



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Hannu Hiltunen

**OPTIMAALINEN VARASYÖTTÖ
SÄHKÖASEMAKESKEYTYKSEN
AIKANA**

Tekniikka 2016

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Hannu Hiltunen
Opinnäytetyön nimi	Optimaalinen varasyöttö sähköasemakeskeytyksen aikana
Vuosi	2016
Kieli	suomi
Sivumäärä	92 + 18 liitettä
Ohjaaja	Jari Koski, Markku Pouttu

Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella Koillis-Satakunnan Sähkön keskijänniteverkon ja sen sähköasemien päämuuntajien riittävyyttä yksittäisen sähköaseman keskeytyksen aikana. Varasyöttötilanteessa johtimiin ja päämuuntajiin kohdistuneet rasitukset kasvoivat, kun vioittuneen sähköaseman johtolähtöjen kuormat täytyi korvata vaihtoehtoisia johdinreittejä pitkin läheisiltä sähköasemilta.

Varasyötön suunnittelussa ja tarkastelussa käytettiin apuna ABB MicroSCADA DMS 600 Pro –verkkotietojärjestelmää, johon on syötetty verkon laskennan kannalta oleelliset tiedot. Varasyötön suunnittelun tavoitteena oli löytää jokaiselle sähköasemalle sellaiset varasyöttökytkennät, joissa verkon jännitteenalenemat olivat mahdollisimman pienet, mutta johdinten ja päämuuntajien kuormitukset pysyivät sallituissa rajoissa ja johtolähtöjen oikosulkusuojaus toimitakuntoisina.

Tarkasteluiden perusteella Koillis-Satakunnan Sähkön keskijänniteverkon ja päämuuntajien kapasiteetit olivat riittävällä tasolla sähköasemien varasyöttöjen toteuttamiseksi. Päämuuntajien korvauskytkennöissä suurin osa kytkentätoimenpiteistä pystyttiin suorittamaan kauko-ohjauksella sähkölaitoksen valvomosta, mutta kiskostovaurion korvauskytkentään siirtyminen edellyttää useita paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä.

ABSTRACT

Author	Hannu Hiltunen
Title	Optimized Stand-by Supply during Substation Interruption
Year	2016
Language	Finnish
Pages	92 + 18 Appendices
Name of Supervisor	Jari Koski, Markku Pouttu

The purpose of this thesis was to examine the sufficiency of the medium voltage network and the main transformers of Koillis-Satakunnan Sähkö, during a substation interruption. When running on stand-by supply, the stress levels of the conductors and the main transformers increased after the damaged substation's feeder loads had to be replaced from the nearby substations, using the alternative routes.

The analysis and the examination of the stand-by supply were prepared with the help of ABB MicroSCADA DMS 600 Pro Network Editor. The goal was to find a replacement switching state with the smallest possible voltage drop in the network in case of a stand-by supply, while keeping the load levels of the conductors and the main transformers within the permitted limits and the short-circuit protection of the feeders operational.

In conclusion, the medium voltage network and the main transformer capacities of Koillis-Satakunnan Sähkö, are adequate to implement the substation stand-by supplies. The majority of switching procedures in the replacement switching of the main transformers could be executed remotely from the control room, but in case of a busbar system failure, the transition to replacement switching required multiple local-to-use switching procedures.

Keywords	Substation, stand-by supply, voltage drop, load capacity, short-circuit protection
----------	--

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	14
2	KOILLIS-SATAKUNNAN SÄHKÖ.....	15
3	SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU	16
	3.1 Suunnittelun sisältö.....	16
	3.2 Yleissuunnittelu	17
4	SUOJAUKSET.....	19
	4.1 Oikosulkusuojaus.....	19
	4.2 Maasulkusuojaus.....	20
5	KESKEYTYSTEN MERKITYS.....	22
	5.1 Sähkön toimitusehdot.....	22
	5.2 Sähkön laatutekijät.....	22
	5.2.1 Jännitetaso.....	22
	5.2.2 Keskeytykset	23
	5.2.3 Käyttövarmuuden tunnusluvut.....	25
	5.3 Käyttövarmuuden parantaminen.....	26
6	SÄHKÖASEMA	28
	6.1 Kiskostovaurio	29
	6.2 Päämuuntajakeskeytys	29
7	VARASYÖTTÖÖN LIITTYVÄT ONGELMAT.....	31
	7.1 Jännitteenalenema.....	31
	7.2 Kuormitettavuus.....	31
	7.3 Oikosulkusuojaus.....	32
8	VARASYÖTÖN SUUNNITTELU.....	34
	8.1 MicroSCADA DMS Pro 600.....	34
	8.1.1 Tehonjakolistaus	34
	8.1.2 Oikosulkulaskentalistaus.....	36
	8.2 Esimerkkilaskenta Ähtärin sähköaseman kiskostovaurio.....	38
	8.2.1 Kytkentätilanteen suunnittelu	38
	8.2.2 Oikosulkusuojaus	50

