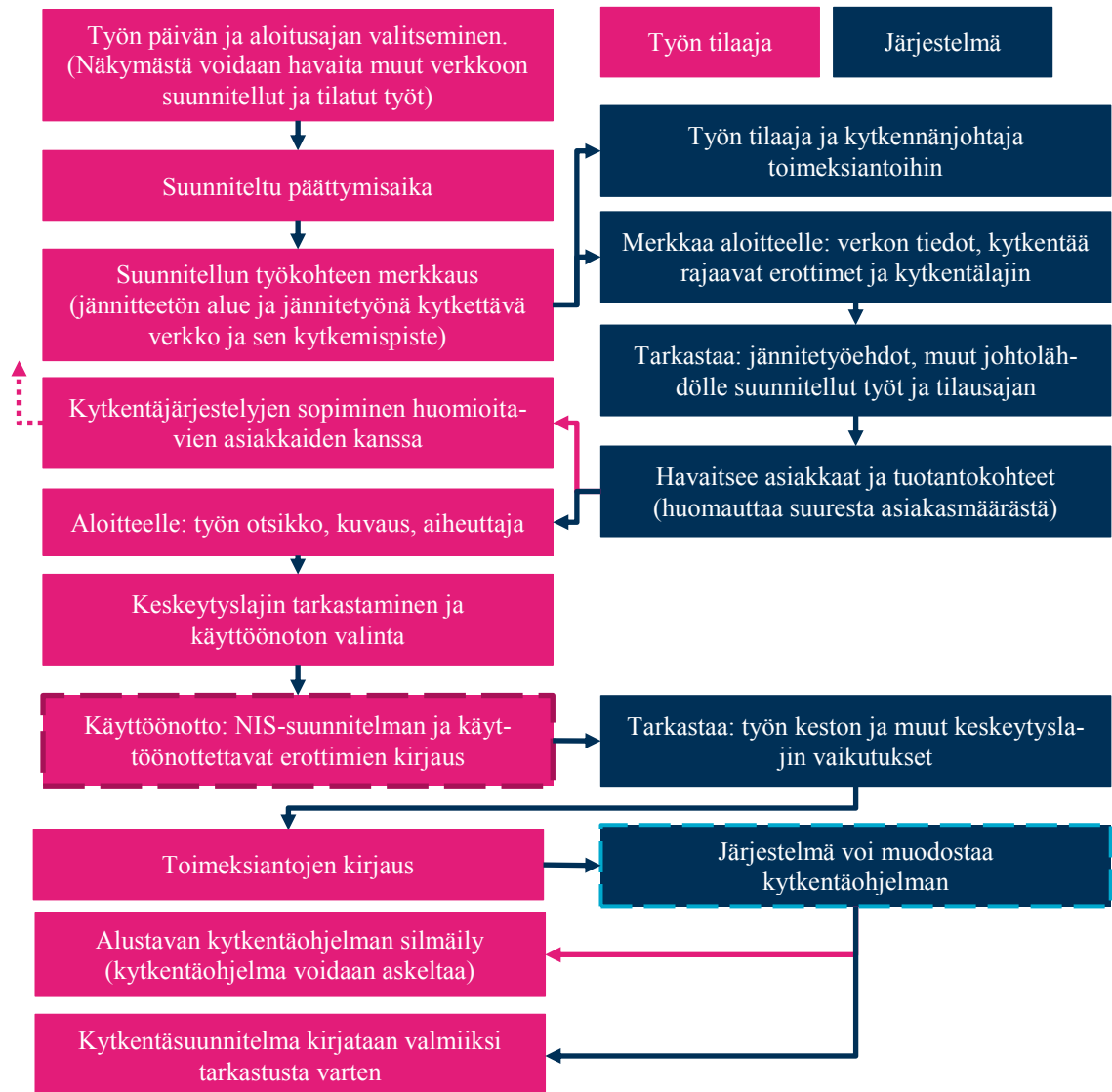
Kuvan 6.1 mukaisesti informaation kerääminen toteutetaan kytkentäaloitteella. Kytkentäaloitteeseen syötetään kaikki kytkentäohjelmaan tarvittava informaatio oikeassa muodossa. Syötettyjen tietojen perusteella tehdään päätös, onko kytkentäohjelma toteutettavissa ja määrittelyjen mukainen. Kytkentäaloitteen tietojen perusteella toteutetaan kytkentäohjelma, jonka pitää toteuttaa sille määritellyt reunaehdot.

Kytkeäsuunnittelun automatisointi ei ole täysin puhdas automaatiojärjestelmä, koska ihminen syöttää tietoja kytkentäaloitteelle. Kytkentäohjelman muodostaminen toimii kuvan 6.1 määrittelyn mukaisesti.

6.1 Keskeytysaloitteen tavoitetilan kuvaus

Kytkeäsuunnittelujärjestelmän kehittämisessä ensin kuvataan aloitteenkirjausprosessi. Tällä hetkellä käytössä oleva prosessi on kuvattu luvussa 3.4. Kuvaan 6.2 on kuvattu

kehitetyn kytkentäsuunnittelujärjestelmän aloitteenkirjausprosessi ja siihen liittyvät toiminnot.



Kuva 6.2 Aloitteen kirjaamisprosessi. Punaiset laatikot kuvaavat työn tilaajan toimintaa ja tumman siniset laatikot järjestelmän tekemiä tarkastuksia. Siniset nuolet kuvaavat prosessin etenemistä ja punaiset mahdollisia tehtäviä. Punainen katkoviiva nuoli kuvaa takaisinkytkentää.

Aloitesovelluksen täyttäminen alkaa työn päivän ja aloituskellonajan valitsemisella. Järjestelmässä on mahdollista kirjata aloitteelle monta eri keskeytyksen tekoaikaa, jos työssä tehdään esimerkiksi kaksi keskeytystä eri aikoina. Nämä ajat sisältyvät työn teko-aikaan. Järjestelmä antaa tilata työn vain määritettyjen tilausaikojen mukaisesti. Päivän valitsemisnäkyvässä kerrotaan: paljonko muita töitä on suunniteltu tai tilattu tietylle päivälle, millaisella keskeytyslajilla työt on tilattu sekä mille alueelle työ on suunniteltu sähköaseman ja johtolähdön tarkkuudella. Päivämäärän valinnassa rajoitetaan töiden alkamista saman päivän aikana verkkoyhtiön määrittelyn mukaisesti. Esimerkiksi töiden alkamista voidaan rajoittaa siten, että samalla kellonajalla saa alkaa vain tietty

määrä töitä tietyllä alueella. Seuraava työ saa alkaa vasta kun verkkoyhtiön määrittelemä aika edellisestä työstä on kulunut. Eri kellonajoille voidaan sallia eri määrä alkavia töitä, näin voidaan huomioida käyttökeskuksen vuorovaihdot. Tällä toiminnalla estetään käyttökeskuksen ruuhkautuminen suunniteltujen töiden osalta ja mahdollistetaan keskeytystöiden alkaminen asiakkaille ilmoitettuna ajankohtana. Näin vältetään asentajien kiire, joka muodostuu työn alkamisen viivästymisestä.

Päivän ja aloituskellonajan kirjaamisen jälkeen kirjataan työn suunniteltu päättymisaika. Jos päättymisaika kirjataan eri päivälle kuin alkamisaika, työn tilaajaa huomautetaan asiasta, jotta varmistutaan, ettei päättymisaika ole vahingossa virheellinen. Päättymisaikan kirjaamisen jälkeen työn tilaaja merkitsee järjestelmään suunnitellun työkohteen. Työkohte määritellään jännitteettömänä alueena tai alueena, jossa tehdään jännitetyö. Jännitetyössä merkitään kytkettävä verkko-osa sekä verkon kohta, johon verkko-osa kiinni- tai irtikytetään jännitetyönä. Jos työssä ohjataan jännitetyökatkopaikkaa, aloitteelle kirjataan ohjattava jännitetyökatkopaikka ja se osuus verkosta, joka kytketään irti tai kiinni verkkoon. Jännitetyönä saatetaan tehdä huoltotyötä, jossa ei kytketä verkkoa, jolloin kytkettävää johto-osaa ei merkitä. Jännitetyössä järjestelmä tarkastaa jännitetyöehdot, jotka on kuvattu luvussa 3.3. Jos ehdot eivät täyty, jännitetyötä ei ole mahdollista tilata.

Työalueen määrittelyn perusteella järjestelmä tunnistaa ja kirjaa aloitteelle työalueen johtolähdön, sähköaseman ja työaluetta rajaavat erottimet sekä tilastointia varten verkko-tyypin, työn sijainnin ja verkon jännitetason. Työaluetta rajaavat erottimet ovat toimintakykyisiä kuormaerottimia. Käytettävien erottimien, sähköaseman, johtolähdön ja työnsuoritusajan perusteella järjestelmä tarkastaa, ettei samalle johtolähdöllä tai samalle keskeytysalueella ole suunniteltu muita töitä työn ajaksi. Lisäksi järjestelmä tarkastaa, ettei työpäivälle ole suunniteltu johtolähdön sähköasemalle korvauskytkentää tai ettei alueella ole suunnitteluhetkellä sähköaseman korvauskytkentää, joka poistuu suunnitteluhetken ja työnsuoritushetken välissä. Järjestelmän sähköasemakorvausten tarkastamista helpottamaan on listaus korvatuista sähköasemista ja niiden korvaamiseen käytetyistä sähköasemista. Jos johtolähdöllä tai keskeytysalueella on muita töitä samaan aikaan, järjestelmä huomauttaa työn tilaajaa. Lisäksi kytkentää rajoittavien erottimien perusteella pyritään yhdistämään samalla keskeytysalueelle sijoittuvia jo suunniteltuja tai tilattuja töitä samaan keskeytykseen. Esimerkiksi keskeytysalueella saattaa sijaita komponentteja, joille on tilattu huolto, joka voidaan yhdistää keskeytykseen. Järjestelmä antaa tällaisesta tilanteesta huomautuksen työn tilaajalle.

Työkohteen määrittelyn perusteella järjestelmä havaitsee, sijaitseeko jännitteettömällä alueella asiakkaita. Jos jännitteettömällä alueella on asiakkaita, järjestelmä kirjaa keskeytyslajiksi asiakaskeskeytyksen. Järjestelmä vertailee kytkentäaloitteen kirjausaikaa ja työn suunniteltua aloitusaikaa eikä hyväksy kytkentäaloitetta, jos asiakaskeskeytystä yritetään tilata verkkoyhtiön määrittelemää tilausaikaa lyhyemmällä ajalla. Järjestelmä

tarkastaa, ettei samalle aloitusajalle ole suunniteltu enempää kuin verkkoyhtiön sallima määrä asiakaskeskeytyksiä.

Järjestelmä tarkastaa keskeytysalueen asiakastyypit ja huomauttaa työn tilaajaa, jos asutusalueelle halutaan tehdä keskeytystyö toimistotyöajan ulkopuolella tai jos teollisuusalueella halutaan tehdä keskeytystyö toimistotyöaikana. Jos keskeytysalueella on paljon asiakkaita, järjestelmä ehdottaa varavoimakoneen käyttöä sille muuntamolle, jolla suuri asiakasmäärä sijaitsee. Samalla järjestelmä kertoo varavoimakoneen tehon muuntamon tehokäyrän perusteella. Riittävän varavoimakoneen suuruuden arvioi käytönsuunnittelija. Järjestelmä etsii keskeytysalueelta verkkoyhtiön määrittelemät kriittiset asiakkaat sekä asiakkaat, joilla on sähkön tuotantoa ja ilmoittaa ne työn tilaajalle. Työn tilaaja sopii kytkentäjärjestelyistä näiden asiakkaiden kanssa.

Työalueen määrittelyn jälkeen siirrytään aloitteen kirjaamiseen. Aloitepohjassa työn tilaaja näkee ja pystyy muokkaamaan vain kohtia, joita tarvitaan kytkennän tilaamiseen. Kohdat, joita työn tilaajan pitää pystyä muokkaamaan, ovat verkkoyhtiön määriteltävissä. Työlle kirjataan otsikko, työn aiheuttaja ja lyhyt kuvaus työstä, josta selviää mitä työssä tehdään. Jos työssä tehdään taulukon 3.1 (luku 3.1.3) mukainen työ, se kirjataan aloitteelle. Tässä vaiheessa aloite tietää, tehdäänkö työssä asiakaskeskeytys, keskeytys, jossa ei ole asiakkaita, jännitetyö vai näiden yhdistelmä ja kirjaa sen aloitteen keskeytyslajiksi. Työn tilaaja tarkastaa keskeytyslajin ja valitsee, tehdäänkö työssä myös uuden verkon käyttöönottoa.

Keskeytyslaji vaikuttaa muihin kirjattaviin kenttiin. Asiakaskeskeytys vaikuttaa sallittuun työn kestoon ja keskeytyksen syyhyn, joka ilmoitetaan asiakasviestinnässä. Asiakaskeskeytyksissä aloitteelle kirjataan myös asiakastiedotuksesta vastaava, jonka järjestelmä kirjaa myöhemmin toimeksiantoihin. Uuden verkon käyttöönotto pakottaa kirjaamaan aloitteelle käyttöönotettavan verkon erottimet ja muuntamot sekä NIS-suunnitelman tunnuksen. Uuden verkon käyttöönotto valinnan jälkeen aloitedialogi huomauttaa työn tilaajaa NIS-suunnitelman tarkastamisesta ja verkkoyhtiön vaatimuksista käyttöönottodokumentaatioon. Jos työssä tehdään jännitetöitä, aloitteen toimeksiantoihin kirjataan jännitetyöryhmä. Muut keskeytyslajit eivät vaikuta aloitteessa täytettäviin kenttiin, mutta ne vaikuttavat kytkentäohjelman suunnitteluun.

Keskeytyslajit määrittelevät työn suunnittelua. Jos työssä on asiakaskeskeytys, työn kesto ei saa ylittää verkkoyhtiön määrittelemää maksimiaikaa. Esimerkiksi asiakaskeskeytystyössä järjestelmä tarkastaa, onko aloitteelle kirjattu taulukon 3.1 (luku 3.1.3) mukaista työtä ja kommentoi, jos työn pituus ei vastaa taulukon 3.1 (luku 3.1.3) mukaisia tavoiteaikaehdotuksia. Työn tilauksen voi päästää läpi, vaikka aika ei vastaa tavoiteaikaehdotusta. Tällöin tilaajan on kirjattava syy, miksi työn kesto ylittää tavoiteajan.

Seuraavaksi täytetään aloitteen toimeksiannot. Toimeksiantojen valinnassa järjestelmä näyttää vain työn tilaajan yrityksen työntekijöitä sekä verkkoyhtiön työntekijöitä. Työn

tilaaja kirjaa: työstä vastaavan työn aikana ja työnaikaisen sähköturvallisuuden valvojan sekä mahdollisen jännitetyöryhmän. Järjestelmä kirjaa automaattisesti toimeksiantoihin työn tilaajan ja kytkennän johtajaksi verkkoyhtiön käyttökeskuksen. Aloitteelle voi täyttää myös muita mahdollisia liitteitä ja tietoja.

Tässä vaiheessa aloitteelle on kirjattu kaikki tarvittavat tiedot kytkentäohjelman suunnittelua varten. Jos työn tilaaja haluaa, hän voi tarkastella automatiikan muodostamaa alustavaa kytkentäohjelmadokumenttia. Lisäksi kytkentäohjelmasta tulostuu karttakuva, jossa näkyy verkkoalue, jolla kaikki kytkennät tapahtuvat. Kytkentäohjelman muodostaminen on kuvattu luvussa 6.2. Alustavan kytkentäohjelman ja karttakuvan perusteella työn tilaaja voi tarkastella ohjattavien erottimien välimatkoja, jotta hän pystyy arvioimaan kytkennän vaatimaa työryhmätarvetta ja kytkennöissä kuluva aikaa. Myös järjestelmä arvioi kytkentöihin kuluva aikaa käytettyjen erottimien etäisyyksien ja niiden ohjaamiseen kuluvan ajan perusteella ja kirjaa arvioidut ajat kytkentäohjelmaan.

Kun edellä mainitut toimenpiteet on tehty ja keskeytysalueen asiakkaiden kanssa on sovittu alustavista kytkentäjärjestelyistä, työn tilaaja voi kirjata aloitteen kirjatuksi. Järjestelmä linkittää työn tilaajan nimimerkin aloitteeseen ja aloite siirtyy odottamaan käytönsuunnittelijan tarkastusta aloitelistalle. Jos työssä on sähköasemakorvaus, kytkentäaloitteen tekemisestä lähtee viesti verkkoyhtiön sähköasemaprojektivastaavalle, jotta sähköasemaprojektin suorittamista voidaan seurata. Myös käyttöönottotyöstä voidaan verkkoyhtiön niin halutessa lähettää viesti myös kyseisen projektin vastaavalle.

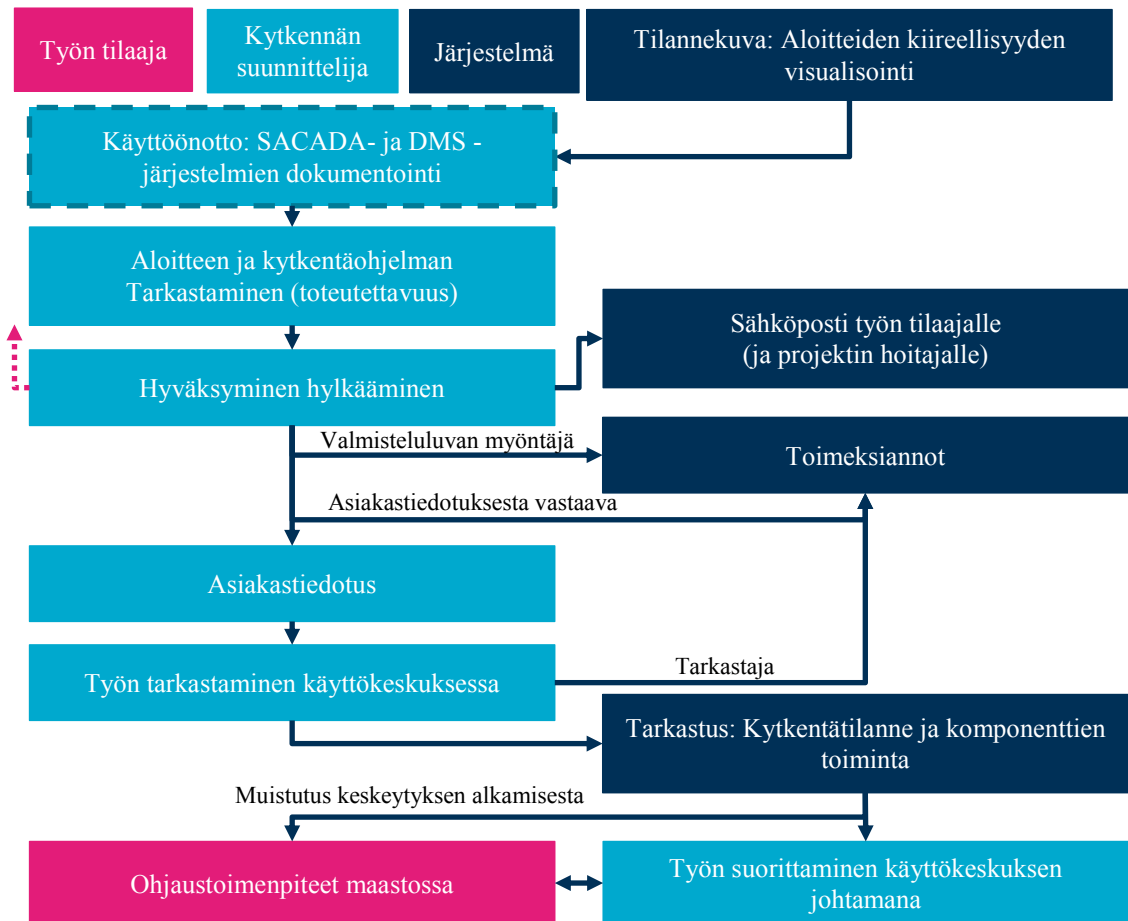
Aloitteiden kiireellisyys kerrotaan aloitelistalla. Kiireellisimpiä ovat työt, joiden asiakastiedotuksella on kiire, työssä on käyttöönotto, työn toteutusaika on lähestymässä tai työ vaikuttaa laajasti verkon toimitusvarmuuteen. Eri verkkoyhtiöillä voi olla eri perusteita työn kiireellisyydelle. Kiireellisyys indikoidaan esimerkiksi värikoodein: vihreä väri tarkoittaa kiireetöntä työtä, keltainen väri tarkoittaa melko kiireellistä työtä ja punainen väri tarkoittaa että, työ on suunniteltava kyseisen päivän aikana.

Tyypillisesti asiakaskeskeytystyöt ovat kiireellisiä. Asiakaskeskeytystöissä asiakastiedotus tehdään siten, että keskeytys on asiakkaiden tiedossa viimeistään päivää ennen keskeytystä. Asiakastiedotuksen toteutuksen kiireellisyyteen vaikuttaa ovatko kaikki keskeytysalueen asiakkaat sähköisen viestinnän piirissä. Sähköinen viesti on lähes välittömästi lähetyksen jälkeen asiakkaalla, kun taas postikorttien kulkeminen on riippuvainen postista. Asiakastiedotuksen toteuttaa verkkoyhtiön käytönsuunnittelija samalla, kun tarkastaa kytkentäsuunnitelman. Asiakastiedotus on pääasiallisesti verkkoyhtiön vastuulla, mutta myös työn tilaaja voi erikoistilanteessa tiedottaa asiakkaat. Tällöin työn tilaaja on lisännyt aloitteen kirjausvaiheessa aloitteelle asiakastiedotuksesta vastaavan, jolloin järjestelmä ja aloitteen tarkastaja tietävät, että asiakastiedotus on jo toteutettu. Muulloin asiakastiedotuksen toteuttaja eli työn tarkastaja ja tiedotuspäivämäärä kirjautuvat automaattisesti aloitteen toimeksiantoihin.

Verkon dokumentoinnin vuoksi käyttöönottotyöt täytyy tehdä kiireellisimmällä aikataululla kuin huoltotyöt. Eri verkkoyhtiöiden uuden verkon dokumentointiprosessit eroavat toisistaan. Esimerkiksi Elenia Oy:ssä käytönsuunnittelija dokumentoi verkon SCADA-järjestelmään NIS-suunnitelman mukaisesti. Uudessa kytkentäsuunnitteluprosessissa kytkentäsuunnittelija ajaa käyttöönotettavan verkon NIS-järjestelmän masterverkkoon. Uutta verkkoa ei voida ajaa automaattisesti masterverkkoon vaan ihmisen pitää varmistua, että verkon mastertietokanta pysyy oikeana. Automaattinen masterajo vaatisi huomattavaa järjestelmäkehitystä eikä se kuulu tämän diplomityön aihepiiriin. Käyttöönotettavan verkon dokumentointi tehdään ennen kytkentäohjelman hyväksymistä.

Verkkoyhtiön käytönsuunnittelija tarkastaa kaikki kytkentäsuunnitelmat. Kytkeäsuunnitelma voidaan joko hyväksyä tai hylätä. Työn tilaaja saa viestin kytkentäsuunnitelman hyväksymisestä tai hylkäämisestä. Jos työ hylätään, hylkäysperustelut on kirjattu sekä hylkäysviestiin että aloitteelle. Jos työssä on asiakaskeskeytys, järjestelmä voi muistuttaa työn tilaajaa työn tekemisestä esimerkiksi kaksi tuntia ennen ilmoitettua keskeytyksen alkamisajankohtaa. Kytkeäohjelmasta tarkastetaan aloitteen kirjaaminen ja kytkentäohjelman toiminta. Käytönsuunnittelija voi muokata kytkentäaloitteen kirjauksia tai kytkentäohjelmaa. Kytkeäsuunnitelman hyväksymisen yhteydessä aloitteen toimeksiantoihin kirjautuu työn valmisteluvan myöntäjäksi aloitteen tarkastaja. Samalla työn tilaajalle lähetään sähköpostilla hyväksymisviesti, jonka liitetiedostoissa on työn kytkentäohjelma ja karttakuva kytkentäohjelmasta, jotka voidaan tulostaa. Myös verkkoyhtiön projektivastaava saa uuden verkon käyttöönottotyön tai sähköasematyön hyväksymisestä sähköpostiviestin, jolloin hän pystyy seuraamaan projektien aikatauluja. Hyväksynnän jälkeen työ siirtyy aloitelistalla odottamaan työn toteuttamista.

Haastattelujen perusteella kytkentäsuunnitelmat pitää hyväksyä viimeistään työn alkamista edeltävänä päivänä kello kahteentoista mennessä, jotta kytkennän suorittajalle jää riittävästi aikaa kytkentäohjelmaan perehtymiseen. Kytkeäohjelma voidaan lähettää työn tilaajalle johonkin muuhun kuin DMS-järjestelmään, koska tyypillisesti vain harvoilla urakointiyhtiön työntekijöillä on käyttöoikeudet DMS-järjestelmään. Kuvaan 6.3 on kuvattu aloitteen tarkastaminen ja järjestelmän avustavat toiminnot.



Kuva 6.3 Aloitteen tarkastamisprosessi, johon on kuvattu järjestelmän avustavat toiminnot.

Kytkenäsuunnitelma tarkastetaan ennen työn suorittamista. Käytönvalvoja, joka toimii työn kytkenä johtajana, tarkastaa kytkenäohjelman. Järjestelmässä on kytkenäohjelman tarkastustoiminto, joka tarkastaa, että kytkenätilanne on sama kuin suunnitellaessa, kytkenässä käytetyt komponentit ovat toimintakuntoisia ja kytkenä toteuttaa määräykset. Kytkenätilanne tarkastetaan siten, että keskeytysalue rajautuu samoihin johtolähtöihin kuin suunnittelun aikana, rengasyhteyksien ohjattavat erottimet ovat kytkenäohjelman mukaisessa tilassa, rengasyhteydet muodostuvat samojen johtolähtöjen ja kanssa kuin suunnitteluaikana ja kytkenät toteuttavat määräykset. Kun käytönvalvoja on varmistunut edellä mainituista asioista, kytkenätyö voidaan suorittaa. Samalla järjestelmä kirjaa toimeksiantoihin työn tarkastajan. Jos edellä mainitut ehdot eivät toteudu, kytkenätyö hylätään.

6.2 Kytkenäohjelman automatiikan kuvaus

Tässä luvussa käsitellään kytkenäohjelman muodostamista automaattisesti. Luvun 5.5 kuvassa 5.6 on kuvattu kytkenäohjelman suunnittelemisen ja nykyinen kytkenäsuunnitteluprosessi. Kytkenäsuunnittelujärjestelmä muodostaa kytkenäohjelman samojen

periaatteiden mukaisesti ja kytkentäohjelma on muodostamisen jälkeen käyttäjän muokattavissa.

Aloitteella on kirjattu tiedot kytkentäohjelman muodostamista varten. Jännitteettömän alueen perusteella järjestelmä löytää keskeytystä rajaavat erottimet ja työn johtolähdön. Järjestelmä tarkastaa johtolähdöllä sijaitsevien ja rajaavien kaukokäyttö- ja käsikäyttö-erottimien toimintakyvyn, kuormankatkaisukyvyn ja epänormaalityilat. Samalla järjestelmä tarkastaa työnsuoritusajan perusteella, ettei johtolähdön erottimia käytetä muissa töissä työn aikana. Jos erottimet ovat epänormaalitylassa työn tilaajaa ja tarkastajaa huomautetaan verkon epänormaalitylasta, mikä tarkoittaa, että automaattisesti muodostettu kytkentäohjelma tulee luultavasti muuttumaan tarkastusvaiheessa. Jos työn kytkentäohjelmaan suunniteltuja erottimia käytetään työn aikana jossain muussa työssä, työtä ei voi tilata kyseiseen ajanhetkeen. Työn tilaajalle kerrotaan koska erottimia voidaan seuraavan kerran käyttää, mikä helpottaa uuden kytkentäajan varaamista.

Järjestelmä havaitsee kaikki erottimet, jotka eivät ole kuormaerottimia, toimintakykyisiä tai eivät täytä kriteerejä, joita verkkoyhtiö on asettanut erottimien toiminnalle. Näitä erottimia ei voida ohjata jännitteisenä. Verkkoyhtiön asettamia kriteerejä voivat olla esimerkiksi, ettei kuorman katkaisuun käytetä erottimia, joita ei ole huollettu tai käytetty tietyn ajan sisällä esimerkiksi kymmeneen vuoteen. Samalla, kun tarkastetaan johtolähdön erottimet, myös muut verkkoyhtiön määrittelemät komponenttien erikoisominaisuudet tarkastetaan. Erikoisominaisuuksia voivat olla esimerkiksi lahopylväät tai komponentit, joiden toiminta voi olla virheellistä. Myös johtolähdön kuormitus tarkastetaan. Kytkennässä pyritään välttämään suurien tehonkulutusalueiden jättäminen ilman rengasyhteyttä, koska se heikentää verkon toimitusvarmuutta.

Järjestelmä etsii keskeytysalueella sijaitsevat tuotantokohteet, pienjännitteen rengasyhteydet sekä keskeytysaluetta rajaavat ”auki”-tilassa olevat erottimet. Keskeytysalueella sijaitsevien tuotantokohteiden kanssa sovitaan kytkentäjärjestelyistä. Kytkentäjärjestelyjen tekijä kirjaa tuotantokohteen vastuuhenkilön yhteystiedot kytkentäohjelmaan. Yhteyshenkilöltä varmistetaan ennen kytkentätyötä, että tuotantokohteen tehonsyöttö on lopetettu. Keskeytysalueen muodostamisen jälkeen tuotantokohteiden syöttösuunta varmistetaan. Tämän jälkeen kytkentäohjelmassa varmistetaan varokekytkimillä kytkettävien pienjänniterengasyhteyksien sekä keskijänniteverkon keskeytysaluetta rajaavien ”auki”-tilassa olevien erottimien ”auki”-tila. Jokaisesta varmistuksesta kirjataan rivi kytkentäohjelmaan, jossa ”auki”-tilan varmistuksesta kirjataan turvallisuustoimenpide. Turvallisuustoimenpiteet on kuvattu luvussa 3.2 ja niiden mukaiset toimenpiteet on koostettu liitteeseen C.

Järjestelmä löytää kaikki johtolähdön rengassyöttöyhteydet. Rengasyhteyden avulla jakoraja siirretään keskeytystä rajaavalle erottimelle joko ilman katkoa tai kytkentäkatkon avulla. Tarvittaessa rengaskytkennässä käytetään apuyhteyttä. Tyypillisesti apuyhteyttä tarvitaan vain kaapeloidussa taajamaverkossa, jossa sähköasemien etäisyys toisiinsa on

lyhyt ja päämuuntajien kuormat ovat erisuuret. Apuyhteyden käyttäminen tulee kyseeseen, kun apuyhteys on määritelty DMS-järjestelmään. Taulukkoon 6.1 on kuvattu rengasyhteyden valinta perusteet. Numeroiden perusteella havaitaan tärkeimmät ehdot.

Taulukko 6.1 Korvaavan syöttöyhteyden valitsemisen perusteet.

Jakorajan siirron ja käytettävän rengasyhteyden valinta	Vaihtoehdot	Toimenpide
1. Määräysten mukaisuuden laskenta	Toteuttaa Ei toteuta	Voidaan käyttää korvaukseen Ei voida käyttää korvaukseen
2. Rengasehtojen toteutuminen	Toteuttaa Ei toteuta	Voidaan kytkeä ilman katkoa Voidaan kytkeä vain katkon kautta
3. Käytettävä erotin	Kaukokäyttö Käsi käyttö	Käytetään aina kun mahdollista Käytetään jos kaukokäyttöerottimia ei ole
4. Verkkotyyppi	Sama Eri	Korvaus tehdään mieluiten samalta verkkotyypiltä Voidaan käyttää korvaukseen
5. Syöttävä päämuuntaja	Sama Eri	Korvaus ensisijaisesti samalta päämuuntajalta Voidaan käyttää korvaukseen
6. Johtolähdön maadoitustapa	Sama Eri	Valitaan ensisijaisesti sama maadoitustapa Sammutuskela laitetaan käsikäytölle

KytKentäohjelman kytkennät alkavat jakorajan siirtämisellä keskeytysaluetta rajaavalle erottimelle, joka on kauimpana työkohteesta. Johtolähdöllä voi olla monta rengasvaihtoehtoa. Mahdollisia rengasyhteyksiä ovat oman verkon rengasyhteydet ja viereisen verkkoyhtiön varasyöttöpisteet. Viereisen verkon varasyöttöyhteyttä käytetään, jos sen käyttäminen pienentää asiakashaittaa eikä oman verkon rengasyhteyksiä voida käyttää tilanteessa. Taulukon 6.1 mukaisesti ensin järjestelmä tarkastaa kaikkien mahdollisten rengasyhteyksien määräysten mukaisuuden laskennan tilanteessa, jossa jakoraja on siirretty keskeytysaluetta rajaavalle erottimelle. Näin rajataan ulos kaikki ne korvauskytkennät, joita ei voida suoraan käyttää korvauskytkentään. Laskenta on kuvattu luvussa 3.1.5.

Laskennan jälkeen tarkastetaan rengasyhteyksien rengaskäyttöehdot, jotka on kuvattu luvussa 3.1.2. Jos ehdot täyttyvät, johtolähtöjä voidaan käyttää renkaassa. Jos rengaskäyttöehdot eivät täyty, kyseistä rengasyhteyttä voidaan käyttää jakorajan siirtoon vain kytkentäkatkon avulla. Tällaista yhteyttä käytetään jakorajan siirtoon vain, jos muita sähkötekniisesti kelpaavia rengasyhteyksiä ei ole saatavilla. Taulukon 6.1 mukaisesti seuraavaksi tarkastellaan ne yhteydet, jotka voidaan kytkeä renkaaseen kaukokäytettävillä erottimilla. Korvauskytkennän valinnassa huomioidaan mahdollisuuksien mukaan verkon tyyppi, jotta kaapeliverkkoa ei korvata ilmajohtoverkolla, jos korvaaminen on mahdollista kaapeliverkolla. Näin pyritään välttämään esimerkiksi jälleenkytkentöjen esiintyminen kaapeliverkossa. Rengasyhteys kytetään kaukokäyttöerottimilla aina kun on mahdollista, jotta kytkentään kuluu vähemmän aikaa. Ensisijaisesti valitaan johtoläh-

tö, jota syöttää sama päämuuntaja kuin rengastettavaa johtolähtöä. Jos samalta päämuuntajalta ei ole rengasyhteyttä, ensisijaisesti valitaan johtolähtö, jonka maadoitustapa on sama kuin rengastettavalla johtolähdöllä.

Rengastettava johtolähtö voidaan korvata myös useaa johtolähtöä käyttäen, jos yksikään kaukokäytettävillä erottimilla muodostettava rengasyhteys ei täytä laskentaehtoja. Näissä kytkennöissä käytetään vain kaukokäyttöerottimia. Jakorajaa siirretään aina kaukokäyttöerottimelta kaukokäyttöerottimelle. Johtolähdön kauimmaisesta jakorajasta korvataan mahdollisimman suuri laskennan sallima alue, jotta saadaan korvattua mahdollisimman paljon verkkoa keralla. Laskennasta voidaan huomata ne johto-osat, joilla jännite- tai oikosulkukestoisuus ei toteudu ja siirtää pois korvaavalta johtolähdeltä. Seuraavaksi korvataan toiseksi kauimmaisesta jakorajasta mahdollisimman suuri laskennan sallima alue. Näin jatketaan kunnes koko johtolähtö on korvattu keskeytysaluetta rajaviin erottimiin asti.

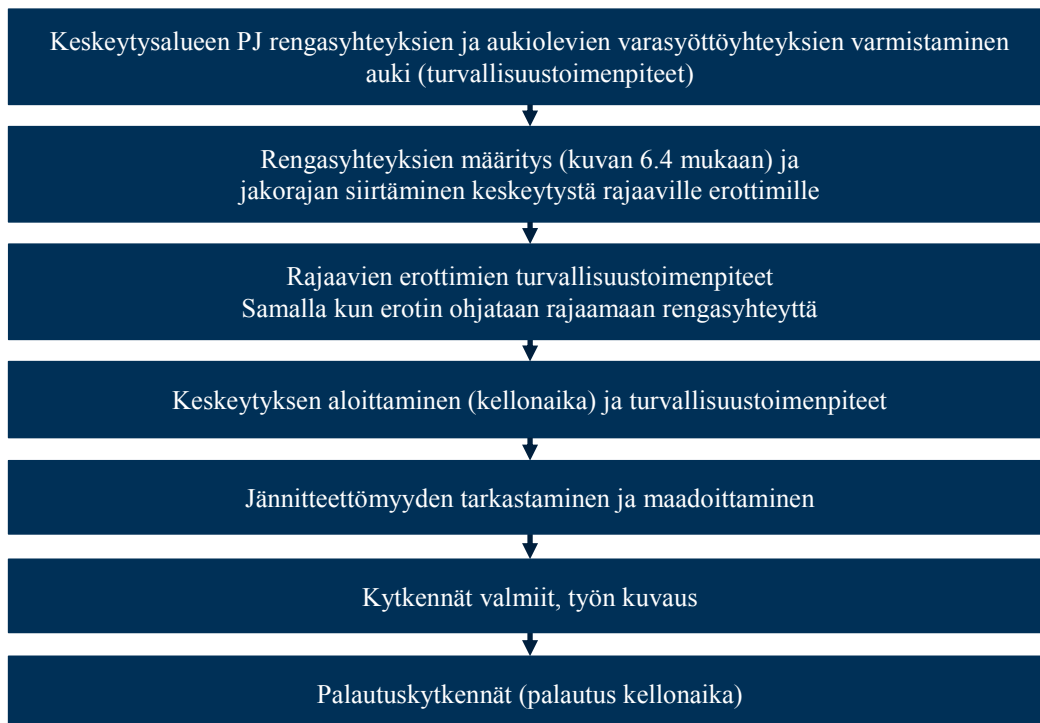
Jos yksikään kaukokäytettävällä erottimella kytkettävä rengasyhteys ei toteuta edellä mainittuja ehtoja, tehdään samat tarkastelut käsikäyttöisillä erottimilla kytkettävälle rengasyhteyksille. Jos käsikäyttöisellä erottimella renkaaseen kytkettäviä johtolähtöjä ei ole, tarkastellaan vielä ne rengasyhteydet, jotka voidaan kytkeä kytkentäkatkolla. Jos johtolähtöä ei saada korvattua edellä mainituilla tavoilla, automatiikka ei tee korvauskytkentää. Tällöin kytkentäsuunnitelmassa huomautetaan rengasyhteyksien haasteellisuudesta. Tällainen tilanne saattaa syntyä esimerkiksi, kun verkko on epänormaalissa kytkentätilanteessa. Vaikka korvauskytkentä on mahdollista muodostaa myös viereisen verkkoyhtiön varasyöttöpisteen avulla, automatiikka ei tee tällaista toimintoa, koska varasyötöt pitää sopia viereisen verkkoyhtiön kanssa. Jos korvaus vaihtoehtona olisi varasyöttöpisteen hyödyntäminen, järjestelmä huomauttaa kytkentäsuunnitelmassa varasyöttöpisteen olemassaolosta.

Järjestelmä kirjaa toiminnolle, joka kytkee kaksi johtolähtöä renkaaseen, huomautuskenttään kyseisten johtolähtöjen nimet ja sähköasemat. Jos renkaaseen kytkettävillä johtolähdöillä on eri maadoitustavat, järjestelmä kirjaa ennen renkaan kytkemistä huomautuksen eri maadoitustapojen huomioimisesta. Järjestelmä kirjaa toimenpiteiden suorittajaksi työn sähköturvallisuuden valvojan, paitsi jos ohjataan kaukokäytettäviä komponentteja, jolloin toimenpiteen suorittajaksi kirjataan verkkoyhtiön käyttökeskus.

Järjestelmä antaa jokaisen toiminnon suoritukselle ajan. Järjestelmään voidaan määrittää erottimen ohjauksen kestoksi vakioaika. Lisäksi järjestelmä tallentaa kytkentäohjelman suorituksen perusteella, kauanko tietyn tyyppisten toiminnon suorittamiseen kuluu aikaa. Näiden suoritusaikojen perusteella järjestelmä arvioi erikseen eri toimintoihin kuluvia aikoja. Järjestelmä tarkastelee erottimien sijaintia ja hyödyntää karttatietoja selvittääkseen, kuinka kauan työryhmällä kestää suorittaa kaikki kytkentäohjelmaan kirjatut kytkennät erottimien välinen siirtymäaika mukaan luettuna. Tämä helpottaa kytkennän suorittajan työsuunnittelua ja käyttökeskuksessa voidaan ennustaa työn aikataulu.

6.2.1 Suunniteltu keskeytys

Suunnitellun keskeytyksen muodostamisen vaatimukset on esitelty luvussa 3.2. Jännitteettömän keskeytysalueen muodostava kytkentäohjelma on kuvattu kuvassa 6.4.



Kuva 6.4 Kytkentäsuunnittelujärjestelmän keskeytystyön kytkentäohjelman muodostaminen.

Kuva 6.4 alkaa luvun 6.2 mukaisella rengasyhteyksien siirtämisellä keskeytysaluetta rajaaville erottimille. Rengasyhteyksien erottimet ovat auki ja työkohdetta syötetään sitä lähimpänä olevan erottimen kautta. Keskeytys aloitetaan ohjaamalla syöttävä erotin auki. Keskeytys aloitetaan lähimmältä erottimelta, koska tällöin työryhmällä on lyhin matka siirtyä työkohteeseen keskeytyksen aloittamisen jälkeen. Kytkentäohjelmalle kirjataan keskeytyksen aloittavan erottimen ohjausajaksi se kellonaika, joka on kirjattu aloitteelle keskeytyksen aloittamisajaksi. Jos työssä tehdään useampia keskeytyksiä eri aikoihin ja paikkoihin, ensimmäiseksi määritellylle keskeytysalueella kirjataan ensimmäiseksi kirjattu keskeytyksen aloitusaika. Keskeytysalueella voi sijaita pientuotantokohteita. Ennen varsinaista kytkentää tuotantokohteiden syöttö keskeytetään, koska kaikki mahdolliset syöttösuunnat maadoitetaan.

Kytkentäohjelmalla kirjataan turvallisuustoimenpiteet keskeytystä rajaaville erottimille. Turvallisuustoimenpiteet kirjataan tehtäväksi kytkentäohjelmalle heti aukiohjauksen tai aukitarkistuksen jälkeen. Jos komponentit ovat kaukokäytettäviä, niille kirjataan paikalliskäytölle ohjaaminen ennen mekaanista lukitusta. Turvallisuustoimenpiteiden tekijäksi kirjataan aina työryhmän sähköturvallisuuden valvoja. Tarkemmat turvallisuustoimenpiteet ja niihin liittyvät toiminnot on kirjattu liitteeseen C.

Jännitteettömyyden todentaminen kirjataan kytkentäohjelmassa ennen jokaista maadoituskytkentää omalle rivilleen. Päätyömaadoittaminen tehdään jokaisesta työkohteen syöttösuunnasta. Kytkeäohjelmaan maadoitus toteutetaan aina kun on mahdollista käyttäen kiinteitä maadoituslaitteita. Maadoituskytkintä ohjataan samalta muuntamolta, jossa keskeytystä rajaava erotin sijaitsee. Jos keskeytystä rajaavan erottimen yhteydessä ei ole kiinteitä maadoitusvälineitä, käytetään siirrettäviä maadoitusvälineitä. Siirrettävät maadoitusvälineet kytketään jokaiseen työkohteen syöttösuuntaan. Järjestelmä laskee siirrettävien maadoitusvälineiden pienimmän mahdollisen poikkipinta-alan luvun 3.2 yhtälön 3.2 mukaisesti ja arvo kirjataan kytkentäohjelmaan. Siirrettävien maadoituserottimien sijainti voidaan havaita kytkentäohjelman yhteydessä tulostettavasta karttakuvasta, jossa kerrotaan myös maadoitusjohtimien poikkipinta-ala. Maadoituskytkimien ja päätyömaadoitusten kytkemisjärjestys alkaa keskeytyksen aloittaneelta erottimelta. Seuraavaksi ohjataan tai kytketään maadoitus ensimmäistä maadoituspistettä lähimmältä keskeytystä rajoittavalta erottimelta. Sen jälkeen siirrytään aina edellistä maadoituspistettä lähimmälle keskeytystä rajaavalle erottimelle kunnes kaikki syöttösuunnat on maadoitettu.

Kun maadoitukset ja jännitteettömyyden tarkastamiset on kirjattu kytkentäohjelmaan, työn suorittaminen kirjataan kytkentäohjelmaan huomiorivinä. Järjestelmä kirjaa huomioriville tekstin, jonka työn tilaaja on kirjannut aloitteelle työnsuoritekenttään. Esimerkiksi jos aloitteelle on kirjattu taulukon 3.1 mukainen erotinhuoltotyö, järjestelmä lisää työn suoritushuomiorivin jälkeen erottimen koestuskytkennät eli erotin ohjataan auki ja kiinni.

Jos työssä ei ole dokumentointia, työn kytkennät voidaan palauttaa käänteisessä järjestyksessä, mistä on toiminnallisuus Trimble DMS-ohjelmassa. Automaattisesti muodostettuun kytkentäohjelmaan voidaan myös palauttaa alun perin epänormaalikytkentätila normaaliksi. Kytkeäohjelmassa pitää olla vaihtoehtona ”palautuskytkennät”-toiminto tai kytkennän palauttaminen normaalitilaan. Jos työ palautetaan normaaliin kytkentätilaan, järjestelmä tarkastaa rengasyhteyksiä rajaavat erottimet ja niiden normaalit kytkentätilat, jotka on kirjattu DMS-järjestelmään. Kytkeäohjelmassa verkon jakorajat siirretään normaalitilassaan aukioleville erottimille. Kaikkien jakorajan siirtokytkentöjen pitää toteuttaa tässä luvussa mainitut kytkentäehdot. Ohjaustoimenpiteet tulostetaan kytkentäohjelmalle, jotta ne voidaan tarkastaa. Järjestelmä huomioi keskeytyksen suunnitellun lopetusajan ja kirjaa sen toimenpiteelle, joka lopettaa keskeytyksen. Tämän jälkeen järjestelmä laskee keskeytysanalyysin. Järjestelmä tarkastaa, että asiakaskeskeytykseksi kirjatulle työlle muodostuu asiakasvaikutuksia.

6.2.2 Jännitetyö

Tyypillisimpiä jännitetöitä on kuvattu luvun 3.3 taulukossa 3.3. Kuvaan 6.5 on kuvattu kytkentäohjelman toimenpiteet jännitetyön yhteydessä. Jos työssä ei kytketä verkkoa, verkon pituutta ei tarvitse tarkastella eikä kuormia poisteta.



Kuva 6.5 Automaatiojärjestelmän toiminnot jännitetyön yhteydessä.

Kuvan 6.5 mukaisesti järjestelmä löytää johtolähdön kaikki tuotantokohteet, jotka vaarantavat jännitetyön suorittamisen. Järjestelmä siirtää nämä tuotantokohteet pois johtolähdöltä, jos se on mahdollista. Tuotantojen siirtäminen toteutetaan hyödyntäen rengasyhteyksiä, kuten 6.2 luvun johdannossa on kuvattu. Jos tuotantoa ei voida siirtää pois johtolähdöltä, työn tilaajaa huomautetaan asiasta. Tällöin vaihtoehtoina ovat tuotannon keskeyttäminen jännitetyön ajaksi tai työn tekeminen jännitteettömänä. Tuotannon keskeytyksestä sovitaan tuotantolaitoksen yhteyshenkilön kanssa, joka kirjataan myös kytkentäohjelmaan.

Kaikilta jännitetyökohdetta syöttäviltä katkaisijoilta poistetaan jälleenkytkennät. Jälleenkytkennän poistajaksi kirjataan verkkoyhtiön käyttökeskus, jos jälleenkytkennät voidaan poistaa kaukokäytöllä, muuten poistajaksi kirjataan työryhmän sähköturvallisuuden valvoja.