8.3	Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytys.....	52
9	TARKASTELUN TULOKSET	54
9.1	Haapamäki	54
9.1.1	Kiskostovaurio	55
9.1.2	Päämuuntajan korvaus	57
9.2	Heinäaho	58
9.2.1	Kiskostovaurio	58
9.2.2	Päämuuntajan korvaus	60
9.3	Inha	62
9.3.1	Kiskostovaurio	63
9.3.2	Päämuuntajan korvaus	65
9.4	Killinkoski (45 kV).....	66
9.4.1	Kiskostovaurio	67
9.4.2	Päämuuntajan korvaus	69
9.5	Kotala (20 kV jakoasema)	70
9.6	Ritari (45 kV).....	72
9.6.1	Kiskostovaurio	73
9.6.2	Päämuuntajan korvaus	74
9.7	Toopakka.....	74
9.7.1	Kiskostovaurio	75
9.7.2	Päämuuntajan korvaus	77
9.8	Virrat.....	79
9.8.1	Kiskostovaurio	80
9.8.2	Päämuuntajan korvaus	83
9.9	Ähtäri	85
9.9.1	Kiskostovaurio	86
9.9.2	Päämuuntajan korvaus	88
10	YHTEENVETO	90
	LÄHTEET.....	93

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Inhan Tuomarniemi-lähdön tehonjakolistaus Ähtärin päämuuntajan korvauskytkennän aikana	35
Kuva 2. Inhan Tuomarniemi-lähdön oikosulkulaskenta Ähtärin päämuuntajan korvauskytkennän aikana	37
Kuva 3. Ähtärin sähköaseman syöttämä verkko	39
Kuva 4. KytKentäkokeilunaikainen kytkentätilanne.....	42
Kuva 5. KytKentäkokeilunaikainen kytkentätilanne Ähtärin keskusta-alueella...	43
Kuva 6. Ennen kytkentämuutoksia.....	45
Kuva 7. KytKentämuutosten jälkeen	46
Kuva 8. Myllymäen lähtö ennen muutoksia.....	48
Kuva 9. Myllymäen lähtö kytkentämuutosten jälkeen	49
Kuva 10. Haapamäen sähköaseman korvauskytkentä.....	56
Kuva 11. Inhan sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä	64
Taulukko 1. Keskeytyksen keskimääräiset yksikköhinnat vuoden 2005 rahassa.	24
Taulukko 2. Inhan, Toopakan ja Ähtärin sähköasemien normaalitilanteen kuormitukset johtolähdöittäin.	40
Taulukko 3. Kokeilukytkennän tehonjakolistaus.	44
Taulukko 4. Kitulan ja Ähtärin lähtöjen kuormien jakautuminen.	45
Taulukko 5. Ennen kytkentämuutoksia.	47
Taulukko 6. KytKentämuutoksien jälkeen.	47
Taulukko 7. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.	50
Taulukko 8. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.	50
Taulukko 9. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.....	51
Taulukko 10. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolistauksen tulokset.	53

Taulukko 11. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.....	53
Taulukko 12. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.....	53
Taulukko 13. Haapamäen sähköaseman lähtöjen tiedot.....	54
Taulukko 14. Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.....	56
Taulukko 15. Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen oikosulkulaskennan tulokset.....	57
Taulukko 16. Heinäahon sähköaseman lähtöjen tiedot.....	58
Taulukko 17. Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.....	59
Taulukko 18. Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.....	60
Taulukko 19. Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.....	60
Taulukko 20. Heinäahon sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolistauksen tulokset.....	61
Taulukko 21. Heinäahon sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.....	62
Taulukko 22. Heinäahon sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.....	62
Taulukko 23. Inhan sähköaseman lähtötiedot.....	63
Taulukko 24. Inhan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.....	64
Taulukko 25. Inhan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.....	65
Taulukko 26. Inhan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.....	65
Taulukko 27. Inhan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.....	66