Kun jälleenkytkennät ja tuotantokohteet on poistettu johtolähdöltä, jännitetyö, jossa ei kytketä verkkoa, voidaan suorittaa. Jos jännitetyössä kytketään verkkoa kiinni tai irti, järjestelmä kiinni- tai irtikytkee verkon käyttäen väliaikaisia DMS-komponentteja. Kaikki kuormakomponentit erotetaan kytkettävästä verkosta ja niille kirjataan turvallisuustoimenpiteet. Jos erottimet ovat kaukokäytettäviä, ne kytketään muiden turvallisuustoimenpiteiden lisäksi paikalliskäytölle. Näiden toimenpiteiden jälkeen jännitetyö voidaan toteuttaa. Kytkentäohjelmaan kirjataan jännitetyön toteutus huomautusrivinä, jossa on edellisen luvun tapaan työn kuvaus. Työn jälkeen kytkentä palautetaan käänteisessä järjestyksessä ”Trimble DMS palautuskytkennät”-toiminnolla.

Jännitetyö voidaan yhdistää keskeytys- tai dokumentointityöhön. Kuvaan 6.6 on kuvattu miten jännitetyöt vaikuttavat keskeytysalueen muodostamiseen.



Kuva 6.6 Kytkentäohjelman muodostaminen jännitetyöhön, jossa otetaan verkkoa jännitteettömäksi.

Kuvasta 6.6 huomataan, että jännitetyö voidaan yhdistää keskeytystyöhön. Tällöin jännitetyöllä voidaan rajata keskeytysaluetta. Kytkentäohjelmassa jakoraja siirretään jännitetyönä irtikytettävän verkko-osan takaiselle erottimelle. Siis keskeytysaluetta syötetään jännitetyönä irtikytettävän verkko-osan läpi eikä tulevalle keskeytysalueella ole enää kuormitusta kytkettynä. Keskeytysalue siis muodostetaan jännitetyönä. Tyypillisesti keskeytysaluetta rajataan jännitetyökatkopaikoilla, mutta jännitetyönä voidaan myös irtikytkeä maakaapelia ilmajohtoverkosta, keskeytystä rajaavalle jännitetyökomponentille ei kirjata turvallisuustoimenpiteitä. Jos keskeytysalueella on asiakkaita, kytkentäohjelmassa kirjataan oikea keskeytyksen aloitusaika sille toiminnolle, joka aloittaa asiakaskeskeytyksen. Jälleenkytkennät poistetaan juuri ennen jännitetyökytkentää.

6.2.3 Uuden verkon käyttöönotto

Tässä luvussa muokataan Elenia Oy:n uuden verkon käyttöönotto prosessia. Kun otetaan käyttöön uutta verkkoa, kytkentäaloitteella valitaan keskeytyslajiin lisämaare ”dokumentointi”, joka kertoo järjestelmälle, että työssä otetaan uutta verkkoa käyttöön. Li-

säksi aloitteelle kirjataan käyttöönotettavat erottimet ja muut verkkoyhtiön vaatimat uuden verkon tiedot. Käyttöönotettavien erottimien avulla järjestelmä määrittää käyttöönotettavat erotinvälit kytkentäohjelmaan. Uuden verkon käyttöönottoprosessit vaihtelevat verkkoyhtiöstä toisiin, joten tässä alaluvussa keskitytään Elenia Oy:n uuden verkon käyttöönottoprosessiin, mutta tämä prosessi on sovellettavissa muihinkin verkkoyhtiöihin.

Lopullinen kytkentäohjelma voidaan tehdä vasta, kun uusi verkko on ajettu NIS-järjestelmän mastertietokantaan. Järjestelmä ei aja käyttöönotettavaa verkkoa itsenäisesti NIS-järjestelmän mastertietokantaan, vaan ihminen tekee masterajon. Automaattinen masterajo vaatisi huomattavaa kehitystä masterverkon automaattiseen tarkastamiseen. Lisäksi käyttöön otettavan uuden verkon automaattinen tarkastaminen on rajattu tämän diplomityön ulkopuolelle, koska verkkoyhtiöiden vaatimukset verkon tarkastamiselle voivat vaihdella.

Jos keskeytysalueella on asiakkaita, asiakastiedotus toteutetaan uuden verkon käyttöönototyössä väliaikaisella kytkentäohjelmalla, joka muodostetaan, kuten edellisissä luvuissa on kuvattu, mutta ilman uuden verkon käyttöönottamista. Tässä väliaikaisessa kytkentäohjelmassa on kaikki vaadittavat tiedot ja tarkastukset asiakastiedotuksen toteuttamiseksi. Väliaikaisessa kytkentäohjelmassa on huomautus kytkentäohjelman väliaikaisuudesta.

Uusi verkko pitää ajaa masterverkkoon ennen sen käyttöönottoa. Ennen masterajoa verkko pitää Elenia Oy:ssä dokumentoida SCADA-järjestelmään. Masterajon johdosta verkon kytkentätilanne voi muuttua, kun käyttöönotettava verkko kytketään käytössä olevaan verkkoon. Jos purkautuva verkko aiheuttaa masterverkossa renkaan, se irrotaan käytössä olevasta verkosta. Kun uusi verkko on ajettu masterverkkoon, käytönsuunnittelija korjaa DMS-järjestelmän kytkentätilanteen. DMS-järjestelmän kytkentätilanne korjataan tilapäisillä komponenteilla. Kun kytkentätilanne on korjattu oikeaksi, automaatio voi toteuttaa lopullisen kytkentäohjelman. Kuvaan 6.7 on kuvattu rinnakkain jännitetyönä ja keskeytystyönä tehtävän uudenverkon käyttöönototyön kytkentäohjelmat.



Kuva 6.7 KytKentäohjelma uuden verkon käyttöönotossa. Vasemmalla jännitetyö, jossa on dokumentointi. Oikealla keskeytystyö, jossa on dokumentointi.

Kuvasta 6.7 huomataan, että uuden verkon käyttöönotto vaikuttaa lähinnä verkon palautuskytkentöihin. Työn mahdollistavat kytkennät ovat täysin samat kuin luvuissa 6.2.1 ja 6.2.2 on kuvattu. ”Työn suoritus”-kohdassa automaatiojärjestelmä poistaa DMS-järjestelmän tilapäiskomponentit työalueelta. Jokaisesta poistettavasta tilapäiskomponentista kirjautuu toimenpiderivi kytkentäohjelmaan, mikä kuvaa maastossa tehtäviä todellisia kytkentätoimenpiteitä. Masterajon tekijä kirjaa kytkentäohjelmaan näiden maastossa tehtävien toimenpiteiden kuvaukset. Samalla käyttöönotettava verkko kytkeytyy käytössä olevaan verkkoon. Purkautuva verkko irtoaa käytössä olevasta verkosta, koska se oli kiinnitetty väliaikaiskomponentein käytössä olevaan verkkoon.

Ennen kuin uusi verkko otetaan käyttöön, kytkentäohjelmaan kirjataan huomautusrivi maadoituserottimien aukaisemisesta ja erottimien ”auki”-tilan varmistamisesta sekä

poistetaan jälleenkytkennät käytöstä kaikilta syöttäviltä katkaisijoilta, jos poistaminen on mahdollista kaukokäytöllä. Kun maadoitukset ja jälleenkytkennät on poistettu, käyttönotettava verkko voidaan kytkeä jännitteiseksi. Uusi verkko otetaan käyttöön yksi erotinväli kerrallaan siihen erottimeen asti, jonka tilaaja on kirjoittanut aloitteelle siten, että viimeinen erotin jää ”auki”-tilaan. Kun viimeinen erotusväli on otettu käyttöön, kytkentätilanne voidaan palauttaa tilaan, jossa se oli ennen kytkentää. Kytchentätilanne palautetaan samoja erottimia ohjaamalla, joilla rengasyhteydet muodostettiin. Jos verkkoon jää keskeytys näiden erottimien ohjausten jälkeen, järjestelmä huomauttaa työn tarkastajaa. Jos työssä purkautuu verkkoa, on hyvin mahdollista, että työn tarkastaja joutuu muokkaamaan rengaskytkentöjen palautusta. Palautuskytkennöissä verkko palautetaan tyypillisesti erottimien normaalitilojen mukaiseen kytkentätilaan.

Haastattelututkimuksen mukaan järjestelmän pitää muodostaa kytkentäohjelma osissa. Tällöin automatiikalla voidaan toteuttaa kerralla joko koko kytkentäohjelma tai vain yksi osa kytkentäohjelmasta. Kytchentäohjelman osia ovat kuvien 6.4, 6.5 ja 6.7 mukaisten laatikoiden vaiheet. Osittainen muodostaminen tekee järjestelmästä joustavamman ja mahdollistaa automaatiotoimintojen hyödyntämisen kytkentäohjelmissa, jotka halutaan tehdä osin manuaalisesti. Tällaisia ohjelmia voivat olla esimerkiksi uuden verkon käyttöönotot, joissa verkkoa purkautuu, jolloin palautuskytkentöjen toteuttaminen automaatiolla voi olla haastavaa. Uuden verkon käyttöönotoissa verkkoon saatetaan vielä jättää tilapäiskomponentteja odottamaan toista kytkentää. Tällöin järjestelmän on haastava tunnistaa poistettavat tilapäiskomponentit.

6.2.4 Sähköasematyöt

Sähköasematyö tarkoittaa työtä, joka tehdään sähköasemalla. Tyypillisesti sähköasematyö vaatii laajoja korvauskytkentöjä. Sähköaseman rakenne vaikuttaa korvauskytkennän muodostamiseen. Rakenteen vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi kiskojen määrä ja rakenne sekä päämuuntajien määrä. Lisäksi korvauskytkentään vaikuttaa onko jännitteen-säädön tausta-asettelut käytössä vai onko jännitettä säädettävä käsin.

Yksinkertaisimmillaan sähköasema työssä täytyy korvata vain yksi johtolähtö ja monimutkaisimmillaan kaikki sähköaseman johtolähdöt täytyy korvata, jotta sähköaseman kisko saadaan jännitteettömäksi. Laajoja sähköasematöitä ovat esimerkiksi kojeiston saneeraus tai päämuuntajan huolto. Päämuuntajan huollon yhteydessä sähköaseman kisko voidaan syöttää viereiseltä sähköasemalta. Kojestossaneerauksen yhteydessä kaikki johtolähdöt korvataan viereisen sähköaseman kautta. Sähköasemakorvaukset vaikuttavat verkon toimitusvarmuuteen.

Kytchentäohjelman automatisoinnin kannalta yhden johtolähdön korvaaminen on yksinkertainen toteuttaa. Työn tilaaja merkitsee sähköaseman kaaviokuvaan alueen, joka on jännitteetön työn aikana, ja järjestelmä määrittelee keskeytystä rajaavat erottimet. Kytchentäohjelma toteutetaan edellä kuvatun mukaisesti.

Sähköasemakorvauksessa täytyy huomioida korvattavan verkon kuormitus ja sen jakautuminen korvaaville johtolähdöille. Sähköasemakorvauksessa järjestelmä tarkastelee korvaavan sähköaseman johtolähdön, päämuuntajan sekä korvattavan sähköaseman johtolähdön tehot ja kuormituskäyrät samalta päivämäärältä vuoden takaa sekä lähiaikojen kuormituksen trendin. Kuormituskäyrien perusteella järjestelmä määrittelee pystyykö korvaavan sähköaseman päämuuntaja syöttämään riittävästi tehoa korvattavaan johtolähtöön ja kestääkö korvaavajohtolähtö korvattavan johtolähdön kuormituksen. Käytännössä tähän tarvitaan myös sääennusteita, koska kuormitus yleensä kasvaa kylmällä säällä. Jos kuormitus on korvauskytkennässä lähellä raja-arvoa, työn tarkastajaa huomautetaan asiasta. Käytännössä sähköasemilla on rakennusvaiheessa suunnitellut korvaukseen tarkoitetut johtolähdöt, jotka ovat verkon käyttökeskuksen ja verkon suunnittelun tiedossa. Nämä tiedot lisätään käytöntukijärjestelmään, jotta korvauskytkennät voidaan toteuttaa näiden lähtöjen kautta. DMS-järjestelmään toteutetaan toiminto, jolla nämä runkojohdot saadaan korostettua, mikä helpottaa korvauskytkentöjen manuaalista suunnittelua.

Sähköaseman korvauskytkennän muodostamiseen vaikuttaa onko sähköaseman kisko käytössä vai ei. Tämä kerrotaan kytkentäsuunnittelujärjestelmälle aloitteen jännitteettömänä alueena. Jos kisko on käytössä, suuri osa sähköasemasta voidaan korvata johtolähdöllä, joka pystyy syöttämään sähköaseman kiskoa ja sitä kautta montaa yksittäistä johtolähtöä. Tällainen johtolähtö voidaan määritellä järjestelmään. Johtolähtö voi syöttää kiskon kautta niin montaa johtolähtöä kuin päämuuntajan ja syöttävän johtolähdön kuormitus kestää ja suojauksen toiminta-arvot mahdollistavat. Korvattavan sähköaseman kiskoa syöttävän katkaisijan jälleenkytkennät ja maasulkusuoja poistetaan käytöstä. Järjestelmän korvaa loput johtolähdöt kaukokäytettävien rengasyhteyksien avulla. Kytkentäohjelma toteutetaan siten, että korvaus aloitetaan pienikuormaisimmasta johtolähdöstä. Ensin korvataan johtolähdöt rengasyhteyksien avulla ja viimeiseksi korvataan lähdöt kiskon kautta. Erityisesti kaupunkialueen sähköasemakorvauskytkennöissä viimeiset johtolähdöt pyritään rengastamaan katkaisijoiden avulla suurten tasoitusvirtojen vuoksi, mikä on kuvattu kuvassa 3.2 (luku 3.1.2).

Jos kisko ei ole käytössä, kaikki johtolähdöt korvataan rengasyhteyksien avulla. Jos kisko ei ole käytössä työn tilaajaa ja tarkastajaa huomautetaan sähköaseman omakäytön huomioimisesta keskeytyksen aikana, jotta sähköaseman akkujärjestelmä ei vaurioidu korvauskytkennän aikana.

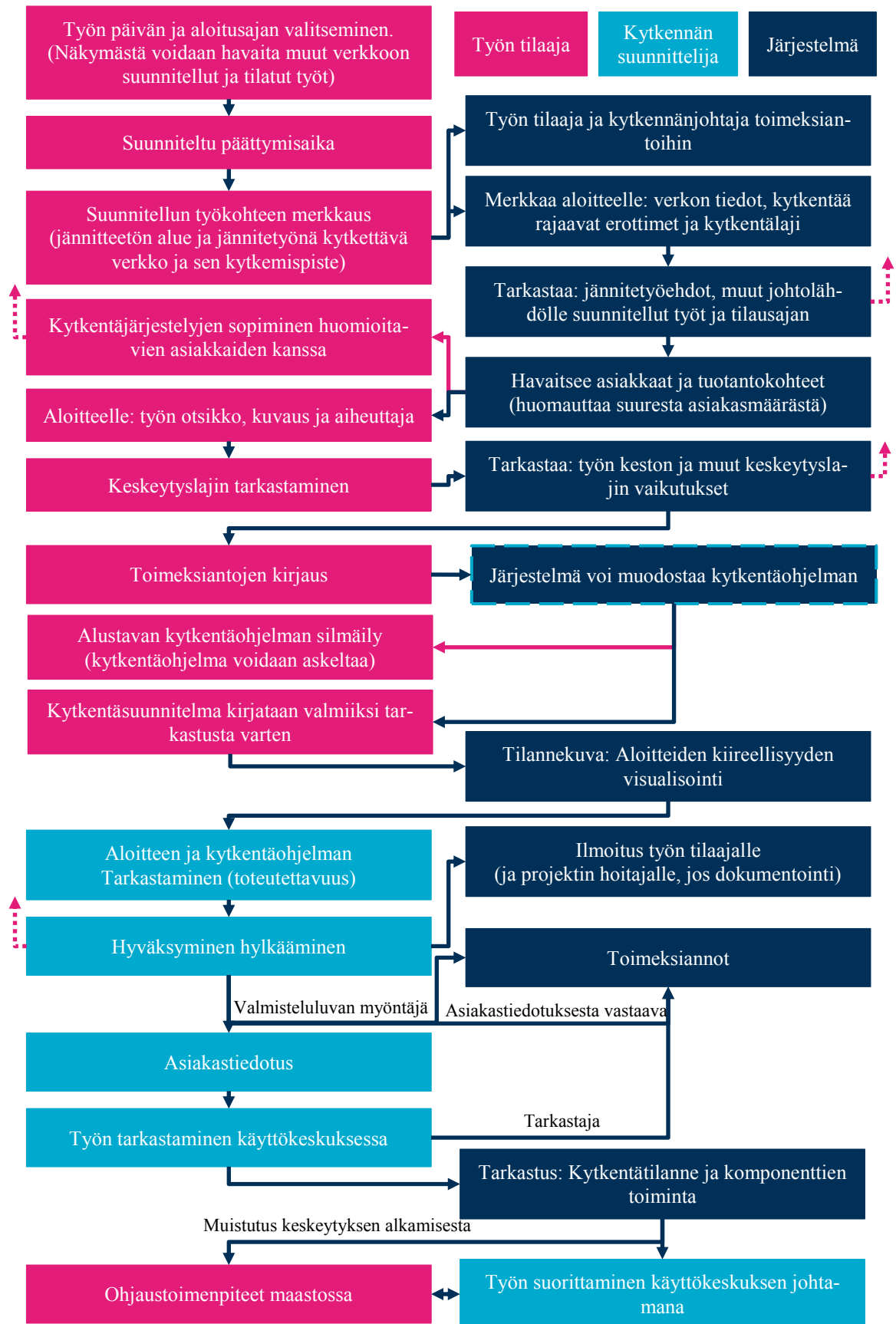
Sähköaseman korvauksessa huomioidaan verkon maadoitustavat. Sammutetussa verkossa järjestelmä ilmoittaa kytkentäohjelmassa kumpaa sammutuskelaa säädetään, jos korvattavan sähköaseman kisko on käytössä. Tyypillisesti korvaavan sähköaseman maadoituskelaa säädetään automaattilla ja korvattavan sähköaseman sammutuskela ohjataan käsikäytölle. Järjestelmä laskee riittääkö sammutuskelan säätövara koko sähköaseman korvaamiseen. Korvauskytkennässä maadoituksen huomiointia on kuvattu luvussa 3.1.6.

Haastattelututkimuksen perusteella kytkentäsuunnittelujärjestelmän tulee pystyä toteuttamaan kahdenlaisia sähköasemankorvauskytkentöjä: nopea korvauskytkentä, joka on tarkoitettu esimerkiksi vikojen aikaiseen korvaamiseen, sekä hidas korvauskytkentä, joka on tarkoitettu pidempiaikaiseen korvaamiseen. Nopeassa korvauskytkennässä hyödynnetään vain kaukokäyttöisiä erottimia ja olemassa olevia jakorajoja. Hitaassa korvauskytkennässä optimoidaan kytkentä huomioimalla myös korvausta syöttävien johtolähtöjen vikaantuminen. Kummassakin korvaustilanteessa kuorma-, laskenta- ja rengasehdojen tulee toteutua. Hitaassa korvauskytkennän huomioidaan lisäksi, että toimitusvarmuus heikkenee mahdollisimman vähän huomioimalla helposti vikaantuvat johtolähdöt esimerkiksi historiatietojen perusteella.

6.3 Uuden kytkentäsuunnitteluprosessin esittely

Uusi kytkentäsuunnitteluprosessi voidaan jakaa aloitteen kirjaamiseen, aloitteen tarkastamiseen, kytkentäohjelman suunnitteluun ja kytkentäohjelman tarkastamiseen. Työn tilaaja kirjaa kytkentäaloitteen, jonka järjestelmä tarkastaa. Lisäksi järjestelmä kirjaa keskeytystilastoinnin vaatimia tietoja aloitteelle. Järjestelmä muodostaa kytkentäohjelman aloitteen tietojen perusteella. Kytkentäaloitteessa ja -ohjelmassa huomioidaan kaikki kytkennän toteutettavuuteen vaikuttavat asiat. Käytönsuunnittelijan tehtävänä on tarkastaa automaattisesti muodostettu kytkentäohjelma, jota hän voi muokata, jos siihen on tarvetta. Kytkentäohjelman toteutettavuus tarkastetaan järjestelmän tarkastustoiminnon avulla vielä ennen kytkennän aloittamista. Kytkentäohjelmaa pystytään myös muokkaamaan manuaalisesti.

Kuvaan 6.8 on kuvattu uusi kytkentäsuunnittelujärjestelmän mukainen käytönsuunnitteluprosessi, jossa ei tehdä käyttöönottoitöitä. Käyttöönotto töiden prosessikuvaus on kuvattu liitteeseen F.



Kuva 6.8 Järjestelmäkehityksen mukainen kytkentäsuunnitteluprosessi.

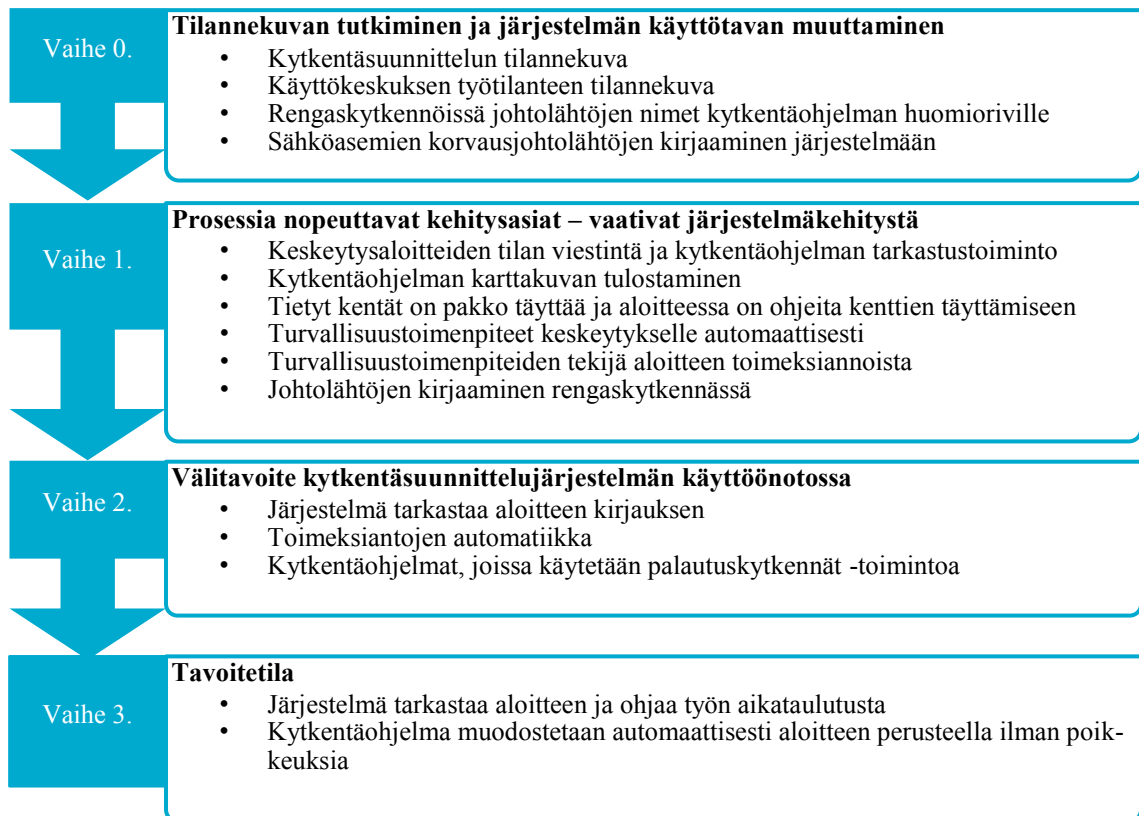
KytKentäsuunnittelujärjestelmän kytKentäsuunnitteluprosessissa työn tilaaja kirjaa aloitteelle kytkennän tiedot. Hän pystyy kirjaamaan aloitteelle tietoja vain kenttiin, jotka verkkoyhtiö vaatii, eli aloitteeseen ei voi kirjata vääriä kenttiä. Samalla kun työn tilaaja kirjaa aloitteelle tiedot, aloitteenkirjausjärjestelmä tarkastaa kirjausten oikeellisuuden. Työn tilaaja merkkää karttapohjalle työalueen, jonka perusteella järjestelmä suunnittelee kytkennän, kirjaa aloitteelle tietoja ja varmistaa kytKentäohjelman toteutettavuuden. Työn tilaajan tärkein tehtävä on merkitä työalue oikein. Lisäksi käyttöönottoissa on tärkeää, että työn tilaaja tarkastaa NIS-suunnitelman dokumentoinnin. Järjestelmän tekemien tarkastusten avulla aloitteiden laatu pyritään saamaan mahdollisimman hyväksi.

Järjestelmä muodostaa kytKentäohjelman heti aloitteen kirjaamisen jälkeen. Tämän ansiosta työn tilaaja voi tarkastella kytKentäohjelmaa heti aloitteen kirjaamisen jälkeen, jolloin esimerkiksi lisätyöryhmien tarve on helppo määritellä. KytKentäohjelman komponentit havaitaan kytKentäohjelman mukana tulostettavasta kartasta. Lisäksi kytKentäohjelmassa kerrotaan sen suorittamiseen kuuluva laskennallinen aika.

Uudessa kytKentäsuunnitteluprosessissa kytKentäsuunnittelijan tehtävänä on tarkastaa kytKentäohjelman toteutettavuus, tiedottaa asiakkaat mahdollisesta keskeytyksestä sekä tehdä käyttöönottoissa verkon dokumentointitehtävät. Käytönsuunnittelija hyväksyy tai hylkää kytKentäsuunnitelman, mistä lähetetään viesti työn tilaajalle. Käytönsuunnittelija voi tarvittaessa muokata kytKentäohjelmaa. KytKentäohjelman suunnittelun ja suorituspäivän välissä voi olla aikaa muutamia päiviä. KytKentäohjelma tarkastetaan ennen sen toteutusta. KytKentäsuunnittelujärjestelmän myötä verkkoyhtiöt saavat hyvät tarkastusväkalut kytKentäohjelmien toteutettavuuden tarkastamiseen.

6.4 KytKentäsuunnittelujärjestelmän käyttöönoton vaiheet

Kuvatus kytKentäsuunnittelujärjestelmän saavuttaminen vaiheittain on mahdollista. Tällä hetkellä kytKentäsuunnitteluprosessi on haastattelututkimuksen perusteella hyvä, mutta suurimmat hyödyt saadaan muokkaamalla kytKentäsuunnittelujärjestelmää. Tähän lukuun on kuvattu vaiheet jotka voidaan toteuttaa ennen kytKentäsuunnittelun automaation tavoitetilan saavuttamista. Vaiheet on kuvattu kuvaan 6.9.



Kuva 6.9 Uuden kytKentäsuunnitteluprosessin ja -järjestelmän käyttöönoton vaiheet.

Kuvaan 6.9 mukaisesti käyttöönoton vaihteita on neljä kappaletta, joista vaihe nolla ei vaadi järjestelmäkehitystä. Vaiheet yksi ja kaksi ovat välietappeja tavoitetilan saavuttamisessa, joka on viimeinen vaihe eli vaihe kolme.

6.4.1 Käyttötoiminnan tilannekuva

Tämän luvun toiminnot on kuvattu kuvan 6.9 vaiheeseen nolla. KytKentäsuunnittelusta toteutetaan tilannekuvanäkymä, josta voidaan havaita käyttökeskuksen ja kytKentäsuunnittelun työmäärä kyseisenä päivänä. Näkymästä voidaan havaita myös seuraavien päivien toteutettavat ja suunniteltavat työt. Lisäksi tilannekuvassa kerrotaan töiden tarkemmat tiedot, kuten työkohteen sijainti sähköaseman ja johtolähdön tarkkuudella, aloitusaika ja työn keskeytyslaji. Paikka- ja aikatietojen avulla voidaan havaita tulevien töiden päällekkäisyydet ja toimitusvarmuutta uhkaavat tilanteet. Sähköasemakorvaustöiden esittäminen tilannekuvanäkymässä helpottaa niiden huomioimista kytKentäsuunnittelun aikana. KytKentäsuunnittelua varten tilannekuvassa on kirjattuna aloitteen suunnittelun kiireellisyys esimerkiksi värikoodein. Kiireellisyydessä huomioidaan esimerkiksi asiakasviestintä, dokumentointipyyynnöt ja työn suorituspäivä.

Elenia Oy:ssä on toteutettu sisäiseen käyttöön suppea versio kytKentäsuunnittelun tilannekuvasta, joka kertoo kytKentäsuunnittelun ja käyttökeskuksen työkuorman suunniteltujen töiden osalta seuraavina viitenä työpäivänä. Tilannekuvan hyödyistä ja mahdolli-

suuksista voitaisiin toteuttaa opinnäytetyö. Opinnäytetyönä voitaisiin tutkia, millainen tilannekuvanäkymän tulee olla, miten tilannekuva kannattaa toteuttaa ja mihin asioihin sitä voidaan käyttää.

Tilannekuvaa voidaan käyttää esimerkiksi prosessinohjaamiseen, koska sen avulla nähdään mahdolliset ruuhkatilanteet verkkoyhtiön käyttökeskuksessa tai käytönsuunnittelussa. Ruuhkatilanteisiin voidaan varautua suunniteltujen kytkentöjen osalta ja niihin pystytään varautumaan lisähenkilöstöllä, töiden siirtämisellä tai urakoitsijakumppaneita voidaan tiedottaa kytkentäsuunnittelun ruuhkautumisesta ja suunnitteluajkojen venymisestä. Lisäksi käytönsuunnittelijoiden työtä voidaan priorisoida ja mahdollisia ylityötarpeita pystytään ennakoidaan. Käyttötoiminnan tilannekuva mahdollistaa erilaisten mittareiden kehittämisen kytkentäsuunnitelmien seurannasta. Mahdollisia mittareita voisivat olla esimerkiksi tietyn keskeytyslajin läpimenoaika tai kytkentäsuunnitelmien suunnittelun kesto. Tilannekuva mahdollistaa myös projektien priorisoinnin, koska sen avulla voidaan seurata ja ennakoita erikoisprojekteja sekä niiden lyhyen ajan toteumaa. Myös urakoitsijakumppaneilla tulee olla mahdollisuus nähdä kytkentäsuunnittelun tilannekuva. Tilannekuvasta urakoitsijakumppani pystyy tarkastelemaan alueensa muita töitä, mikä esimerkiksi helpottaa urakointialueen töiden yhdistämistä samaan keskeytykseen.

6.4.2 Tärkeät kehitysasiat

Tähän kappaleeseen on koottu kehitysasioita jotka parantaisivat käyttötoimintaa. Nämä asiat vaativat järjestelmäkehitystä ja ne on kuvattu kuvan 6.9 vaiheeseen yksi. Haastattelututkimuksen mukaan nämä asiat ainakin pitäisi toteuttaa, jos kytkentäsuunnittelujärjestelmää ei toteuteta.

Haastattelututkimuksen mukaan urakoitsijakumppanit tarvitsevat enemmän tietoa kytkentäohjelman suunnittelun edistymisestä. Kytkentäsuunnittelujärjestelmässä urakoitsijakumppanit saavat tiedon kytkentäaloitteen suunnittelun hyväksymisestä ja hylkäämisestä. Hyväksymisviestissä on liitetiedostona hyväksytty kytkentäohjelma sekä kytkentäalueen karttakuva, josta voidaan havaita kaikki ohjattavat komponentit ja niiden etäisyydet ja paikat. Lisäksi siirrettävien maadoituserottimien paikka kerrotaan yksiselitteisesti karttakuvassa, mikä lisää turvallisuutta. Myös Trimble UTG:n (*eng. Utility To Go*) hyödyntäminen voisi olla yksi vaihtoehto kytkentäsuunnitelman kuvaamiselle. Hylkäämisviestissä lukee hylkäyksen syy. Lisäksi verkkoyhtiön kaapelointi- ja sähköasemaprojektipäälliköt tarvitsevat tiedon projekteihinsa liittyvien kytkentäsuunnitelmien hyväksymisestä. Sähköasemaprojektipäälliköt tarvitsevat myös tiedon aloitteen kirjaamisesta DMS-järjestelmään. Viestintä kytkentäsuunnitelman hyväksymisestä ja hylkäämisestä tehostaa prosessia eniten ja on tärkeimpiä kehitysehdotuksia.

Käytönsuunnittelija pystyisi tekemään tiedotuksen sähköpostilla, mutta sähköpostin lähettäminen käsin jokaisesta kytkentäaloitteen hyväksymisestä ja hylkäämisestä on teho-

tonta ja aikaa vievää. Kytkentäsuunnitelman tilanteen viestittäminen voidaan toteuttaa järjestelmäkehityksen avulla. Hylätyt aloitteet korjataan nopeammin, mikä vähentää tyhjäkäyntiaikaa. Jos kytkentäohjelma lähetetään hyväksymisviestin mukana, työryhmällä on enemmän aikaa perehtyä kytkentäohjelmaan kuin DMS:stä tulostettaessa. Lisäperehtymisaika muodostuu siitä, että urakoitsijakumppaneilla on yleensä vain muutama työntekijä, joilla on oikeus käyttää DMS-järjestelmää.

Haastattelututkimuksen ja tilastojen perusteella urakoitsijakumppanit tekevät huolimattomuusvirheitä kirjatessaan kytkentäaloitteita. Huolimattomuusvirheitä voidaan vähentää muokkaamalla aloitteenkirjausjärjestelmää. Yksinkertaisin ratkaisu on muokata aloitepohjaa siten, että urakoitsija voi muokata vain tarvitsemiaan kenttiä eikä aloitetta voi kirjata suunniteltavaksi ennen kuin kaikki tarvittavat kentät on täytetty. Lisäksi joitain kenttiä täyttäessä järjestelmän antaa huomautuksen, jossa kerrotaan, mitä kentän täyttämässä pitää huomioida. Tällä tavalla tarvittavien kenttien kirjaaminen ei ole työn tilaajan muistin varassa vaan järjestelmä kertoo aktiivisesti, mitkä kentät täytetään ja mitä niihin täytetään. Tällaisessa järjestelmässä syntyy kuitenkin virheitä, koska järjestelmä ei tarkasta kirjausta. Toimeksiantojen kirjaamisessa järjestelmä rajaa mahdolliset toimeksiannot työn tilaajan nimimerkin perusteella työn tilaajan yrityksen henkilöstöön ja verkkoyhtiön henkilöstöön. Erikoistilanteita varten kaikki mahdolliset toimeksiantojen henkilöt tulee saada näkyviin toimeksiantojen listauksessa.

Kytkeäohjelman suunnittelusovelluksen kehittämisellä voidaan lisätä turvallisuutta ja tehostaa kytkentäsuunnittelua. Kytkentäohjelmassa järjestelmä kirjaa automaattisesti kaukokäytettäville kohteille toimenpiteen tekijäksi verkkoyhtiön käyttökeskuksen. Kun kytkentäohjelmassa valitaan toimenpiteen tekijää, tekijävalikossa lukee vain aloitteen toimeksiantoihin kirjattuja henkilöitä. Tämä nopeuttaa kytkentäohjelman suunnittelua.

Kytkeäohjelmien tarkastamista varten aloitedialogille kehitetään kytkentäohjelman tarkastusta avustava toiminto. Toiminnolla voidaan tarkastaa, onko verkko suunnitelman mukaisessa kytkentätilassa ja ovatko kaikki kytkentäohjelmassa ohjattavat komponentit toimintakuntoisia. Kytkentätilanteen tarkastaminen tarkoittaa käytännössä määräysten mukaisuuden varmistamista laskennalla. Tarkastustoiminnon tulee toimia DMS-järjestelmän taustalla, jotta tarkastaminen voidaan toteuttaa joustavasti. Jos työn tarkastaminen onnistuu DMS-järjestelmän taustalla, kytkentäohjelma voidaan varmistaa vielä juuri ennen kytkennän toteuttamista, mikä lisää turvallisuutta, koska kytkentä on varmasti toteutettavissa. Kytkentäohjelman automaattinen tarkastaminen nopeuttaa toimintaa käyttökeskuksessa ja paljastaa mahdolliset kytkentäohjelmien virheet nopeammin. Virheelliset suunnitelmat huomataan hyvissä ajoin, mikä parantaa turvallisuutta. Myös asiakashaitta pienenee, kun asiakaskeytystyöt ehditään perumaan tai muuttamaan hyvissä ajoin. Sähköisen viestinnän ansiosta sähköisen viestinnän piirissä olevat asiakkaat saavat työn peruuntumistiedon lähes reaaliajassa.

Kun kytkentäohjelmassa kytketään kaksi johtolähtöä renkaaseen, järjestelmä kirjoittaa automaattisesti kytkettävien johtolähtöjen nimet ja sähköasemat toiminnon huomautuskenttään. Kytkentäsuunnittelija pystyy lisäämään käytettyjen johtolähtöjen nimet manuaalisesti, mutta järjestelmän tekemä automaattinen kirjaus vähentää huolimattomuusvirheitä. Johtolähtöjen nimien kirjaaminen helpottaa kytkennän suorittamista, koska rengastettavien johtolähdöt ovat helpommin havaittavissa. Lisäksi kytkentäohjelman palautuskytkentätoimintoa muutetaan siten, ettei toiminto kopioi maadoituksen sulkemiskentän huomautustekstiä maadoituksen poistamiskenttään. Lisäksi jännitteettömyyden todentamisesta tehdään oma turvallisuustoimenpiteensä, jota myöskään ei kopioida ”palautuskytkennät”-toiminnalla. Kytkentäohjelmadialogilla tulee olla toiminto, jolla ohjelma kuitataan valmiiksi kaikkien kytkentätoimenpiteiden suorituksen jälkeen. Tällä hetkellä kytkentäohjelma katoaa näytöltä kun kaikki toimenpiteet on askellettu, minkä takia jokaiseen kytkentäohjelmaan kirjataan turha ”työ valmis”-rivi.

Kun kytkentäohjelmassa ohjataan keskeytyksen aiheuttava erotin auki, järjestelmä kirjaa turvallisuustoimenpiteet kytkentäohjelmaan automaattisesti. Käytännössä aina, kun ohjataan käsikäyttöerottimia auki, järjestelmä lisää automaattisesti turvallisuustoimenpiteen erottimen mekaanisesta lukituksesta, koska käsikäyttöisiä erottimia käytetään tyyppillisesti keskeytysalueen rajaamiseen eikä rengasyhteyksien aukaisuun. Tämä aiheuttaa välillä virhekirjauksia, mutta yleensä turvallisuustoimenpide kirjautuu oikein, mikä tehostaa suunnittelua. Järjestelmässä pitää olla mahdollisuus virhekirjauksen korjaamiseen. Lisäksi kytkentäohjelmaa suoritettaessa turvallisuustoimenpiteistä ei saa tulostua Trimble DMS-järjestelmään tekstiä, koska teksti vaikeuttaa topologian lukemista. Tekstin sijaan turvallisuustoimenpiteestä tulostuu helposti huomattava symboli, josta turvallisuustoimenpideteksti voidaan avata.

DMS-järjestelmään kirjataan sähköasemakorvauksissa kiskon korvaamiseen käytetyt johtolähdöt, jotta korvaavat lähdöt ovat helposti löydettävissä esimerkiksi vikatilanteita varten. Lisäksi kehitetään toiminto, joka korostaa käytetyt runkojohdot ja indikoi niiden kuormituksen esimerkiksi värikoodein. Tämä helpottaa sähköasemakorvausten suunnittelua ja verkon toimitusvarmuuden tarkkailua.

6.4.3 Välitavoite

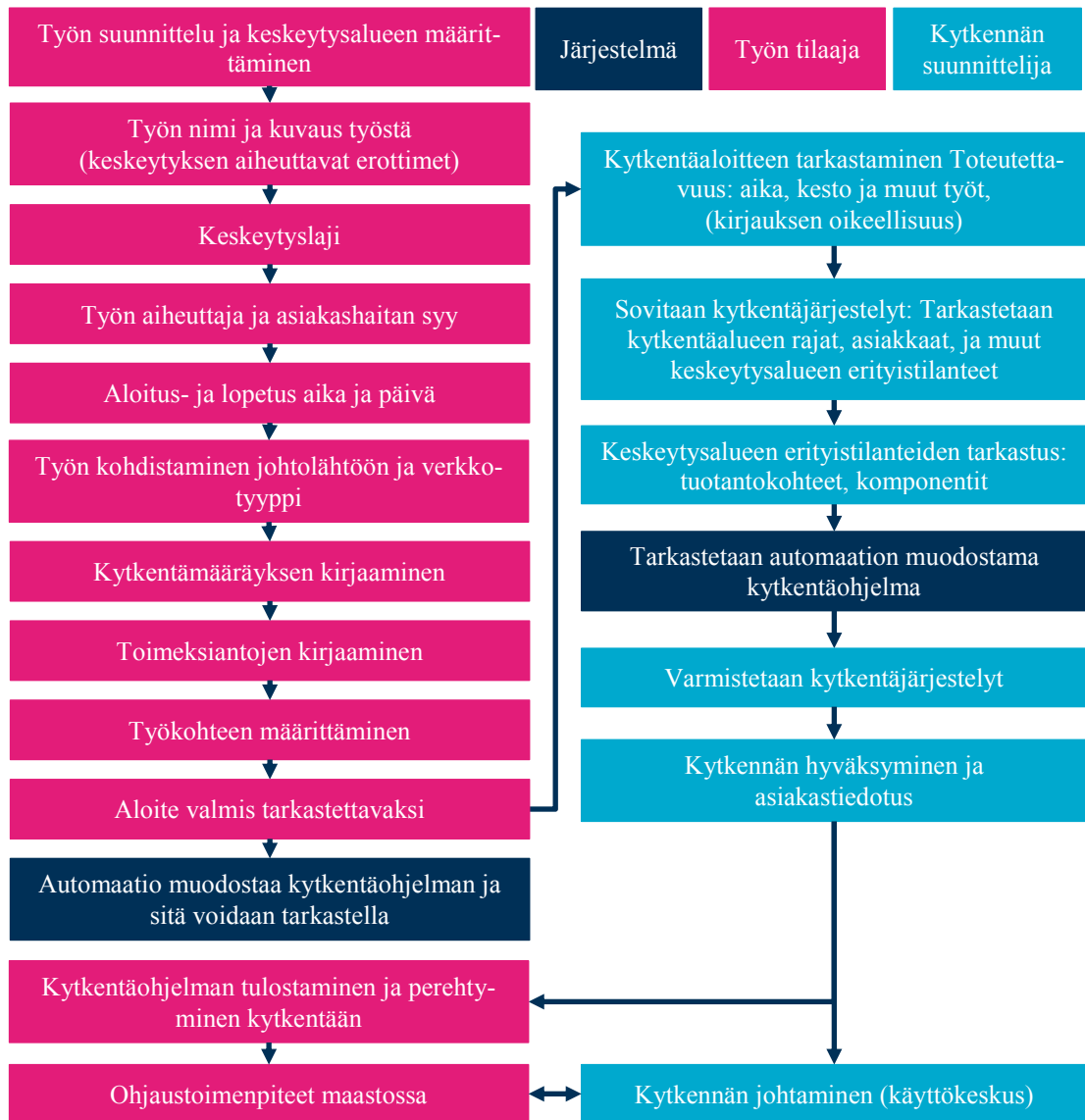
Tähän kappaleeseen on koottu kytkentäsuunnittelujärjestelmän tavoitetilan saavuttamisen välitavoite. Välitavoitteen asiat on kuvattu kuvan 6.9 vaiheeseen kaksi.

Vaiheessa kaksi aloitteelle kerrotaan työn vaatima jännitteetön alue sekä jännitetyön vaatimat asiat. Aloite ei saa hyväksyä sisäisiä ristiriitoja. Aloitteen sisäisten kirjausten määrittävänä tekijänä on keskeytyslaji, jonka tässä vaiheessa määrittää työn tilaaja. Lisäksi järjestelmä kirjaa toimeksiantoja automaattisesti: työn tilaaja kirjataan työn tilaajasta ja valmisteluvan myöntäjä työn hyväksyjästä. Aloitteenkirjausjärjestelmä tarkastaa aloitteen sisäiset ristiriidat, joko kirjauksen aikana tai kun aloite kirjataan valmiiksi.

Ristiriitaisuuden tarkastaminen yhdessä pakollisten kenttien kanssa vähentää huolimattomuusvirheitä ja parantaa aloitteiden laatua.

Tässä vaiheessa järjestelmän kannalta aloitteen tarkastukset mahdollistavat kytkentäohjelmien automaattisen toteuttamisen. Tässä vaiheessa automaatio pystyy toteuttamaan kaikki työt, joissa hyödynnetään Trimble DMS-järjestelmän ”palautuskytkennät”-toimintoa. Näitä töitä ovat keskeytys- ja jännitetyöt, joissa ei ole dokumentointia. Automaatiolla ei välttämättä voida vielä toteuttaa haastavia sähköasemakorvauksia, koska niissä täytyy tarkastella kattavasti verkon kuormitusten historiatietoja. Jos kytkentäohjelman automaatio toteutetaan osissa, myös laajoissa sähköasematöissä voidaan hyödyntää ainakin rengasyhteystoimintoa. Erityisesti rengasyhteyksien automaattinen etsiminen on hyödyllinen, koska laskentaan ja erilaisten vaihtoehtojen tarkasteluun kuluu paljon aikaa.

Jos ei oteta huomioon toista tutkimuskysymystä eli aloitteen kirjausten virheiden vähentämistä ja toteutetaan vain automaatio kytkentäohjelmansuunnitteluun, niin kytkentäsuunnitteluprosessin muutos on paljon vähäisempi. Aloitteen tarkastusten puuttumisen vuoksi iso osa aloitteista hylätään (Luku 1 taulukko 1.2) ja järjestelmässä ei ole aikataulun suunnitteluun ohjaavaa vaikutusta. Kuvaan 6.10 on kuvattu kytkentäsuunnitteluprosessi, jossa vain kytkentäohjelman suunnittelu on automatisoitu. Tätä kuvaa voidaan verrata kuvaan 6.8, johon on kuvattu aloitteen tarkastavan kytkentäsuunnittelujärjestelmän prosessikuva.



Kuva 6.10 KytKentäsuunnitteluprosessi, jossa automaatiota hyödynnetään vain kytKentäohjelman muodostamiseen, vertaa kuvaan 6.8.

Kuvasta 6.10 huomataan, että automaatiota ei hyödynnetä tehokkaasti. Kuitenkin tällainenkin automaation lisääminen hyödyttää sekä työn tilaajaa että verkkoyhtiötä. Työn tilaaja näkee suunnitellun kytKentäohjelman aikaisin ja voi tarkastella esimerkiksi työryhmien tarvetta. Verkkoyhtiön käytönsuunnittelun työ tehostuu, kun käytönsuunnittelijalla on paremmat työkalut kytKentäohjelman suunnitteluun. Voidaan kuitenkin todeta, että tällainen järjestelmä ei hyödynnä riittävässä määrin järjestelmää eikä vastaa tutkimuskysymyksiä tai haastattelututkimuksessa ilmitulleita tarpeita.