Taulukko 28. Killinkosken sähköaseman lähtötiedot.	67
Taulukko 29. Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.	68
Taulukko 30. Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.	68
Taulukko 31. Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.	68
Taulukko 32. Killinkosken sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolistauksen tulokset.	69
Taulukko 33. Killinkosken sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.	70
Taulukko 34. Killinkosken sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.	70
Taulukko 35. Kotalan jakoaseman lähtötiedot.	70
Taulukko 36. Kotalan jakoaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän tehonjakolaskennan tulokset.	71
Taulukko 37. Kotalan jakoaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.	72
Taulukko 38. Kotalan jakoaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.	72
Taulukko 39. Ritarin sähköaseman lähtötiedot.	72
Taulukko 40. Ritarin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.	73
Taulukko 41. Ritarin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.	73
Taulukko 42. Ritarin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.	74
Taulukko 43. Toopakan sähköaseman lähtötiedot.	75
Taulukko 44. Toopakan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.	76

Taulukko 45. Toopakan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.	76
Taulukko 46. Toopakan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.	77
Taulukko 47. Toopakan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolistauksen tulokset.	78
Taulukko 48. Toopakan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.	78
Taulukko 49. Toopakan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.	79
Taulukko 50. Virtain sähköaseman lähtötiedot.	80
Taulukko 51. Virtain sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.	81
Taulukko 52. Virtain sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.	81
Taulukko 53. Virtain sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.	82
Taulukko 54. Aution lähdön tehonjakolaskennan ilman Keiturin kuormia.	83
Taulukko 55. Aution lähdön oikosulkulaskenta ilman Keiturin kuormia.	83
Taulukko 56. Virtain sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolistauksen tulokset.	84
Taulukko 57. Virtain sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.	84
Taulukko 58. Virtain sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.	85
Taulukko 59. Ähtärin sähköaseman lähtötiedot.	86
Taulukko 60. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.	87
Taulukko 61. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.	87

Taulukko 62. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistus.....	88
Taulukko 63. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolistauksen tulokset.....	89
Taulukko 64. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.....	89
Taulukko 65. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.....	89
Taulukko 66. Paikalliskäyttöisten kytkentätoimenpiteiden tarve eri asemien keskeytyksissä.....	91

KÄYTETYT LYHENTEET

ABB MicroSCADA	ABB:n käytönvalvontajärjestelmä
A	ampeeri
CAIDI	customer average interruption duration index, keskeytysten keskimääräinen pituus tietyllä aikavälillä
esim.	esimerkiksi
GWh	gigawattitunti
I_{k2v}	kaksivaiheinen oikosulkuvirta
I_{k3v}	kolmivaiheinen oikosulkuvirta
kA	kiloampeeri
KAH	keskeytyksestä aiheutuva haitta
km	kilometri
KSS	Koillis-Satakunnan Sähkö
kV	kilovoltti
MAIFI	momentary average interruption frequency index, jälleekytkentöjen keskimääräinen määrä tietyllä aikavälillä
MW	megawatti
MVA	megavolttiampeeri
Oy	osakeyhtiö
P	pätöteho
PM1	Virtain sähköaseman päämuuntaja 1

PM2	Virtain sähköaseman päämuuntaja 2
Q	loisteho
S	näennäisteho
SAIDI	system average interruption duration index, keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kestoaika tietyllä aikavälillä
SAIFI	system average interruption frequency index, keskeytysten keskimääräinen lukumäärä tietyllä aikavälillä
SF6	Rikkiheksafluoridi, eristekaasu
SFS	Suomen standarditoimistoliitto
ts.	toisin sanoen
U_n	nimellisjännite
ΔU	jännitteenalenema

LIITELUETTELO

LIITE 1. Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 2. Haapamäen sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

LIITE 3. Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 4. Heinäahon sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

LIITE 5. Inhan sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 6. Inhan sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

LIITE 7. Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 8. Killinkosken sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

LIITE 9. Kotalan jakoaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 10. Ritarin sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 11. Ritarin sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

LIITE 12. Toopakan sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 13. Toopakan sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

LIITE 14. Virtain sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 15. Virtain sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

LIITE 16. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

LIITE 17. Ähtärin sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n toimeksiannosta. Työn tarkoitus oli selvittää sähkölaitoksen verkossa oleville sähköasemille paras mahdollinen varasyöttökytkentä sähköasemakeskeytyksen sattuessa. Varasyöttösuunnitelmat tehtiin kahdelle erilaiselle sähköaseman keskeytystyypille; kiskostovauriolle ja päämuuntajakeskeytykselle. Koillis-Satakunnan Sähkön verkossa on kuusi 110/20 kV sähköasemaa, kaksi 45/20 kV sähköasemaa sekä yksi 20 kV jakoasema.