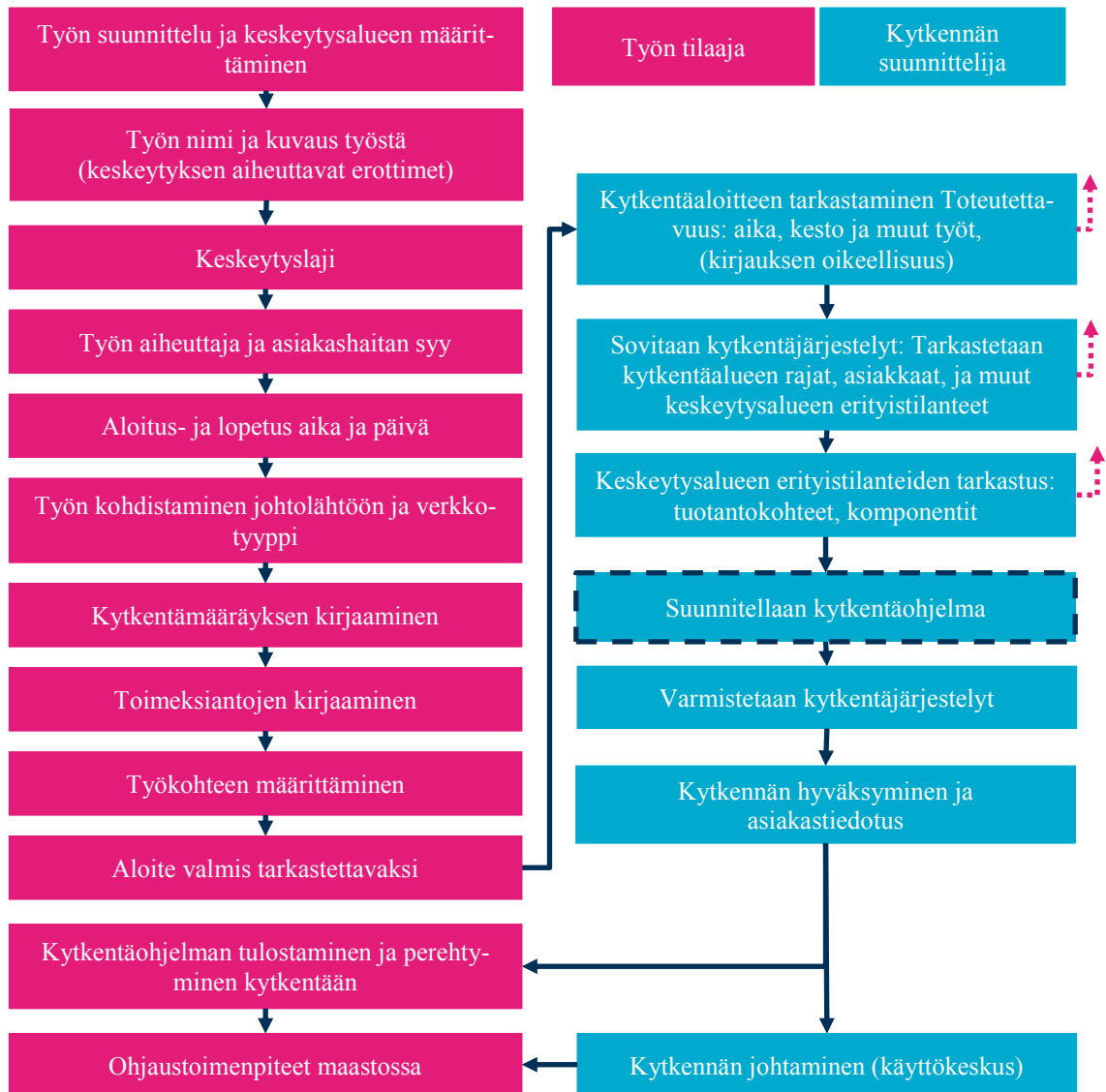
7 UUDEN KYTKENTÄSUUNNITTELUPROSESSIN ARVIOINTI

Aloitteen kirjaamiseen lisätty toiminnallisuus ja kytkentäohjelman automaattinen muodostaminen muuttavat kytkentäsuunnitteluprosessia. Ihmisten työpanos voidaan siirtää toisteisista työtehtävistä haastavampiin tehtäviin, joihin on prosessin muutoksen ansioista enemmän aikaa. Kytkentäsuunnitteluprosessin ja -järjestelmän muuttaminen vaikuttavat kytkentäsuunnitelman läpimenoaikaan, laatuun ja turvallisuuteen.

Kytkentäsuunnitteluprosessin muutoksen hyötyjä voidaan tarkastella vertaamalla uutta ja nykyistä prosessia. Lisäksi muutoksia tarkastellaan teema- ja lomakehaastatteluiden sekä mittauksen perusteella. Muutosten analysoinniksi täytyy tehdä oletuksia järjestelmän toiminnasta, koska kuvatus kaltaista järjestelmää tai kytkentäsuunnitteluprosessia ei ole käytössä missään muussa verkkoyhtiössä eikä uutta järjestelmää pystytä testaamaan. On myös mahdollista, että uusi kytkentäsuunnitteluprosessi tuo mukanaan uusia haasteita, joita on vaikea havaita etukäteen.

7.1 Nykyisen ja uuden kytkentäsuunnitteluprosessin vertailu

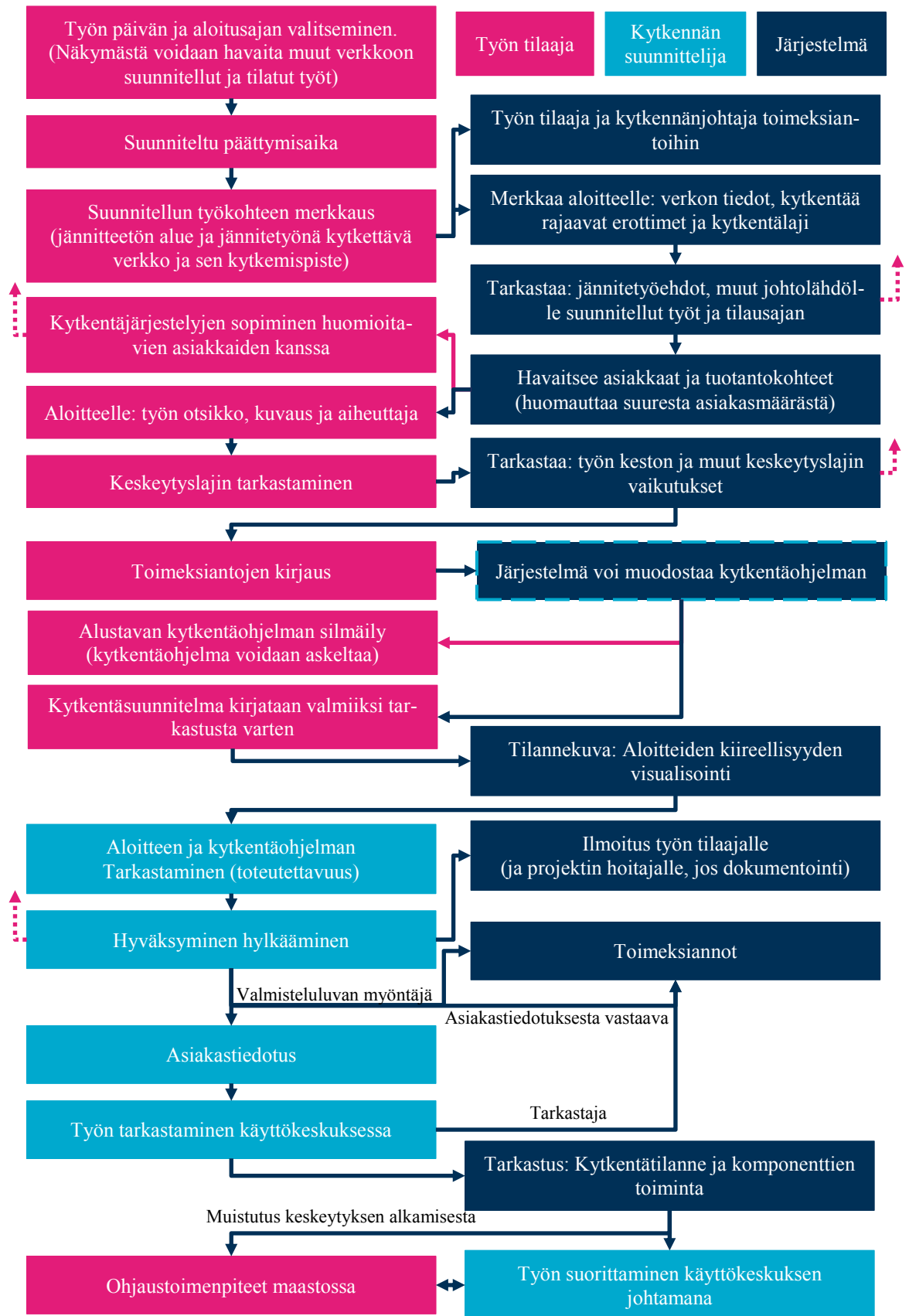
Nykyinen kytkentäsuunnitteluprosessi ja uusi tässä työssä kuvattu kytkentäsuunnitteluprosessi eroavat toisistaan paljon. Nykyisessä prosessissa järjestelmä ei avusta aloitteen kirjaamista tai kytkentäohjelman suunnittelua. Kummankin toiminnon onnistuminen on täysin kiinni ihmisen ammattitaidosta ja osaamisesta. Uudessa kytkentäsuunnitteluprosessissa taas järjestelmä ohjaa ja avustaa aloitteen kirjaamista sekä suunnittelee kytkentäohjelman. Nykyinen kytkentäsuunnitteluprosessi on kuvattu kuvaan 7.1 ilman erillistä kuvausta kytkentäohjelman suunnittelusta.



Kuva 7.1 Tällä hetkellä käytetty kytkentäsuunnitteluprosessi. Kytkentäohjelman suunnittelu vaihe on korostettu katkoviivalla. (Elenia Oy, 2016b)

Kuvassa 7.1 on kuvattu työn tilaajan kytkentäaloitteen kirjausprosessi ja kytkennän suunnittelijan tekemä aloitteen tarkastaminen. Kytkentäohjelman suunnittelun vaihe on korostettu katkoviivalla. Aloitteen kirjaamisen epäonnistuminen hidastaa kytkentäsuunnitteluprosessia. Jos kytkentäaloite on riittävän laadukkaasti kirjattu, käytönsuunnittelija hyväksyy aloitteen ja suunnittelee kytkentäohjelman. Nykyinen prosessi on suoraviivainen ja työn tilaaja saa palautteen aloitteen kirjaamisesta, vasta kun on lähettänyt aloitteen tarkastettavaksi. Lisäksi nykyisessä järjestelmässä ei ole järjestelmän viestintää kytkentäsuunnitelman valmistumisesta tai hylkäämisestä, mikä voi aiheuttaa viivästystä työn toteuttamiseen.

Uudessa kytkentäsuunnitteluprosessissa taas järjestelmä tarkastaa kytkentäaloitteen jo kirjauksen aikana eikä aloitteeseen voi kirjata kohtia, joita verkkoyhtiö ei ole määrittänyt kirjattavaksi. Lukujen 6.1 ja 6.2 kytkentäsuunnittelujärjestelmän mukainen kytkentäsuunnitteluprosessi on kuvattu kuvaan 7.2.



Kuva 7.2 Järjestelmäkehityksen mukainen kytkentäsuunnitteluprosessi.

Kun verrataan kuvia 7.1 ja 7.2 huomataan, ettei kuvan 7.2 mukainen kytkentäsuunnitteluprosessi ole enää suoraviivainen, vaan kytkentäsuunnittelujärjestelmä tarkastaa ja kirjaa tietoja aloitteelle. Suurin osa aloitevaiheen tarkastustehtävistä on siirretty kytkentäsuunnittelujärjestelmän vastuulle ja virhekirjauksista huomautetaan työntilaajaa välittömästi, mikä minimoi virheelliset aloitteet. Lisäksi aloitteen kirjaamisen yhteydessä järjestelmä aikatauluttaa kytkentäsuunnitelmia, minkä avulla pyritään välttämään käyttötoiminnan ruuhkatilanteet. Aikatauluttamisen avulla voidaan muodostaa käyttötoiminnan tilannekuva suunniteltujen töiden osalta, mikä parantaa käyttötoiminnan seurantaa.

Tärkeänä muutoksena on työalueen merkitseminen verkkoon, mikä on uudessa prosessi työn tilaajan tärkeimpiä tehtäviä, koska työalueen avulla järjestelmä voi toteuttaa verkon tarkastuksia. Nykyisessä prosessissa työalue on kerrottu työaluetta rajaavien erottimien avulla, mikä on ollut haastattelututkimuksen mukaan haastavaa työn tilaajille.

Uudessa prosessissa kytkentäjärjestelyt on siirretty työn tilaajan vastuulle, koska ne vaikuttavat työn aikataulutukseen. Kytkejärjestelyt tarkoittavat tässä yhteydessä keskeytysajan sopimista tuotantokohteiden tai suurten asiakkaiden kanssa. Aikataulutusta varten tarvitaan tieto työryhmien aikataulusta ja asiakkaalle sopivasta keskeytysajasta. Työn tilaaja ja asiakas voivat sopia kytkentäjärjestelyistä keskenään, mikä tehostaa toimintaa verrattuna nykyiseen kytkentäsuunnitteluprosessiin. Kytkejärjestelyjen sopiminen ei kuitenkaan ole kriittinen asia prosessikehityksen kannalta.

Työn tilaajan toimintaan vaikuttaa myös se, että kytkentäohjelma voidaan muodostaa aloitteen tiedoista automaattisesti. Kytkejäohjelmaa voidaan siis tarkastella paljon aikaisemmassa vaiheessa, kuin nykyisessä prosessissa. Toisaalta täytyy muistaa että kytkentäohjelma pitää tarkastaa verkkoyhtiössä. Tulevaisuudessa tämä saattaa vaikuttaa kytkentöjen tilausaikoihin.

Uudessa kytkentäsuunnitteluprosessissa tarkastetaan kaikki kytkentäsuunnitelmat kahden kertaan verrattuna nykyisen prosessin yhteen kertaan. Ensin käytönsuunnittelija tarkastaa kytkentäohjelman ja hyväksyy sen toteutettavaksi, sitten käytönvalvoja tarkastaa kytkentäsuunnitelman työn toteutus päivänä. Lisäksi järjestelmässä on avustavia toimintoja kytkentäohjelman tarkastamiseen. Uuden kytkentäsuunnittelujärjestelmän etuna on myös heräteviestintä kytkentäsuunnitelman valmistumisesta tai hylkäämisestä.

Uusi kytkentäsuunnitteluprosessi muuttaa käytönsuunnittelijan työnkuvaa kytkentöjen suunnitteluun painottuvista tehtävistä kytkentäsuunnitelmien tarkastamiseen ja käytönsuunnitteluun. Kuitenkin uudessa kytkentäsuunnitteluprosessissa tarvitaan käytönsuunnittelijoita käyttöönottoitöiden dokumentoinnin tarkastamiseen ja toteuttamiseen, sillä uusi prosessi ota kantaa dokumentoinnin toteuttamiseen. Lisäksi käyttöönottotyöt tulevat luultavasti monimuotoisuutensa vuoksi vaatimaan manuaalista kytkentäohjelman suunnittelua.

7.2 Turvallisuuden kehittyminen

Kytkeäsuunnittelun turvallisuuden kehittyminen voidaan jakaa kolmeen osaan: järjestelmien luettavuus, prosessin tehostuminen ja prosessikuri. Uusi kytkentäsuunnittelu-prosessi vaikuttaa kahteen jälkimmäiseen asiaan. Toisaalta, jos prosessi tehostuu, myös järjestelmien luettavuuden kehittämiseen on enemmän aikaa.

Prosessin tehostuminen vaikuttaa turvallisuuteen siten, että käytönsuunnittelijoiden työ-aika siirtyy suunnittelutehtävistä tarkastus- ja valvontatehtäviin. Valvonnan lisääntymisen myös johtaa turvallisuushavaintojen lisääntymiseen, kun verkon tarkkailuun ja kuvien luettavuuden parantamiseen on enemmän aikaa. Kytkeäsuunnitelmien aikataulut-taminen ja käyttötoiminnan tilannekuva helpottavat suunniteltujen keskeytyksien aiheuttamia käyttökeskuksen ruuhkatilanteita, mikä vähentää töiden viivästymistä ja mahdollisuuksia virheisiin.

Myös urakoitsijakumppanit hyötyvät kytkentäsuunnitelmien nopeista läpimenoajoista, koska heillä on enemmän aikaa tutustua kytkentäohjelmaan ennen varsinaisen työn suorittamista, mikä parantaa turvallisuutta. Lisäksi kytkentäsuunnittelujärjestelmän tuottamasta kytkentäohjelmasta saadaan karttakuva työn tilaajalle koko kytkentäalueesta, jossa on kerrottuna ohjattavat komponentit ja ennen kaikkea päätyömaadoitusten asennus-paikat ja vaaditut poikkipinta-alat. Tämä lisää maastossa tehtävän työn turvallisuutta.

Prosessikuri tarkoittaa, että asiat tehdään sovittujen toimintatapojen mukaisesti. Proses-sikuri paranee, koska kytkentäsuunnittelussa käytetyt huomautustekstit ja kytkentäoh-jelmien suunnittelutavat yhtenäistyvät. Yhtenäiset kytkentäohjelmat ja huomautustekstit helpottavat kytkentäohjelman tarkastamista ja suorittamista. Haastattelututkimuksen mukaan automaattisesti muodostettu kytkentäohjelma on myös helpompi tarkastaa kuin itse suunniteltu kytkentäsuunnitelma.

Kytkeäohjelmaa suunniteltaessa voi tapahtua inhimillisiä virheitä, jotka aiheuttavat turvallisuusriskejä työtä suoritettaessa. Nämä virheet pitää huomata tarkastuksissa. Ti-lastoinnissa ja haastattelututkimuksessa havaittuja yleisimpiä inhimillisiä virheitä on koottu taulukkoon 7.1.

Taulukko 7.1 Vuonna 2017 tapahtuneita yleisimpiä inhimillisiä virheitä kytkentäohjel-man suunnittelussa.

Inhimilliset virheet
Ei huomioida erikoiskomponentteja
Ei tarkasteta johtolähtöjen suojausten toteutumista laskennalla
Ei tarkasteta jännitetyöehtoja
Jälleenkytkentöjen ottaminen pois väärältä johtolähdöltä tai katkaisijalta
Kaikkia syöttösuuntia ei ole varmistettu auki
Turvallisuustoimenpiteille tai ohjaustoimenpiteelle on kirjattu väärä suorittaja

Käytännössä kaikki taulukon 7.1 mukaiset inhimilliset virheet voidaan välttää kytkentäsuunnittelujärjestelmän oikealla määrittelyllä, koska järjestelmä toteuttaa aina sille määritellyt asiat.

Haastattelututkimuksen mukaan kytkentäsuunnittelujärjestelmän turvallisuushaasteena on se, että siihen luotetaan liikaa eikä sen muodostamia kytkentäohjelmia tarkasteta kunnolla. Tällainen uhka on mahdollinen varsinkin, jos kytkentäsuunnittelujärjestelmän muodostamissa kytkentäohjelmissa on vain vähän korjattavaa pitkällä aikavälillä. Itohin (2011) mukaan liiallista luottamusta automaatioon voidaan torjua kertomalla käyttäjille tarkasti, millaisiin tilanteisiin automaatio soveltuu ja mitä se pystyy tai ei pysty tekemään (Itoh, 2011).

Taulukkoon 7.2 on koostettu tärkeimmät uuden kytkentäsuunnitteluprosessin aiheuttamat muutokset jaoteltuna työn tilaajan, kytkennän suunnittelija ja asiakkaan muutoksiin.

Taulukko 7.2 Uuden kytkentäsuunnitteluprosessin aiheuttamat muutokset käyttötoiminnassa.

	Työn tilaaja / Urakointiyhtiö	Kytkenänsuunnittelija / Verkkoyhtiö	Asiakas
Prosessin tehostuminen	Aloitteen kirjaaminen helpottuu ja avustaa töiden aikataulutusta	Aloitteiden laatu paranee ja niiden tarkastaminen poistuu	Aina pienin mahdollinen keskeytyksen aiheuttama haitta
	Aloitteiden hylkääminen vähenee	Kytkenäsjärjestelyt siirtyvät työn tilaajalle	Keskeytysjärjestelyistä sopimisen kehittäminen
	Heräteviestintä aloitteiden tilasta	Kytkenäsohjelmien suunnittelu vähenee	
	Työryhmän ajankäyttöä ennustetaan kytkentäohjelmassa	Työkalut kytkentäohjelmien tarkastamiseen	
	Kytkenäsohjelmat silmäiltävänä aloitteen kirjauksen jälkeen	Käyttötoiminnan tilanteen hallinta paranee – ruuhkatilanteet vähenevät	
Turvallisuus	Maadoitusjohtimien paikat ja poikkipinta-ala	Enemmän aikaa järjestelmien ja verkon tarkkailuun	
	Kartta, josta havaitaan ohjattavat komponentit	Inhimilliset virheet vähenevät	
	Työalueen merkitseminen järjestelmälle yksiselitteisesti	Enemmän aikaa järjestelmien dokumentoinnin kehittämiseen	
	Enemmän aikaa kytkentäohjelman tutustumiseen	Kytkenäsuunnitelmien tarkastaminen korostuu	
		Enemmän turvallisuushavaintoja	

Taulukosta 7.2 havaitaan että uusi kytkentäsuunnitteluprosessi aiheuttaa paljon muutoksia niin verkkoyhtiöillä kuin urakointiyhtiöissä. Kytkenäsuunnitteluprosessin muutos ei vaikuta juurikaan verkon asiakkaisiin. Prosessin tehostuminen on todennettu seuraavassa luvussa.

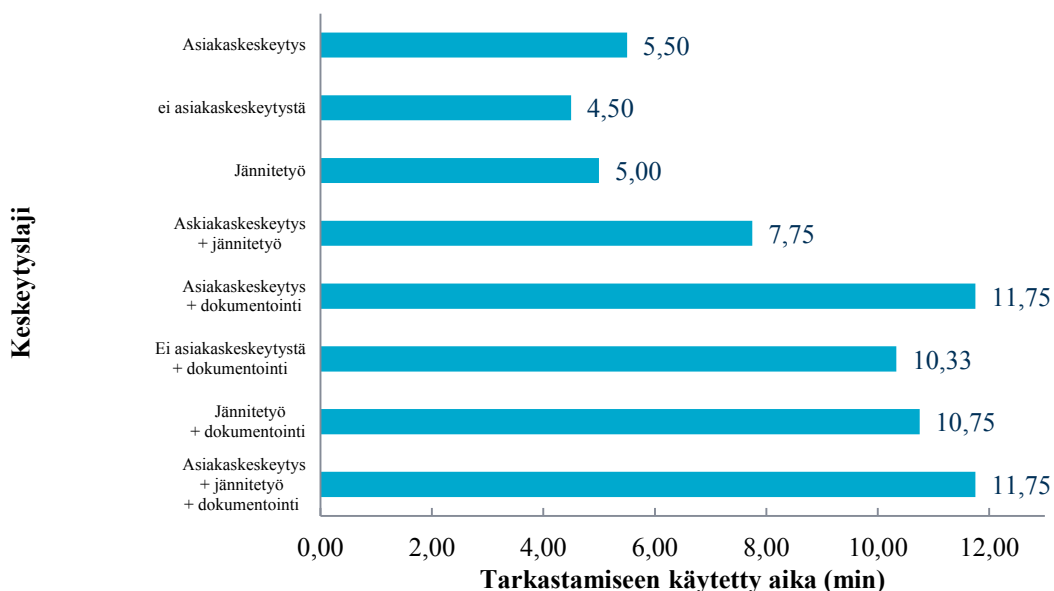
7.3 Kytkenäsuunnitteluprosessin tehostuminen

Kytkenäsuunnitteluprosessin tehostumista tutkittiin lomakehaastattelun ja mittausten avulla, joiden toteutus on kuvattu luvuissa 4.2 ja 4.3. Prosessin tehostumista tarkastellaan nykyiseen prosessiin kuluvan ajan avulla. Kun tiedetään, kauanko aikaa kuluu ny-

kyiseen prosessiin, voidaan olettaa, paljonko aikaa siirtyy uudessa kytkentäsuunnittelu-prosessissa järjestelmän tehtäväksi, jolloin saadaan tulokseksi säästynyt työaika. Tämä aika on hyvin viitteellinen, mutta sitä voidaan käyttää uuden kytkentäsuunnitteluprosessin tehostumisen arviointiin.

Ensimmäiseksi tarkastellaan kytkentäaloitteen tarkastamiseen kuluva aikaa. Aloitteen tarkastaminen jaettiin kahteen osaan: tarkastukseen ja mahdollisen virheen korjaamiseen. Aloitteet jaoteltiin keskeytyslajin ja virhetyypin mukaan. Yleistuloksena lomakehaastattelun avoimissa vastauksissa korostettiin, että aloitteen tarkastamiseen käytetty aika vaihtelee.

Lomakehaastattelun aineiston analysoinnissa käytettiin vastausvaihtoehtojen skaalan yläpäättä. Jos lomakkeelle oli vastattu arvo ”>10 min”, sen suuruus tulkittiin avointen vastausten perusteella. Näiden minuuttiaikojen avulla on laskettu käytönsuunnittelijoiden aloitteen tarkastukseen kuluvan ajan keskiarvo jaoteltuna keskeytyslajin mukaan, mikä on kuvattu kuvaan 7.3.



Kuva 7.3 Aloitteen tarkastamiseen kuluva keskimääräinen aika.

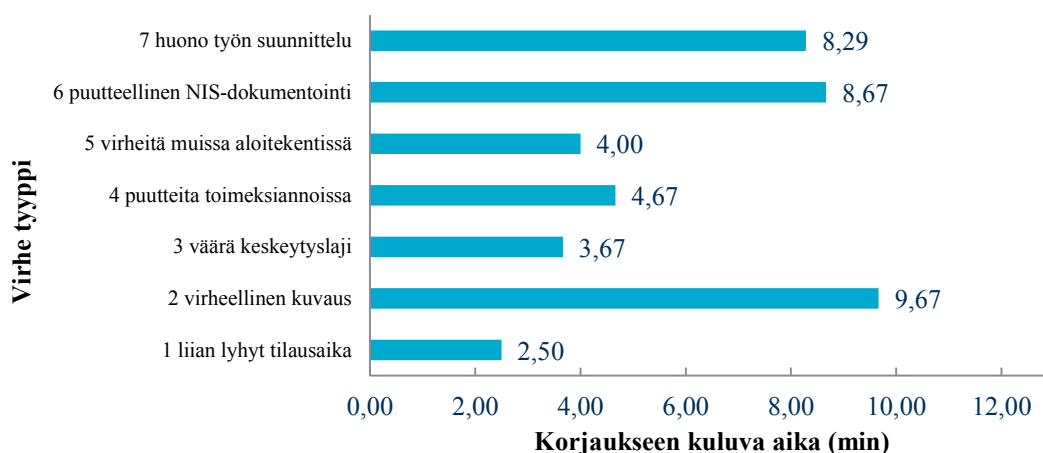
Kuvasta 7.3 huomataan, että aloitteet voidaan jakaa keskeytyslajin perusteella karkeasti kahteen ryhmään: töihin, joissa ei ole dokumentointia ja töihin, joissa on dokumentointi. Dokumentointitöiden aloitteiden tarkastamiseen kuluu noin yksitoista minuuttia ja muihin töihin noin viisi minuuttia paitsi ”Asiakaskeskeytyks + jännitetyö”, johon kuluu aikaa noin kahdeksan minuuttia. Aloitteiden jakaantuminen kahteen ryhmään oli odotettua, koska dokumentoinnin tarkastaminen vaatii NIS-järjestelmän käyttöä, mikä vie aikaa.

Lomakehaastattelun tuloksissa oli yllättävää se, että vastaajat kokevat ”asiakaskeskeytyks + jännitetyö” pidentävän tarkastusaikaa verrattuna, mutta kun tähän lisätään dokumentointi, niin aloitteen tarkastamiseen kuluva aika ei enää. Tämä viittaa siihen, että lomake-

keessa olisi pitänyt olla enemmän vastausvaihtoehtoja pitkille tarkastusajoille. Lomakehaastattelun ajat olisi pitänyt jakaa suuremmalla laajuudella, jotta kysymyksen asettelu ei olisi ohjannut vastauksia lyhyille ajoille, niin kuin se vaikuttaa ohjanneen. Tämä on normaalia sillä vastaajat pyrkivät Tiaisen (2014) mukaan täyttämään haastattelun olutukset. vastaajat olettivat lyhyiden tarkastusaikojen olevan haastattelun tarkoitus, koska mitattiin työhön käytettyä aikaa.

Aloitteiden tarkastamiseen kulunutta aikaa pyrittiin myös todentamaan mittausten avulla. Mitatut aloitteet eivät olleet saman keskeytyslajin töitä ja niiden määrä oli pieni, mikä tarkoittaa, ettei mittauksista saatu riittävän suurta otantaa lomakehaastattelun vastauksen todentamiseen.

Virheen korjaamiseen käytetyn ajan tarkastelussa käytettiin lomakehaastattelun skaalan yläpäättä. Aloitteiden virheiden korjaamiseen kulunut keskiarvoinen aika on kuvattu kuvan 7.4. Korjausaikaan on otettu huomioon mahdollinen yhteydenpito työn tilaajan kanssa.



Kuva 7.4 KytKentäaloitteen korjaamiseen kuluva keskiarvoinen aika, kun aloitteessa on virhe.

Kuvasta 7.4 huomataan, että virheet voidaan jakaa karkeasti kahteen tyyppiin: nopeasti korjattaviin ja hitaasti korjattaviin virheisiin. Hitaasti korjattavia virheitä ovat: virheellinen kuvaus, puutteellinen NIS-dokumentointi ja huono työn suunnittelu. Nopeasti tarkastettavia virheitä ovat: liian lyhyt tilausaika, väärä keskeytyslaji, puutteita toimeksiannoissa ja virheitä muissa kentissä. Nopeasti korjattavat virheet voidaan havaita suoraan aloitedialogilta, kun taas hitaasti korjattavat virheet vaativat ymmärrystä työn teko-tavasta tai muiden järjestelmien avaamista. Virheiden jakaantuminen nopeasti ja hitaasti korjattaviin virheisiin vastaa tutkimuksen alkuoletuksia.

KytKentäohjelman suunnitteluun kuluvan ajan mittaamisella voidaan arvioida, paljonko todelliseen kytKentäohjelman suunnitteluun kuluu aikaa. Tutkimuksen aikana saatiin mitattua yhteensä 16 kytKentäohjelman suunnittelua, joista seitsemässä pystyttiin mit-taamaan koko kytKentäsuunnitteluprosessisiin kulunut aika. Seitsemän työn otanta on

liian pieni nykyisen kytkentäsuunnitelmien läpimenoaikojen tarkasteluun. Taulukkoon 7.3 on kuvattu kytkentäohjelmien suunnitteluun kuluneet keskiarvoiset ajat jaoteltuna keskeytyslajin mukaan.

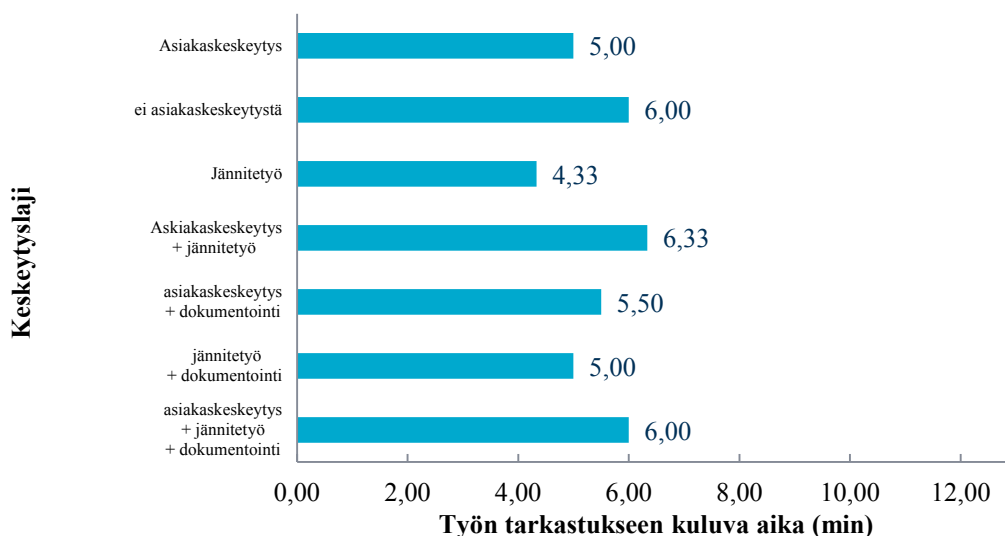
Taulukko 7.3 Tutkimuksessa mitatut kytkentäohjelmien suunnittelu määrät ja niihin käytetty keskimääräinen aika.

KytKentälaji	Keskiarvo aika (min)	
	Määrä	
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä	1	4,57
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä + dokumentointi	4	12,43
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä	1	9,00
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä + dokumentointi	3	8,16
Oman verkon suunniteltu keskeytys	3	4,40
Oman verkon suunniteltu keskeytys + dokumentointi	3	25,89
Oman verkon suunniteltu keskeytys + jännitetyö	0	0,00
Oman verkon suunniteltu keskeytys + jännitetyö + dokumentointi	1	24,00
Asiakkaan verkon suunniteltu keskeytys	0	0,00
	Σ 16	$\bar{x}$ 12,66

Taulukosta 7.3 huomataan, että kytkentäohjelmia mitattiin vain vähän keskeytyslajia kohti eli tutkimuksen otanta on liian pieni luotettavien johtopäätösten tekemiseen. KytKentäohjelmien suunnittelu kesti 12 työssä alle 10 minuuttia ja neljässä työssä yli 10 minuuttia. Mittausviikoilla kytkentäohjelman suunnitteluun käytetyn ajan mediaanin oli noin 8 minuuttia ja keskiarvo noin 12,66 minuuttia. Pisin kytkentäohjelman suunnittelu-aika oli 54 minuuttia ja lyhin noin 2 minuuttia. Mittauksien tärkein havainto oli, että kytkentäohjelman suunnitteluun kuluva aika vaihtelee keskeytyslajista riippumatta. KytKentäohjelmien suunnitteluun käytetyn ajan vaihtelu ilmeni jo teemahaastatteluissa, mutta nyt se todennettiin myös mittauksin.

Taulukosta 7.3 voisi olettaa, että dokumentointia vaativan työn suunnittelu vaatii pienemmän ajan kuin muiden töiden. Pitää kuitenkin huomata, että dokumentointi töitä mitattiin 11 kappaletta ja muita töitä 5 kappaletta. Otanta on pieni johtopäätösten tekemiseen, erityisesti kun tunnistetaan kytkentäohjelman suunnittelun keston vaihtelu. Luotettavia vertailuja varten tarvittaisiin lisää tutkimusta.

KytKentäsuunnitelman tarkastamiseen kuluva keskimääräinen aika keskeytyslajin mukaan on koottu kuvaan 7.5. Keskiarvojen laskennassa käytettiin lomakehaastattelun skaalan yläpäättä.



Kuva 7.5 Valmiin kytkentäsuunnitelman tarkastamiseen kuluva keskiarvoinen aika kytkentälajikohtaisesti.

Kuvasta 7.5 huomataan, että valmiin kytkentäsuunnitelman tarkastamiseen kuluu suunnilleen yhtä kauan aikaa riippumatta kytkentälajista eli noin 5,5 minuuttia. Ainoastaan jännitetyö erottuu hieman lyhyemmällä tarkastusajalla. Tästä kysymysasettelusta jäi epähuomiossa puuttumaan yksi keskeytyslaji: ”ei asiakaskeskeytystä + dokumentointi”, mutta voidaan olettaa, ettei sen tarkastamiseen kuluva aika eroa muista ajoista.

Uuden kytkentäsuunnitteluprosessin tehostumista tarkastellaan edellä saatujen tuloksien perusteella. Uusi kytkentäsuunnittelujärjestelmä muuttaa aloitteen kirjaamista, tarkastamista ja virheiden korjaamista sekä kytkentäohjelman suunnittelua ja tarkastamista. Lisäksi aloitteiden hylkääminen vähenee. Näistä asioista laskennalla tutkitaan aloitteen tarkastamista ja virheiden korjaamista sekä kytkentäsuunnitelman tarkastamista. Aloitteen hylkäämisen tiedetään tutkimusaineiston perusteella aiheuttavan työn tilaajalle noin tunnin lisätyömäärän sekä kustannuksia. Tämä aika on kuitenkin vain suuntaa-antava eikä sitä huomioida laskelmissa. Myöskään kytkentäohjelman suunnittelun kestoa ei oteta huomioon laskelmissa, koska otanta oli liian pieni luetettavien tulosten saamiseksi. Kaiken kaikkiaan tarkastelu painottuu lomakehaastattelun painotuksen vuoksi verkko-yhtiön toimintaan.

Ensin tarkastellaan kytkentäaloitteen tarkastamiseen kuluva aikaa nykyisessä prosessissa. Taulukkoon 7.4 on laskettu keskijänniteverkon kytkentäaloitteiden tarkastamiseen kulunut aika nykyisessä prosessissa vuonna 2016 jaoteltuna keskeytyslajin mukaan.

Taulukko 7.4 Aloitteiden tarkastamiseen kulunut aika vuonna 2016 Elenia Oy:ssä lomakehaastattelun perusteella.

Keskeytyslaji	Töiden määrä vuonna 2016	Tarkastamiseen kuluva aika (min)	Tarkastamisen kokonaisaika (min)	Kokonaisaika (h)
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä	539	4,50	2426	40
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä + dokumentointi	468	10,33	4836	81
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä	247	5,00	1235	21
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä + dokumentointi	489	10,75	5257	88
Oman verkon suunniteltu keskeytys	997	5,50	5484	91
Oman verkon suunniteltu keskeytys + dokumentointi	391	11,75	4594	77
Oman verkon suunniteltu keskeytys + jännitetyö	65	7,75	504	8
Oman verkon suunniteltu keskeytys + jännitetyö + dokumentointi	116	11,75	1363	23
Asiakkaan verkon suunniteltu keskeytys	16	5,50	88	1
Yhteensä	3328		25786	430
Työpäivää (7,5h)				57

Taulukosta 7.4 huomataan, että lomakehaastattelun mukaisten aloitteen tarkastusaikojen perusteella aloitteiden tarkastamiseen kului aikaa 430 tuntia vuonna 2016. Tämä tarkoittaa 57 kokonaista työpäivää. Toisaalta uusi kytkentäsuunnittelujärjestelmä ei tarkasta NIS-suunnitelmaa. Jos dokumentointi aloitteet poistetaan tilastosta, aloitteiden tarkastamiseen käytettiin aikaa 162 tuntia eli noin 22 kokonaista työpäivää. Lisäksi tulee huomata, että kytkentätöiden määrä on kasvanut viime vuosina ja vuonna 2017 kytkentäaloitteita tullaan tilaamaan yli 4 000 kappaletta.

Aloitteiden virheet tarkastellaan vuoden 2017 tilaston avulla puolen vuoden jaksolta oletuksella, että virheiden taajuus tai töiden määrä ei muutu loppuvuoden aikana. Nämä oletukset vääristävät laskentaa, koska vuonna 2017 tehdään enemmän kytkentäsuunnitelmia kuin vuonna 2016 ja tyypillisesti alkuvuonna tehdään vähemmän kytkentäsuunnitelmia kuin loppuvuonna. Toisaalta vuonna 2017 on tilastoinnin ansiosta työn tilaajille järjestetty koulutuksia aloitteiden kirjaamisesta, mikä on saattanut vähentää virheiden määrää. Nämä asiat huomioiden virhemarginaali tilastoinnissa on riittävän pieni työn tarkastelua varten. Taulukkoon 7.5 on koottu aloitteen virheiden tarkastamiseen kuluva aika vuonna 2017 lomakehaastattelun tarkastusaikojen perusteella.

Taulukko 7.5 Aloitteiden virheisiin kuluva aika vuonna 2017 Elenia Oy:ssä lomakehaastattelun perusteella.

Aloitteen virheiden korjaaminen	Virheiden määrä 6kk	koko vuosi	Korjauksen aika (min)	Korjauksen kokonaisaika (min)	Korjauksen kokonaisaika (h)
1 liian lyhyt tilausaika	19	38	2,50	95	2
2 virheellinen kuvaus	34	68	9,67	657	11
3 väärä keskeytyslaji	61	122	3,67	447	7
4 puutteita toimeksiannoissa	19	38	4,67	177	3
5 virheitä muissa aloitekentissä	431	862	4,00	3448	57
6 puutteellinen NIS-dokumentointi	67	134	8,67	1161	19
7 huono työn suunnittelu	33	66	8,29	547	9
Yhteensä	664	1328		6533	109
Työpäivää (7,5h)					15

Taulukosta 7.5 huomataan, että aloitteiden virheiden korjaamiseen kuluu aikaa 109 tuntia eli noin 15 kokonaista työpäivää. Aloitteen virheet jaettiin korjaukseen käytetyn ajan perusteella lyhyen ja pitkän korjausajan virheisiin. Voidaan olettaa, että lyhyen korjausajan virheet voidaan poistaa uudella kytkentäsuunnittelujärjestelmällä kokonaan. Niiden korjaamiseen kuluu yhteensä 69 tuntia eli noin 9 kokonaista työpäivää. Pitkän korjausajan virheitä ei voi ottaa tehostumislaskentaa mukaan, koska niitä ei huomata uuden kytkentäsuunnittelujärjestelmän avulla. Kytkeäsuunnittelujärjestelmä ei ota kantaa NIS-suunnitelman tarkastamiseen, mutta jos aloite ohjaa aloitteen kirjaamiseen, myös näiden virheiden määrä vähenee. ”Virheellinen kuvaus” ja ”huono työn suunnittelu” ovat virheitä, joita on lähes mahdotonta tarkastaa järjestelmän avulla, mutta ”huono työn suunnittelu” saattaa vähentyä, kun työn tilaaja voi tarkastella kytkentäohjelmaa heti aloitteen kirjaamisen jälkeen.

Kytkeäsuunnittelujärjestelmä avustaa kytkentäsuunnitelmien tarkastamisessa. Taulukoon 7.6 on koottu kytkentäsuunnitelmien tarkastamiseen kulunut aika vuonna 2016 lomakehaastattelusta perusteella.

Taulukko 7.6 KytKentäsuunnitelman tarkastamiseen kuluva aika ennen työn suorittamista lomakehaastattelusta saatujen keskimääräisten tarkastusaikojen perusteella Elenia Oy:ssä.

Keskeytyslaji	Töiden määrä vuonna 2016	Tarkastukseen kuluva aika keskimääri (min)	Tarkastuksiin kuluva aika vuodessa (min)	Tunnit (h)
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä	539	6,00	3234	54
Suunniteltu työ, ei jakelun keskeytystä + dokumentointi	468	6,00	2808	47
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä	247	4,33	1070	18
Suunniteltu jännitetyö, ei jakelun keskeytystä + dokumentointi	489	5,00	2445	41
Oman verkon suunniteltu keskeytys	997	5,00	4985	83
Oman verkon suunniteltu keskeytys + dokumentointi	391	5,50	2151	36
Oman verkon suunniteltu keskeytys + jännitetyö	65	6,33	412	7
Oman verkon suunniteltu keskeytys + jännitetyö + dokumentointi	116	6,00	696	12
Asiakkaan verkon suunniteltu keskeytys	16	5,00	80	1
Töitä yhteensä	3328			298
Työpäivät (7,5h)				40

Taulukon 7.6 mukaan kytkentäsuunnitelmien tarkastamiseen kului aikaa vuonna 2016 298 tuntia eli 40 kokonaista työpäivää. Käytännössä järjestelmän tekemällä itsenäisellä tarkastuksella ei voida kokonaan korvata ihmisen tekemää tarkastusta. Tässä tarkastelussa oletetaan, että järjestelmän avustava tarkastustoiminta nopeuttaa tarkastamista, koska kaikkia asioita ei tarvitse tarkastaa käsin. Tässä tarkastelussa oletetaan, että järjestelmän tarkastustoiminto nopeuttaa tarkastamista noin puoleen eli noin 20 kokonaista työpäivää.

Edellä kuvatut ajankäyttöasiat siirtyvät uudessa prosessissa kytkentäsuunnittelujärjestelmän vastuulle, mikä tarkoittaa että uusi prosessi säästää niiden verran aikaa eli tehostaa toimintaa. Oletus toiminnan tehostumisesta uuden kytkentäsuunnittelujärjestelmän avulla on koottu taulukkoon 7.7.

Taulukko 7.7 KytKentäsuunnitteluprosessiin käytetty aika nykyisessä prosessissa, joka voidaan korvata kytkentäsuunnittelujärjestelmällä.

Toiminto	Optimistinen arvio tehostumisesta (h)	Pessimistinen arvio tehostumisesta (h)
Aloitteen tarkastaminen	430	162
Aloitteen virheiden korjaaminen	109	69
KytKentäsuunnitelman tarkastaminen	298	149
Yhteensä	837	381
Päivinä (7,5h)	112	51

Taulukkoon 7.7 optimistiseen arvioon on kerätty taulukoissa 7.3, 7.4 ja 7.6 mukaiset ajat ja pessimistiseen arvioon on kerätty ne ajat, jotka todennäköisesti voidaan korvata kytkentäsuunnittelujärjestelmällä. Optimistisen arvion mukaan kytkentäsuunnittelujärjestelmä korvaa noin 112 kokonaista työpäivää ja pessimistisen arvion mukaan kytkentäsuunnittelujärjestelmä korvaa noin 51 kokonaista työpäivää. Luultavasti todellinen prosessin tehostuminen tutkittujen asioiden osalta verkkoyhtiössä olisi jossain näiden kahden arvon välillä.

Tarkastelusta ei ole kattava, koska siinä ei oteta huomioon aloitteenkirjausjärjestelmän muuttumista, aloitteiden hylkäämisen vähenemistä tai itse kytkentäohjelman suunnittelun automatisointia. Kaksi ensimmäistä vaikuttaa työn tilaajan toimintaan ja kytkentäohjelman suunnittelun automatisointi verkkoyhtiön toimintaan. Tutkimusaineiston perusteella kytkentäohjelman suunnittelu on kytkentäsuunnitteluprosessin aikaa vievin osa. Kytkentäohjelmista voidaan toteuttaa järjestelmän avulla ainakin ne joissa ei tehdä käyttöönottoja, joita oli vuonna 2016 1864 kappaletta eli 56 % kaikista töistä (luku 1.1 taulukko 1.1). Voidaan siis olettaa, että kytkentäsuunnitteluprosessi tehostuu paljon enemmän kuin tarkastelu antaa ymmärtää.

7.4 Tutkimuksen onnistumisen arviointi

Työssä onnistuttiin saavuttamaan sille asetetut tavoitteet ja vastaamaan esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Työssä kuvatus määrittelyn perusteella voidaan lähteä kehittämään kytkentäsuunnittelujärjestelmää, joka toteuttaa kytkentäohjelman automaattisesti ja parantaa kytkentäaloitteiden laatua.

Teemahaastatteluista saadun palautteen mukaan haastattelutilanne ja saatekirje olivat onnistuneita. Kysymysasettelut olivat pääosin hyviä ja ne laittoivat ajattelemaan asioita tavanomaisten tapojen ulkopuolelta. Myös haastattelujen aikataulutus oli pääosin onnistunut, mutta haastattelujen aikataulutusta aamuille olisi pitänyt välttää. Lisäksi käytönsuunnittelijoiden ja Loiste Sähköverkko Oy:n haastatteluille olisi pitänyt varata hieman enemmän aikaa. Toisaalta aikataulutus piti haastattelun rakenteen kasassa ja esti rönsyilyä liian kauas aiheesta. Haastatteluista olisi voinut laajentaa useampaan urakoitsijayhtiöön. Verkkoyhtiövierailut olivat erityisen onnistuneita ja ne oli aikataulutettu hyvin. Verkkoyhtiöt olivat kiinnostuneita työn aiheesta ja pitivät kytkentäsuunnittelun järjestelmäkehitystä tarpeellisena. Yleisesti teemahaastattelut onnistuivat erittäin hyvin.

Lomaketutkimuksen toteutus osoittautui haastavaksi. Käytönsuunnittelijoiden vastaukset hajaantuivat jokaisessa kysymyksessä melko laajasti ja yhden vastaajan vastaukset erosivat huomattavasti muista, mikä tarkoittaa, että kysymykset olivat haastavia eikä niille ole yksiselitteistä vastausta. Lomakehaastattelun vastausvaihtoehdot myös vaikuttivat ohjaavan vastauksia liian pieniin arvoihin. Tätä tulkintaa tukee vastauksien suuri hajonta ja keskustelut vastausvaihtoehdoista lomakehaastattelun jälkeen. Lisäksi avoimet vastaukset korostivat työhön käytetyn ajan vaihtelevuutta, mikä kertoo siitä, ettei

lomakehaastattelu ollut paras vaihtoehto prosessin tehostumisen tarkastelun. Lisäksi yhtä kysymystä ei otettu tarkasteluun huonon kysymysasettelun vuoksi. Käytönvalvojien osuudessa kysymykset onnistuivat hyvin ja vastaukset olivat johdonmukaisia ja yhteneviä, mikä kertoo, että kysymykset ja vastausvaihtoehdot olivat onnistuneita. Lomakehaastattelussa olisi pitänyt olla laajemmalla skaalalla vastausvaihtoehtoja ja niiden muotoa olisi pitänyt suunnitella tarkemmin. Lomakehaastatteluissa ilmenneiden haasteiden vuoksi päädyttiin toteuttamaan mittaustutkimus.