Työssä tarkasteltiin korvaavan kytkentätilanteen vaikutusta verkon jännitteenaleniin, johdinten sekä päämuuntajien kuormitukseen ja oikosulkusuojauksien toimivuuteen. Apuna tarkasteluissa käytettiin pääsääntöisesti vuonna 2003 luotuja kiskostovaurion korvauskytkennän ohjeistuksia, mutta osittain muuttuneen verkon rakenteen takia tarkastelut tehtiin uudelleen ja ohjeistukset päivitettiin vastaamaan verkon nykyistä tilannetta. Työn pohjalta Koillis-Satakunnan Sähkön valvomoon luotiin toimintaohjeet jokaisen sähköaseman kiskostovaurion ja päämuuntajakeskeytyksen korvauskytkentöihin siirtymiseen.

2 KOILLIS-SATAKUNNAN SÄHKÖ

Koillis-Satakunnan Sähkö on konserni, joka koostuu emoyhtiöstä Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:stä, sen tytäryhtiöstä Killin Voima Oy:stä sekä SähköVirkeät Oy:stä.

Koillis-Satakunnan Sähkö Oy on vuonna 1946 perustettu yritys, jonka liiketoimintaan kuuluu sähkön myynti ja verkon rakennus-, huolto- sekä korjaustyöt Alavuden, Keuruun, Kihniön, Virtain ja Ähtärin alueella. Yrityksen keskustoimipiste sijaitsee Virroilla ja sivutoimipiste Ähtärissä. Koillis-Satakunnan Sähkö Oy työllistää vakituisesti 50 henkilöä. /3/

Koillis-Satakunnan Sähkön verkossa oli vuoden 2015 lopussa yhteensä 16 133 kiinnikettyä sähkökäyttöpaikkaa. Alueen runsaista vesistöistä johtuen 4953 sähkökäyttäjistä on erilaisia vapaa-ajan asuntoja. Yhtiön tärkeimpiä asiakkaita ovat yksityiset sähkökäyttäjät, jotka kuluttavat lähes puolet myydystä sähköstä. Vuonna 2015 sähkökäyttö yhtiön alueella väheni 3 % edellisvuodesta, kulutuksen jäädessä pienimmäksi sitten vuoden 2000. Kulutuksen notkahduksen aiheutti leuto talvi sekä yleisen pitkänajan sähkökulutuksen kasvuprosentin pienentyminen. /3/

Killin Voima Oy on sähköntuottaja, jonka omistuksessa on kolme vesivoimalaitosta. Voimalaitokset sijaitsevat Virroilla Killinkoskella ja Soininkoskella sekä Parkanossa Käenkoskella. Voimalaitosten tuotanto vesitilanteesta riippuen on yhteensä noin 27 GWh vuodessa. /3/

Sähkö Virkeät Oy on alueverkkoyhtiö, jonka omistuksessa on noin 190 km pitkä 110 kV alueverkko Alajärvi - Ähtäri - Virrat - Keuruu - Petäjävesi välillä. Alueverkkoyhtiön omistavat Koillis-Satakunnan Sähkö Oy (64,5 %) sekä Keuruun Sähkö Oy (35,5 %). /3/

3 SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU

3.1 Suunnittelun sisältö

Sähkönjakeluverkon suunnittelu on pitkälle tulevaisuuteen ulottuva prosessi, joka koostuu useasta eri tehtävästä. Suunnitteluun liittyvät tehtävät voidaan jakaa karkeasti viiteen eri osa-alueeseen, joita ovat:

- pitkän aikavälin kehityssuunnittelu (yleissuunnittelu)
- kohdesuunnittelu (verkostosuunnittelu)
- maastosuunnittelu
- rakennesuunnittelu
- työsuunnittelu.