Mittausten haasteena oli lyhyt aikataulu ja toteuttaa mittaus siten, ettei se häirinnyt käytönsuunnittelijan keskittymistä. Tässä ei täysin onnistuttu, mikä tulee huomioida kun tarkastellaan prosessin tehostumista. Lisäksi mittauksissa saatiin liian pieni otanta erilaisia töitä. Isommalla otannalla pidemmältä ajalta mittauksista olisi voitu analysoida kattavammin prosessin tehostumista. Tällöin olisi saatu laajempi otanta eri työtyypeistä ja käytönsuunnittelijat olisivat tottuneet mittaajaan, mikä olisi myös parantanut mittausten luetettavuutta.

7.5 Kytkentäsuunnittelujärjestelmän tulevaisuus

Haastattelututkimuksen mukaan asiakaskeskeytyksiä pyritään vähentämään tulevaisuudessa, koska toimitusvarmuuteen tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota. Asiakaskeskeytysten määrän pienenemiseen vaikuttavat jännitetyömenetelmien ja varavoiman kasvava hyödyntäminen sekä verkon rakentaminen siten, ettei sen käyttöönottamisessa tarvita asiakaskeskeytyksiä. Asiakaskeskeytysten yhteyteen pyritään yhdistämään mahdollisimman paljon töitä, jotta ne hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasta.

Verkkoyhtiöt tarvitsevat tulevaisuudessa työkaluja käytöntukijärjestelmään toimitusvarmuuden tarkkailuun ja määräysten mukaisuuden laskentaan. Tulevaisuudessa kaikista verkon kytkentämuutoksista pitää toteuttaa automaattisesti suojauslaskenta, jotta kytkentätilanteen määräystenmukaisuus on koko ajan varmistettu. Myös toimitusvarmuuslaskentaa esimerkiksi uuden kytkentätilanteen tilastollisista vikataajuuksista pitäisi toteuttaa, mikä lisäisi tietoa verkon toimitusvarmuudesta. Kytkentämuutokset eivät saa aiheuttaa tilanteita, joissa yksi vika aiheuttaa suuria toimitusvarmuus vaikutuksia. Tällaiset toiminnallisuudet voidaan lisätä esimerkiksi tässä työssä kuvattuun kytkentäsuunnittelujärjestelmään.

Tulevaisuuden kehitysasioita työssä määriteltyyn kytkentäsuunnittelujärjestelmään ovat sähköasematöiden tarkempi kuvaaminen, vikojen vaikutuksen arvioiminen jo suunniteltuihin kytkentöihin sekä kytkentäohjelman automaation laajentaminen PJ- ja SJ-verkon kytkentöihin. Sähköasemien korvauskytkentöjen pitää kehittää, koska työssä käsiteltiin niitä vain yhden päämuuntajan sähköasemien osalta ja melko pintapuoleisesti. Vikojen vaikutuksen huomioiminen jo suunniteltuihin kytkentäsuunnitelmiin liittyy myös sähköasematöihin. Vian takia jotain johtolähtöä ei voida käyttää korvauskytkentää, jolloin vika pitää korjata mahdollisimman nopeasti ennen sähköasemakorvauksen alkamista.

Tällaisessa tilanteessa tarvitaan järjestelmältä huomautusta, jotta tilanne huomataan. Lisäksi sähköasemien erilaiset kiskorakenteet täytyy huomioida, kun kytkentäsuunnittelu-järjestelmää laajennetaan SJ-verkon kytkentäsuunnitteluun.

Kytkeäsuunnittelujärjestelmää voidaan tulevaisuudessa hyödyntää vianhoidossa. Kuvatuun kytkentäsuunnittelujärjestelmän avulla voidaan muodostaa kytkentäohjelma vikojen korjauksen jälkeisiä palautuskytkentöjä varten, jonka mukaisesti verkko voidaan palauttaa normaaliin kytkentätilaan. Kytkeäsuunnittelujärjestelmällä voidaan muodostaa nopeasti standardin mukainen kytkentäohjelma, mikä avustaa erityisesti kokemattomien käytönvalvojia verkon palautuskytkennöissä. Tällaisen toiminnon mahdollistamiseksi kytkentäohjelma pitää muodostaa nopeasti. Jos kytkentäsuunnittelujärjestelmä pystyy luotettavasti tarkastelemaan verkon mittauksia ja suojausasetteluja, on mahdollista, että kytkentäsuunnittelujärjestelmän avulla voidaan tulevaisuudessa sallia suunnitelmallisia verkon saarekekäyttötilanteita.

Työssä kuvatuun kytkentäsuunnittelujärjestelmän uuden verkon dokumentointiprosessi ei ole optimaalinen. Kytkeäsuunnittelujärjestelmä pitäisi tarkastaa uuden verkon dokumentaation ennen kuin kytkentäaloite kirjataan tarkastettavaksi. Erityisesti SCADA-järjestelmän verkkokaaviokuvien dokumentointi on aikaa vievää. Verkkokaavion dokumentointi SCADA-järjestelmään pitäisi toteuttaa automaattisesti NIS-suunnitelman dokumentaatiosta, mikä vaatii järjestelmäkehitystä niin SCADA- kuin DMS-järjestelmässä.

8 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli kehittää verkkoyhtiön kytkentäsuunnitteluprosessia määrittelemällä kytkentäsuunnittelujärjestelmä, joka parantaa kytkentäaloitteiden laatua sekä pystyy suunnittelemaan kytkentäohjelman kytkentäaloitteen tietojen perusteella. Kytkentäsuunnittelun järjestelmäkehitystä varten tutkittiin kirjallisuusselvityksen avulla kytkentäsuunnittelun sähkö- ja turvallisuustekniset perusteet sekä valvontamenetelmien vaikutukset kytkentäsuunnitteluun. Kytkentäsuunnittelujärjestelmän toiminnallisuuden määrittelemiseksi toteutettiin teemahaastattelututkimus, jossa haastateltiin kytkentäsuunnitteluprosessiin osallistuvia henkilöitä. Työn aikana toteutettiin yhteensä 17 teemahaastattelu neljässä eri verkkoyhtiössä ja kolmessa urakointiyhtiössä. Pääasiallisena aineistona käytettiin 11 Elenia Oy:ssä tehtyä haastattelua.

Verkkoyhtiöiden haastatteluiden perusteella kuvattiin neljän eri verkkoyhtiön kytkentäsuunnitteluprosessit. Kytkentäsuunnitteluprosessien todettiin olevan samankaltaisia, vaikka verkkoyhtiöt käyttävät eri tietojärjestelmiä. Kytkentäsuunnitteluprosessien perusteella muodostettiin kuvaus kytkentäsuunnittelun nykytilasta ja kehityskohteista. Elenia Oy:n kytkentäsuunnittelusta muodostettiin vielä tarkempi prosessikuvaus, jota muokattiin järjestelmäkehityksen avulla.

Työn tutkimuskysymysten mukaisesti kytkentäsuunnittelujärjestelmän kehittäminen jaettiin kahteen osaan: aloitteen kirjaaminen ja kytkentäohjelman suunnittelu. Aloitteenkirjaamisen parantamiseksi tärkeimpiä määriteltyjä toimintoja olivat järjestelmän tekemät itsenäiset tarkastukset, työalueella sijaitsevien asiakkaiden ja tuotantokohteiden huomioiminen sekä aloitteen heräteviestintä. Työssä määriteltiin kytkentäohjelman automaattisen suunnittelun perusteet ja toimintaperiaatteet. Aloitteen toiminnot ja kytkentäohjelman automaattinen suunnittelu yhdessä muodostivat kytkentäsuunnittelujärjestelmän. Kytkentäsuunnittelujärjestelmän toiminnallisuuden ympärille muodostettiin diplomityön päätulokseksi uusi kytkentäsuunnitteluprosessi. Kytkentäsuunnittelujärjestelmälle muodostettiin myös neliosainen käyttöönottopolku, jonka mukaisesti järjestelmä voidaan ottaa käyttöön siten, että kaikista hyödyllisimmät toiminnallisuudet otetaan käyttöön ensimmäisenä. Kytkentäsuunnitteluprosessi ja -järjestelmä ovat määritelty pääasiassa Elenia Oy:n kytkentäsuunnittelun perusteella, mutta ne on mahdollista ottaa käyttöön myös muissa verkkoyhtiöissä, jotka käyttävät Trimble DMS -käytöntukijärjestelmää. Työtä on siis mahdollista hyödyntää alalla yleisesti. Lisäksi kytkentäsuunnittelun kehittämisestä on vain vähän tutkimuksia, mikä lisää työn tulosten merkittävyyttä.

Työssä tehdyn määrittelyn avulla voidaan alkaa kehittämään järjestelmää, joka toteuttaa kytkentäohjelman ainakin kaikkiin verkon huoltotöihin. Työssä määriteltiin kytkentäohjelman suunnittelu myös uuden verkon käyttöönottoja ja sähköasemien korvauskytkentöjä varten, mutta niiden monimuotoisuuden takia määrittely ei ollut kattava. Tulevaisuudessa sähköasematöissä määrittelyä täytyy laajentaa ainakin erilaisten kiskojen ja päämuuntajien määrän mukaisesti. Vaikka kytkentäohjelman määrittely pyrittiin toteuttamaan siten, että se ei ole verkkoyhtiö riippuvainen, uuden verkon käyttöönottojen kytkentäohjelman määrittely on toteutettu vain Elenia Oy:n uuden verkon käyttöönottoprosessin mukaisesti, koska muita dokumentointiprosesseja ei tutkittu tässä diplomityössä.

Uutta kytkentäsuunnitteluprosessia tarkasteltiin vertaamalla uutta ja nykyistä prosessia sekä tarkastelemalla teema- ja lomakehaastattelujen aineistoa. Lisäksi tehtiin mittauksia. Vertailun ja tutkimusaineiston perusteella uusi prosessi on tehokkaampi ja turvallisempi kuin nykyinen. Uudessa prosessissa aikaa vieviä asioita on siirretty järjestelmän tehtäviksi ja turvallisuuden kannalta uusi kytkentäsuunnitteluprosessi korostaa kytkentäsuunnitelman tarkastamista enemmän kuin nykyinen. Lomakehaastattelulla ja mittauksin pyrittiin todentamaan koko prosessin tehostuminen, mutta kytkentäsuunnittelun vaihtelevuuden takia lomakehaastattelulla voitiin todeta vain aloittaan kirjauksen tehostuminen. Mittaukset epäonnistuivat pienen otannan takia ja niillä voitiin todentaa vain kytkentäohjelmien suunnittelun keston vaihtelevuus. Kuitenkin vertailun ja haastattelututkimusten perusteella voidaan todeta, että uusi kytkentäsuunnittelujärjestelmä on hyödyllistä toteuttaa, koska se parantaa turvallisuutta ja tehostaa toimintaa.

Kytkeäsuunnittelujärjestelmän toteutuksen jälkeen pitää kehittää verkon reaaliaikaista määräystenmukaisuuslaskentaa. Lisäksi kytkentäsuunnittelujärjestelmää pitää laajentaa muiden jännitetasojen kytkentäsuunnitteluun. Tämän diplomityön pohjalta jatkokehitystä tarvitaan myös verkon käyttötilanteen ja -toiminnan seurantaan. Käyttötilanteen seurantaa varten tulee toteuttaa käyttötoiminnan tilannekuva, jonka kehittämisestä voidaan toteuttaa jatkotutkimus esimerkiksi opinnäytetyönä. Tilannekuvan muodostamisesta tulee tutkia ainakin: millainen tilannekuvan pitää olla sekä miten ja millä järjestelmällä se kannattaa toteuttaa.

LÄHTEET

ABB Oy, (2017). *DMS 600 - Leading Distribution Management System*. Saatavissa: <http://www.abb.com/cawp/seitp326/61ad3b3d1774e87bc125799c004c92b8.aspx> [Viitattu 17.5.2017].

Black, J., Myles, G. & Hashimzade, N., (2017). *A Dictionary of Economics*. 5. painos. toim.; Oxford University Press.

Caruna Oy, (2017). *Luotettavan sähköjakelun ja sähköverkon turvallisuuden takaaminen korostuivat Carunan toiminnassa vuonna 2016*. Saatavissa: <https://www.caruna.fi/ajankohtaista/luotettavan-sahkonjakelun-ja-sahkoverkon-turvallisuuden-takaaminen-korostuivat-carunan> [Viitattu 7.4.2017].

Chan, F., Lau, H. & Ko, C., (2000). *Outage planning of electrical power system networks using genetic algorithm*. Hong Kong, Journal of Quality in Maintenance Engineering.

Elenia Oy, (2013). *Elenian säävarman sähköverkon rakentamista voi nyt seurata webissä.*, Saatavissa: <http://www.elenia.fi/uutiset/elenian-s%C3%A4%C3%A4varman-s%C3%A4hk%C3%B6verkon-rakentamista-voi-nyt-seurata-webiss%C3%A4> [Viitattu 13.3.2017].

Elenia Oy, (2014). *Verkkopalveluehdot.*, Saatavissa: http://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Verkkopalveluehdot_VPE2014_2.2.2016.pdf [Viitattu 10. 4. 2017].

Elenia Oy, (2016a). *Elenia Säävarman tarina.*, Saatavissa: http://www.elenia.fi/sahko/saavarma_tarina [Viitattu 20.2.2017].

Elenia Oy, (2016b). *Elenian sisäiset ohjeet kytkentäsuunnittelusta*, Tampere: [ei yleisessä jakelussa].

Elenia Oy, (2017a). *SMS-Palvelun sopimusehdot.*, Saatavissa: <http://www.elenia.fi/aina> [Viitattu 1.3.2017].

Elenia Oy, (2017b). *Hyvitykset ja korvaukset.*, Saatavissa: <http://www.elenia.fi/sahko/korvaukset> [Viitattu 6.3.2017].

Elenia Oy, (2017c). *Keskeytysjärjestelyt.*, Saatavissa: <http://www.elenia.fi/sahko/keskeytysjarjestelyt> [Viitattu 7.3.2017].

Elenia Oy, (2017d). *Sähköverkkopalveluita yhdessä sopimusurakoitsijoiden kanssa.*, Saatavissa: <http://www.elenia.fi/yritys/urakoitsijamme> [Viitattu 7.4.2017].

Elovaara, J. & Haarla, L., (2011a). *Sähköverkot 1.*, 2. painos toim. Helsinki: Otatieto.

Elovaara, J. & Haarla, L., (2011b). *Sähköverkot 2.*, 1. painos toim. Helsinki: Otatieto.

Empower Oy, (2017). *EnerimCIS – Customer Information System.* Saatavissa: <https://www.empower.eu/enerim-cis> [Viitattu 15.2.2017].

Energiateollisuus, (2014). *Keskeytystilasto-ohje 2014*, Helsinki: Energiateollisuus ry.

Energiateollisuus, (2015). *Suurjännitelaitteistojen sähkötyöturvallisuus 2015.* 5. painos toim. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Energiavirasto, (2015). *Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolla*, Helsinki: Energiavirasto.

Headpower, (2014). *Tekninen tarkastelu: Kuormittamattoman maakaapelin kiinnitys ja irti kytkeminen*, Helsinki: Headpower Oy.

Itoh, M., (2011). *A Model of Trust in Automation: Why humans over-trust?.*, Tokyo, Japan, SICE Annual Conference.

Kamppari, T., (2016). *Kaukokäyttöisten laitteiden käyttöönoton kehittäminen.* Opinnäytetyö toim. Tampere: Tampereen Amaattikorkeakoulu.

Kilpeläinen, K., (2016). *Keskijänniteverkon johtokadun ja sen vierimetsän käsittelytoimenpiteet.*, Opinnäytetyö, Kuopio: Savonia.

Lahti Energia, (2009). *LE-Sähköverkko on solminut urakkasopimukset kaudelle 2010-2012.*, Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/ajankohtaista/le-sahkoverkko-solminut-urakkasopimukset-kaudelle-2010-2012> [Viitattu 11.4.2017].

Laine, M., (2010). *Benefits of an Automatic Fault Management System for the Medium Voltage Distribution Network Operation*, Diplomityö, Tampere: Tampere University of Technology.

Lakervi, E. & Holmes, E. J., (1989). *Electricity Distribution Network Design.* 1. painos toim. Lontoo: Peter Pregrinus LTD.

Lakervi, E. & Partanen, J., (2009). *Sähkönjakelutekniikka.* Helsinki: Otatieto.

Laki 590, (2013). *Laki sähkö- ja maakaasumarkkinoiden valvonnasta*. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130590?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=%20%28590%2F2013%29>. [Viitattu 7.4.2017].

Lee, E.-K., Gadh, R. & Gerla, M., (2013). *Energy Service Interface: Accessing to Customer Energy Resources for Smart Grid Interoperation*. Los Angeles, IEEE.

Netcontrol, (2012). *Netcon 3000, Monipuolinen ja skaalautuva käytönvalvontajärjestelmä*, Netcontrol.

Niemelä, E., (2016). *Keskeytystilasto 2015*, Energiateollisuus: saatavissa: http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkon_keskeytystilasto_2015.html. [Viitattu 7.3.2017]

Nikander, A. & Mäkinen, A., (2014). *Jännitetyönä tehtäviin 20kV sähköjakeluverkon vajaanapaisiin kytkentöihin liittyvät sähköiset ilmiöt*, Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Oulun Energia Oy, (2014). *Verkkopalveluehdot VPE 2014*, Helsinki: Energiateollisuus ry.

Partanen, J., (2016). *Regulattoriokoulutus*, Tampere: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [ei yleisessä jakelussa].

Partanen, J., Honkapuro, S., Lassila, J., Kaipia, T., Verho, P., Järventausta, P., Strandén, J., ja Mäkinen, A., (2010). *Sähköverkon toimitusvarmuuden kriteeristö ja tavoitetasot*, Lappeenranta, Tampere: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto.

Pesonen, M., (2015). *20 kV Ilmajohtoverkon maakaapeloinnin vaikutus maasulkusuojaukseen ja loistehotaseeseen*, Diplomityö, Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Saunders, M., Lewis, P. & Thonhill, A., (2009). *Research methods for business students*. 5. toim. Harlow: Pearson Education Limited.

Savon Voima Verkko Oy, (2017a). *Kunnossapito*. Saatavissa: <https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/kunnossapito/> [Viitattu 2.6.2017].

Savon Voima Verkko Oy, (2017b). *Sähkön siirto*. Saatavissa: <https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/> [Viitattu 2.6.2017].

SFS 50160, (2010). *Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet*, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS-ry.

SFS 6001, (2009). *Suurjännitesähköasennukset SFS 6001*, Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS-ry.

SFS 6002, (2015). *Sähkötyurvallisuus standardi SFS 6002*, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS-ry.

SFS 61230, (2008). *Jännitetyöt. Siirrettävät työmaadoitusvälineet tai työmaadoitus- ja oikosulkuvälineet*, Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS-ry.

Sharma, K. L. S., (2011). *Overview of Industrial Process Automation*. 1. toim. Lontoo: Elsevier.

Sihvonen, S., (2015). *KytKentäsuunnittelun kuvaus ja kehitys*, Opinnäytetyö: Tampereen ammattikorkeakoulu.

Sähkömarkkinalaki 588, (2013). *Sähkömarkkinalaki 588/2013*, Helsinki: Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>. [Viitattu 7 3 2017].

SäköturvallisuuSlaki 1135, (2016). *SäköturvallisuuSlaki*, Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=%20%281135%2F2016%29#Pidp747280> [Viitattu 7 3 2017].

Säkötyöturvallisuus, (2012). *SäkötyöturvallisuusSivusto*. Saatavissa: <http://www.tut.fi/sahkotyoturvallisuus/index.html> [Viitattu 7.3.2017].

Tampereen Säkölaitos, (2016). *Säkön siirto ja liittymät*. Saatavissa: <https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/Sivut/default.aspx#.WSwDL-vyh1M> [Viitattu 29.5.2017].

Thomas, M. S. & McDonald, J. D., (2015). *Power System SCADA and Smart Grid*. 6000 Broken Sound Parkway: CRC Press.

Tiainen, T., (2014). *Haastattelu tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa*, Tampere: Tampereen yliopisto.

Trimble Oy, (2016). *Trimble NIS sähköverkoille*. Saatavissa: <http://utilities.trimble.fi/trimble-nis-sahkoverkoille.html> [Viitattu 13.2.2017].

Trimble Oy, (2017). *Trimble DMS*, Saatavissa: <http://utilities.trimble.fi/trimble-dms.html> [Viitattu 14.2.2017].

Tzafestas, S. G., 2010. *Human and Nature Minding Automation*. toim. Ateena: Springer Netherlands.

Verho, P., (1997). *Configuration Managment of Medium Voltage Electricity Distribution Network*. toim. Tampere: Tampere University of Technology.

Xiang, W., Zhang, J., Luo, N. & Xie, D., (2016). *Fast loop closing-opening operation of two lines with 30 degree phase difference*, Chengdu: 2016 35th, (CCC).

Yang, W.-C., Huang, W.-T. & Chen, J.-Z., (2008). *Unbalanced Analysis of Changing Medium-Voltage Distribution Feeders from Open-Loop to Closed-Loop Arrangement*. Dalian, 3rd (ICICIC)

Yle, (2013). *Katkesivatko sähköt? Katso kartalta alueesi sähkösiirtoyhtiö ja yhteystiedot*. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-6938546> [Viitattu 6.6.2017].

Zhu, Z., Mou, X., Su, S. & Zhang, C., (2013). *Qualitive Calculation and Simulation Analysis of Transformer Parallel Operation*. Toronto, 2013 2nd (IMSNA).

Haastattelut

Haapa, M., (2017). *Projektipäällikkö, Elenia Oy* (11.4.2017).

Ihonen, T., (2017). *Kunnonhallinta- ja turvallisuuspäällikkö, Elenia Oy* (1.6.2017).

Janhonen, T., (2017). *Käytönsuunnittelija, Elenia Oy* (4.4.2017).

Kamppari, T., (2017). *Käytönsuunnittelija, Elenia Oy* (3.4.2017).

Kangassalo, P., (2017). *Käytönvalvoja, Elenia Oy* (23.3.2017).

Kiiski, T. & Eskelinen, M., (2017). *Palveluvastaava ja käyttöinsinööri, Savon Voima Verkko Oy* (15.5.2017).

Kumppani 1, (2017). *Urakointiyhtiö 1* (25.4.2017).

Kumppani 2, (2017). *Urakointiyhtiö 2* (26.4.2017).

Kumppani 3, (2017). *Urakointiyhtiö 3* (26.4.2017).

Laakso, J., (2017). *Projektipäällikkö, Elenia Oy* (6.4.2017).

Paananen, H., (2017). *Käyttöpäällikkö, Elenia Oy* (6.3.2017).

Reinikka, I. & Karvonen, H., (2017). *Käyttöpäällikkö ja käyttöinsinööri, Loiste Sähköverkko Oy* (24.4.2017).

Salmi, J., (2017). *Käytönsuunnittelija, Elenia Oy* (6.4.2017).

Sihvonen, S., (2017). *Käyttöinsinööri, Elenia Oy* (29.3.2017).

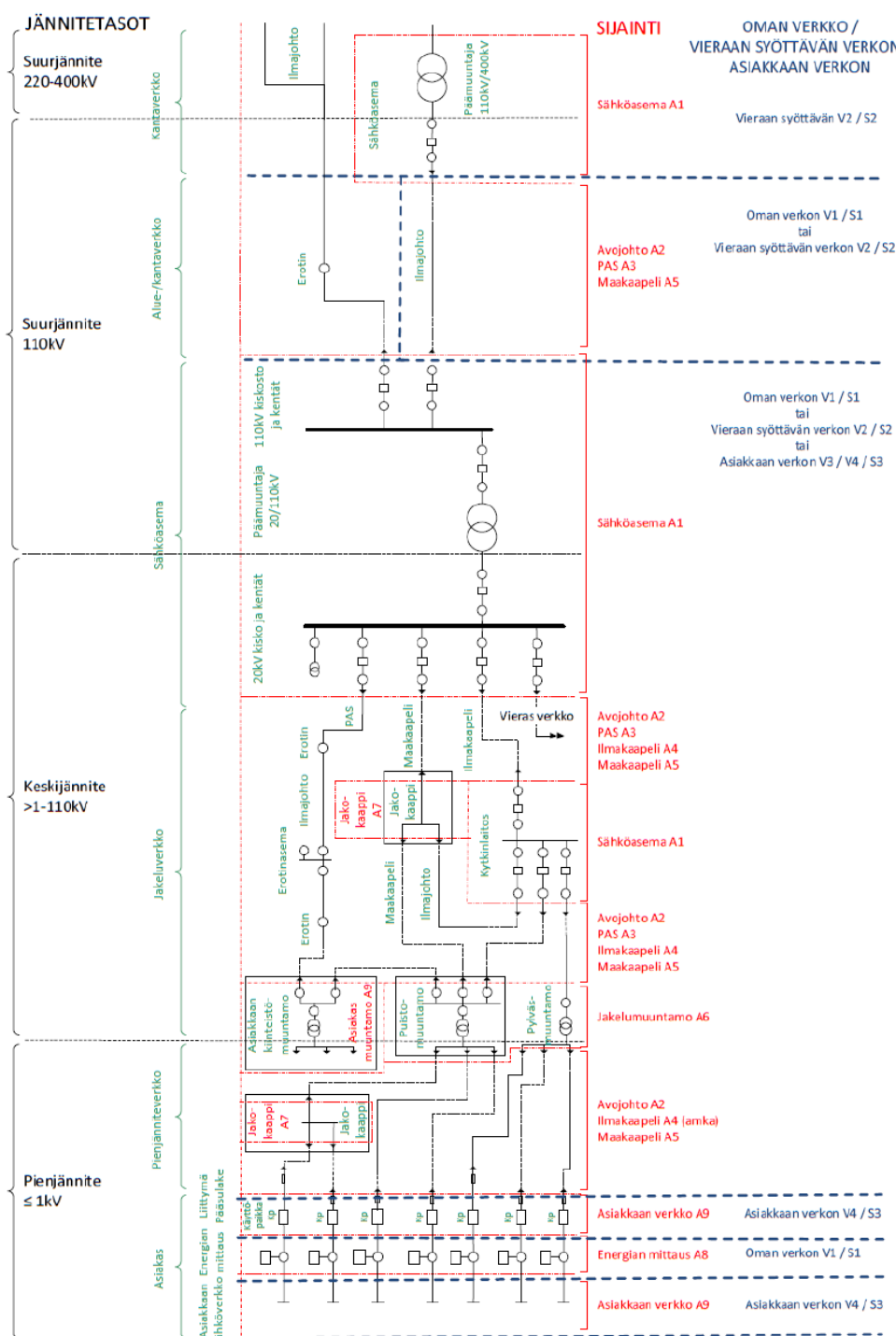
Tomula, J., (2017). *Käytönvalvoja, Elenia Oy* (5.4.2017).

Virtanen, J., Siivonen, K. & Järvinen, J., (2017). *Käyttömestari, käyttöinsinööri ja kehitysinsinööri, Tampereen Sähköverkko Oy* (21.3.2017).

Välikoski, J., (2017). *Käytönsuunnittelija Elenia Oy* (9.3.2017).

LIITE A: KESKEYTYSTILASTOINNIN RAJAUS

Kuvaan on kuvattu keskeytystilastoinnissa käytettävät erijännitetasojen jakorajat. (Energiateollisuus, 2014)



LIITE B: KESKEYTYKSISTÄ TILASTOITAVAT TIEDOT

Taulukkoon on esitetty keskeytyksistä tilastoitavat tiedot. Keskijännitteen suunniteltujen keskeytysten tilastoitavat tiedot on korostettu keltaisella yliviiivauksella. (Energiateollisuus, 2014)

Jännitetaso (SJ-, KJ-, PJ-taso)	Keskeytyslaji		Aiheuttaja (SJ-, KJ-, PJ-taso) Vikakeskeytyks Suunniteltu keskeytyks (PJK/AJK ei täytetä)	Sijainti (PJK/AJK ei täytetä)	Vikatyyppi (PJK/AJK/ Suunniteltu keskeytyks ei täytetä)
SJ Suurjännite	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks	Luonnonilmiöt L1 Tuuli ja myrsky L2 Lumi ja jää L3 Ukkonen (salamointi) L4 Muut sää- ja luonnonilmiöt L5 Eläimet	A1 Sähköasema A2 Avojohtoverkko A3 PAS-verkko A5 Maakaapeli A8 Energian mittaus A9 Asiakkaan verkko A10 Tuntematon	VT1 Oikosulku VT2 Maasulku VT3 Kaksoismaasulku VT4 Tuntematon VT5 Ylikuorma VT7 Muu vika
	Jälleenkytkennät J1 PJK J2 AJK	S1 Oma verkon... S2 Vieraan syöttävän verkon... S3 Asiakkaan verkon...			
KJ Keskijännite	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks	Rakenneviat ja verkon haltijasta johtuvat syyt R1 Rakenneviat R2 Verkonhaltijan toiminta Ulkopuoliset syyt U1 Ulkopuolisten toiminnasta aiheutuneet U2 Force majeure T1 Tuntematon	A1 Sähköasema A2 Avojohtoverkko A3 PAS-verkko A4 Ilmakaapeli A5 Maakaapeli A6 Jakelu-muuntamo A7 Jakokaapeli A8 Energian mittaus A9 Asiakkaan verkko A10 Tuntematon	VT1 Oikosulku VT2 Maasulku VT3 Kaksoismaasulku VT4 Tuntematon VT5 Ylikuorma VT7 Muu vika
	Jälleenkytkennät J1 PJK J2 AJK	S1 Oman verkon... S2 Vieraan syöttävän verkon... S3 Asiakkaan verkon...			
PJ Pienjännite	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks		A2 Avojohtoverkko A4 Ilmakaapeli A5 Maakaapeli A6 Jakelu-muuntamo A7 Jakokaapeli A8 Energian mittaus A9 Asiakkaan verkko A10 Tuntematon	VT1 Oikosulku VT4 Tuntematon VT5 Ylikuorma VT6 Nollavika VT7 Muu vika
	Jälleenkytkennät J1 PJK J2 AJK	S1 Oman verkon... S2 Vieraan syöttävän verkon... S3 Asiakkaan verkon...			

LIITE C: KYTKENTÄOHJELMAN TURVALLISUUSTOIMENPITEET

Taulukkoon on kirjattu Elenia Oy:ssa käytettävät turvallisuustoimenpiteet, jotka kirjataan kytkentäohjelmaan ohjaustoimenpiteen huomautusriville. Perustuu lähteeseen (Sihvonen, 2015)

KytKentätoimenpide	Turvallisuustoimenpide (huomautuskenttä)	Vastuuhenkilö
Ei keskeytystä		
Avaa erotin		sähköturvallisuuden valvoja
Sulje erotin		sähköturvallisuuden valvoja
Auki ohjaa erotin		Käyttökeskus
Kiinniohjaa erotin		Käyttökeskus
Keskeytys alkaa		
Avaa erotin	ASENNA ÄLÄ KYTKE -KILPI JA LUKKO	sähköturvallisuuden valvoja
Auki ohjaa erotin	PAIKALLISKÄYTÖLLE, ASENNA ÄLÄKYTKE -KILPI JA LUKKO	Käyttökeskus
Älä kytke -kilven kytkentä	ASENNA ÄLÄ KYTKE -KILPI JA LUKKO	sähköturvallisuuden valvoja
Vaunukatkaisija auki asentoon erotusalue	VAUNU EROTUSASENTOON, LISÄÄ ÄLÄ KYTKE -KILPI JA LUKKO	sähköturvallisuuden valvoja
Vaunukatkaisija ulos kennosta	VAUNU ULOS KENNOSTA, LISÄÄ ÄLÄ KYTKE -KILPI JA LUKKO	sähköturvallisuuden valvoja
Jännitteettömyyden toteaminen	JÄNNITTEETTÖMYYDEN TOTEAMINEN	sähköturvallisuuden valvoja
Kytke päätyömaadoitus		sähköturvallisuuden valvoja

Jatkuu seuraavalla sivulla.

Keskeytys päättyy		
Poista päätyömaadoitus		sähköturvallisuuden valvoja
Sulje erotin	POISTA ÄLÄ KYTKE -KILPI	sähköturvallisuuden valvoja
Älä kytke -kilven poistaminen	POISTA ÄLÄ KYTKE -KILPI	sähköturvallisuuden valvoja
Kiinniohjaa erotin	KAUKOKÄYTÖLLE, POISTA ÄLÄ KYTKE -KILPI	Käyttökeskus
Vaunukatkaisijan palautus kiinni asentoon	VAUNU KIINNI, POISTA ÄLÄ KYTKE -KILPI	sähköturvallisuuden valvoja
käyttöönoton lisävaatimukset		
Jälleenkytkennät pois	JK:T POIS	käyttökeskus / Sähköturvallisuuden valvoja
Varmista, että käyttöönottavassa verkossa ei ole työmaadoituksia kiinni ja kaikki erottimet ovat auki		sähköturvallisuuden valvoja
Avaa jomppi		sähköturvallisuuden valvoja
Sulje jomppi		sähköturvallisuuden valvoja
Jälleenkytkennät päälle	JK:T PÄÄLLE	käyttökeskus / Sähköturvallisuuden valvoja
Muut työt		
Kytke tilapäinen syöttö		sähköturvallisuuden valvoja
Poista tilapäinen syöttö		sähköturvallisuuden valvoja
PJ-verkon irtikytkentä (sulake)	ASENNA ÄLÄ KYTKE -KILPI	sähköturvallisuuden valvoja
PJ-verkon kiinnikytkentä	POISTA ÄLÄ KYTKE -KILPI	sähköturvallisuuden valvoja
PJ-verkon rengasmahdollisuuden tarkastus	ASENNA ÄLÄ KYTKE -KILPI	sähköturvallisuuden valvoja
Kytke tilapäinen syöttö		sähköturvallisuuden valvoja
Poista tilapäinen syöttö		sähköturvallisuuden valvoja

LIITE D: HAASTATTELUTUTKIMUKSEN KYSY- MYSRUNGOT

Tutkimuksessa käytettiin neljää kysymyspohjaa, riippuen siitä, mikä oli haastateltavan toimenkuva ja millaista tietoa häneltä haluttiin.

Käytönsuunnittelijat

1. Lämmittely

- 1.1. Paljonko teet päivässä kytkentäsuunnitelmia?
- 1.2. Mihin suuntaan uskot käytönsuunnittelun tehtävien kehittyvän?
 - 1.2.1. Mikä on tämän hetken trendi?
- 1.3. Millaista on yhteistyö urakoitsijan ja käytönsuunnittelijan väillä?
 - 1.3.1. Kuinka kauan aikaa kuluu puheluihin urakoitsijan kanssa, montako puhelua on päivässä?

2. Käytönsuunnittelu tällä hetkellä

- 2.1. Kuvaile kytkentäsuunnitteluprosessi
- 2.2. Prosessin haasteet ja parannusehdotukset

3. Aloitteen kehittäminen

- 3.1. Jos ajattelet pieleen menneitä aloitteita, miten näiltä olisi voinut välttyä automaatiikan avulla?
- 3.2. Kuvaile ihannejärjestelmää aloitteen tekemiseen.
 - 3.2.1. Miten aloitteen muokkaaminen helpottaisi eniten työtäsi?
- 3.3. Mitä aloitteesta voi tarkastaa automaatiikalla?
 - 3.3.1. Mitä taas mielestäsi ei voi?
 - 3.3.2. Paljonko tämä nopeuttaisi työtä?

4. Kytkeäsuunnitelman automatisointi

- 4.1. Millaisia töitä on eniten verkossa?
 - 4.1.1. Millaiset työt automaation ainakin pitäisi pystyä toteuttamaan?
 - 4.1.2. Mikä töissä vie aikaa?
- 4.2. Millainen on mielestäsi ihannejärjestelmä kytkentäsuunnitteluun?
 - 4.2.1. Minkälaiset ominaisuudet helpottaisivat työtäsi?
 - 4.2.2. Mitkä asiat lisääisivät turvallisuutta tai tehokkuutta?
- 4.3. Millaisia asioita automaation pitää huomioida keskeytysalueen rajaamisessa, dokumentoinnissa, tai jännitetöissä?
- 4.4. Mitä uskot olevan haastavinta toteuttaa kytkentäsuunnitelman automatisoinnissa ja miksi?
- 4.5. Millaisia asioita tulee huomioida uuden verkon käyttöön ottamisessa?

4.6. Onko sähköasemalle tehtävissä töissä jotain erityishuomioitavaa?

5. Automaation tuomat hyödyt

5.1. Millaisia hyötyjä näet automatisoinnin lisäämisessä

5.2. Miten näet automatiikan vaikuttavan työhösi?

5.3. Ajatuksia kannattavuudesta/toteutettavuudesta?

Palaute haastattelusta

Käytönvalvojat

1. Lämmittely

1.1. Millaisena näet käytönsuunnittelun roolin tulevaisuudessa?

1.2. Millaista on yhteistyö valvomon ja käytönsuunnittelun kanssa?

2. Töiden toteuttaminen valvomossa

2.1. Kuvaile kytkennän toteuttaminen

2.2. Millaisia asioita tarkastatte kytkentäsuunnitelmasta?

2.3. Miten muuttaisit kytkentäohjelman suunnittelua?

2.4. Onko kytkentäohjelmien toteutuksessa ongelmia?

2.5. Onko suunniteltujen kytkentöjen kytkimien ohjausjärjestykseen kehitysehdotuksia?

3. Valvomon vastuulla olevien töiden tilaaminen

3.1. Onko valvomon suunnitelmien töiden tilaamisessa mitään erityispiirteitä?

3.2. Haluaisitko muuttaa kytkentätilauspohjaa tai tilauskäytäntöjä?

3.3. Miten aloitteen muokkaaminen helpottaisi eniten työtäsi?

3.4. Millainen olisi ihannejärjestelmä töiden tilaamiseen?

4. Sähköasematöiden erityispiirteet

4.1. Paljonko asemakorvauksia on verkossa suurin piirtein?

4.2. Millaisia erityispiirteitä sähköasematöissä on?

4.2.1. Voisiko sähköasematöitä toteuttaa automaatiolla, kuten muita töitä?

4.3. Millainen olisi ihannejärjestelmä?

4.4. Onko laiterajapinnoissa mahdollisuuksia hyödyntää automatiikassa?

4.5. Mitä uskot olevan haastavinta toteuttaa kytkentäsuunnitelman automatisoinnissa ja miksi?

4.6. Onko uuden verkon käyttöönottoissa jotain sellaista jossa näet haasteita?

5. Hyödyt

5.1. Onko kytkentäsuunnittelun automatisoinnissa haasteita?

5.2. Miten kytkentäsuunnitelmien automatiikalla voisi parantaa kytkentätilanteen hallintaa?

5.3. Millaisia asioita automatiikan pitäisi huomioida kytkentäsuunnittelussa?

5.4. Ajatuksia kannattavuudesta tai toteutettavuudesta

Projektinhoitajat

1. Lämmittely

- 1.1. Millaisia projekteja hoidat Elenialla?
- 1.2. Kuinka paljon niitä on?

2. Projektien toteuttaminen

- 2.1. Kuvaile projektin eteneminen?
 - 2.1.1. Onko käyttötiimi mukana projekteissa?
- 2.2. Missä vaiheessa projektia käyttötiimiä tarvitaan?
- 2.3. Mikä projektien toteuttamisessa (käytön kannalta) toimii hyvin tällä hetkellä?
- 2.4. Mitkä ovat projektien toteuttamisen haasteet?
 - 2.4.1. Voisiko haasteita korjata järjestelmiä muokkaamalla?

3. Projektin seuranta

- 3.1. Miten projektien tilaa seurataan tällä hetkellä?
- 3.2. Mikä on haasteena projektin etenemisen seurannassa?

4. Seurannan hyödyt

- 4.1. Millaisia hyötyjä tilan seurannasta olisi?
 - 4.1.1. Mihin asiaan ne vaikuttaisivat?
- 4.2. Mitkä voisivat olla työnseurantajärjestelmän haasteet?
- 4.3. Onko jotain muita asioita joihin automaattisen kytkentäsuunnittelun voisi hyödyntää projektien osalta?

Verkkoyhtiöt

1. Lämmittely

- 1.1. Haastattelun tavoite:
 - 1.1.1. Selvittää verkkoyhtiön kytkentäsuunnitteluprosessi
 - 1.1.2. Näkemysten kerääminen tulevaisuuden kytkentäsuunnittelutarpeista
- 1.2. Elenian käytönsuunnittelun kuvaus.
- 1.3. Diplomityön aiheen ja tavoitteen kuvaus

2. Kytkeäsuunnitteluprosessi

- 2.1. Mitä järjestelmiä on käytössä ja miten ne toimivat yhdessä?
 - 2.1.1. SCADA, DMS, NIS, CIS
- 2.2. Paljonko töitä on vuodessa
- 2.3. Miten kytkentäsuunnittelu on organisoitu?
 - 2.3.1. Montako työntekijää tekee kytkentäsuunnittelua?
- 2.4. Mikä on yleisin syy kytkentätöille?
- 2.5. Kuvaile kytkentäsuunnitteluprosessi
 - 2.5.1. Keneltä tulee kytkentätöiden tilaus?
 - 2.5.2. Millainen tilausaika kytkentätöillä on?
 - 2.5.3. Miten asiakastiedotus on toteutettu?
- 2.6. Kuvaile työn toteuttamista

- 2.7. Yhteenvedo prosessista, tilaus, tilausaika, suunnittelu, asiakastiedotus toteutus
- 2.8. Miten kytkentätilanteen oikeellisuutta hallitaan?
- 2.9. Miten uudenverkon käyttöönotto prosessi on toteutettu?

3. Automaation toteuttaminen

- 3.1. Millaisia huomioita teidän verkoissa on kytkentäsuunnittelua ajatellen?
 - 3.1.1. Hajautettu tuotanto
 - 3.1.2. Tärkeät asiakkaat
 - 3.1.3. Korvaustilanteet
 - 3.1.4. Apuyhteys ja rengaskäyttö
 - 3.1.4.1. Miten apuyhteys toimii?
 - 3.1.4.2. Millaista laskentaa sen käyttämisspätöksen tekemiseen käytetään?
- 3.2. Millaisia haasteita verkkonne kytkentäsuunnittelussa on?
- 3.3. Millaisia haasteita kytkentäsuunnittelun automatisoinnissa voi olla?
- 3.4. Millainen on ihannejärjestelmä kytkentäsuunnitteluun?
- 3.5. Muita ajatuksia kytkentäohjelman automatisoinnista

4. Tulevaisuus

- 4.1. Miten käytönsuunnittelun tehtävät kehittyvät?
- 4.2. Millaiset työt tulevat lisääntymään?
- 4.3. Millaisia asioita tulee tulevaisuudessa huomioida?
- 4.4. Millaisia hyötyjä näet kytkentäsuunnittelun automatisoinnissa?
- 4.5. Palaute haastattelukysymyksistä.

5. Savon Voiman Verkko Oy:n ABB DMS600 kysymykset

- 5.1. Mitä hyvää on avustavassa kytkentäsuunnittelu työkalussa?
 - 5.1.1. Millaista hyötyä se antaa kytkentäsuunnitteluun?
 - 5.1.2. Mitä asioita DMS600 -järjestelmässä pitäisi kehittää?
- 5.2. Millainen olisi ihannejärjestelmä kytkentäsuunnitteluun?

LIITE E: LOMAKETUTKIMUKSEN LOMAKE

Lomakehaastatteluun käytetty lomake. Käytönsuunnittelijat ja käytönvalvojat vastasivat eri kysymyksiin, työn kuvansa mukaan. Ensin on käytön suunnittelijoiden lomake ja sitten käytönvalvojeien lomake.

Käytönsuunnittelijoiden lomake:

Kytentäohjelman tarkastaminen

Tässä osiossa tarkastellaan, kuinka kauan kytentäohjelman tarkastamiseen kuluu suurinpiirtein aikaa

Kuinka monta kytentäohjelmaa tarkastat tyypillisessä aamuvuorossa? (valitse tyypillinen arvo) *

☐ En tarkasta kytentäsuunnitelmia

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ 6

☐ 7

☐ 8

☐ 9

☐ 10

☐ 11

☐ 12

☐ 13

☐ 14

☐ 15 tai enemmän

Kuinka kauan kuluu aikaa kytentäohjelman tarkastamiseen jonka keskeytyslaji on..

	<2min	2-4 min	4-6 min	6-8 min	8-10 min	>10 min
Asiakaskeyitys	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ei asiakaskeyitystä	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Jännitetyö	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Asiakaskeyitys + jännitetyö	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Asiakaskeyitys + dokumentointi	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Jännitetyö + dokumentointi	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Asiakaskeyitys + jännitetyö + dokumentointi	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Muuta huomioitavaa edelliseen kysymykseen?

Oma vastauksesi

Kuinka paljon kuluu aikaa, jos urakoitsijalle täytyy soittaa aloitteen virheen johdosta? (aika jonka vietät puhelimesta) *

	<2min	2-4 min	4-6 min	6-10 min	10-15 min	15-20 min	>20 min	Aloite hylätään
Urakoitsija vastaa välittömästi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ei vastaa, mutta soittaa takaisin	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
urakoitsija ei vastaa, eikä soita takaisin	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Muuta huomioitavaa edelliseen kysymykseen? Jos vastasit johonkin kohtaan yli 20 min, kuinka paljon aikaa kuluu?

Oma vastauksesi

Kytentäohjelma

Tässä osiossa tarkastellaan suppeasti kytentäsuunnittelun käytettyä aikaa.

Kuinka kauan kuluu aikaa kytentäohjelman rengasyhteyksien määrittämiseen, jos eri korvaus vaihtoehtoja on yhdelle korvaukselle 3 kappaletta (laskenta mukaan luettuna) *

☐ <2min

☐ 2-4 min

☐ 4-6 min

☐ 6-8 min

☐ 8-10 min

☐ 10-15 min

☐ > 15 min

☐ Muu: _____

Muuta huomioitavaa edelliseen kysymykseen?

Oma vastauksesi

TAKAISIN

LATAA

Sivu 3 / 3

Älä koskaan lähetä salasanaa Google Formsin kautta.

Käytönvalvojien lomake

KytKentäohjelman tarkastaminen

Tässä osiossa tarkastellaan, kuinka kauan kytKentäohjelman tarkastamiseen kuluu suurinpiirtein aikaa

Kuinka monta kytKentäohjelmaa tarkastat tyypillisessä aamuvuorossa? (valitse tyypillinen arvo) *

- ☐ En tarkasta kytKentäsuunnitelmia
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10
- ☐ 11
- ☐ 12
- ☐ 13
- ☐ 14
- ☐ 15 tai enemmän

Kuinka kauan kuluu aikaa kytKentäohjelman tarkastamiseen jonka keskeytyslaji on..

	<2min	2-4 min	4-6 min	6-8 min	8-10 min	>10 min
Asiakaskeytys	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ei asiakaskeytystä	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Jännitetyö	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Asiakaskeytys + jännitetyö	☐	☐	☐	☐	☐	☐
asiakaskeytys + dokumentointi	☐	☐	☐	☐	☐	☐
jännitetyö + dokumentointi	☐	☐	☐	☐	☐	☐
asiakaskeytys + jännitetyö + dokumentointi	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Muuta huomioitavaa edelliseen kysymykseen?

Oma vastauksesi

LIITE F: KYTKENTÄSUUNNITTELUPROSESSI, JOSSA TEHDÄÄN KÄYTTÖÖNOTTOTYÖ

Kuvaan on kuvattu automaattisen kytkentäsuunnitteluprosessin työssä, jossa tehdään käyttöönottoja. Kuva voi verrata luvun 6.3 kytkentäsuunnitteluprosessin esittely luvun kuvaan 6.8

Kuva seuraavalla sivulla.