Yleissuunnittelun tarkoitus on luoda pääsuuntaviivat verkon kehittämiseksi ja päättää mitä laajasti vaikuttavia investointeja verkolle on eri vuosina tehtävä, jotta se täyttää sille asetetut vaatimukset. Yleissuunnitelma toimii pohjana yksityiskohdasta kohdesuunnittelu tehtäessä. Kohdesuunnittelu keskittyy pienempiin kokonaisuuksiin, kuten johdinten ja muuntajien mitoittamiseen, laitevalintoihin sekä päättää investointien lopulliset toteutusajankohdat. /2, 5/

Maastosuunnittelun tehtävä on selvittää johdinten ja kaapeleiden reitit maastossa, sekä määrittää muuntamoiden ja jakokaappien tarkat sijoituspaikat. Maastosuunnittelun yhteydessä maanomistajien kanssa sovitaan maankäyttöön liittyvistä kysymyksistä. Rakennesuunnittelussa mitoitetaan esimerkiksi avojohtolinjan pylvää, harukset ja orsirakenteet. Rakennesuunnitelman tuloksena saadaan tekniset piirrokset kohteelle ja tarvikeluettelo tarvikkeiden tilausta varten. Työsuunnittelussa aikataulutetaan työn toteutus ja määritellään toteutukseen tarvittavat henkilöstö- ja työvälineresurssit. /2, 5/

Jokaisen suunnitteluvaiheen tavoitteena on löytää sellainen teknisesti toimiva ratkaisu, joka täyttää suunnitteluajanjakson ajan verkolle asetetut vaatimukset, mutta jonka elinkaarikustannukset ovat mahdollisimman edulliset. Kustannustehokkuus ja verkolle asetetut laatu- ja turvallisuusvaatimukset ovat yleensä ristiriidassa kes-

kenään, joten verkon suunnittelua pyritään ohjaamaan reunaehdoilla. Tyypillisiä verkon suunnittelua rajoittavia reunaehtoja ovat:

- jännitteenalenema ei saa olla sallittua suurempi
- johtojen terminen kestoisuus ei saa ylittyä
- johtojen tulee olla oikosulkukestoisia
- oikosulku- ja maasulkusuojausten tulee toimia
- käyttövarmuusvaatimuksien tulee täytyä
- sähköturvallisuusmääräyksien tulee täytyä. /5/

3.2 Yleissuunnittelu

Yleissuunnittelu on osa sähköverkon suunnitteluprosessia, joka keskittyy sähköverkon pitkän aikavälin suunnitteluun. Yleissuunnittelu luo verkolle kehitysstrategian, jotta sähköverkko täyttäisi tekniset, taloudelliset sekä turvallisuuteen ja luotettavuuteen liittyvät vaatimukset muutamaksi vuosikymmeneksi eteenpäin. /2/

Yleissuunnittelu pyrkii sähkönkulutuksen kehitystä seuraamalla arvioimaan, mihin suuntaan sähköverkkoa tulisi kehittää, jotta sen siirtokapasiteetti olisi riittävässä tasolla tulevaisuudessa. Yleissuunnittelu laatii sähköverkon pitkän aikavälin investointisuunnitelman, joka määrittää verkon muodon ja sen kehittämisen pääsuuntaviivat sekä mahdollistaa sähkölaitoksen talouden suunnittelun. Suunnitelmasta käy ilmi verkolle tehtävät laajasti vaikuttavat investoinnit, joita ovat esimerkiksi uuden sähköaseman rakentaminen, johdinvahvistukset tai uuden keskijännitelinjan rakennus, sekä niiden ajoitukset. Sähkönjakeluverkon komponenttien pitkät teknis-taloudelliset pitoajat ja korkeat investointikustannukset korostavat yleissuunnittelun merkitystä. /2/

Suomessa on jo lähes koko maan kattava kiinteä sähköverkko, joten yleissuunnittelun tärkeimpänä lähtökohtana voidaan pitää olemassa olevan sähköverkon nykyistä tilaa. Useimmissa tapauksissa olemassa olevien linjojen vahvistaminen ja huoltaminen on edullisempaa kuin kokonaan uusien linjojen rakentaminen. Monesti vanhat linjat on kuitenkin rakennettu keskelle metsää lyhintä johdinpituutta

ajatellen, jolloin linjojen siirtäminen tienvarteen parantaisi niiden luotettavuutta ja vähentäisi keskeytys- ja ylläpitokustannuksia. /5/

Sähkömarkkina-alueilla vuonna 2013 annetun määräyksen mukaan keskijänniteverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei saa aiheuttaa asiakkaille asemakaava-alueella yli 6 tuntia kestävästä keskeytyksestä, eikä asemakaava-alueen ulkopuolella yli 36 tuntia kestävästä keskeytyksestä. Säävarmuusvaatimusten täyttyminen asemakaava-alueella käytännössä edellyttää keskijänniteverkon siirtämistä maan alle vuoteen 2029 mennessä, sekä huomattavia käyttövarmuutta parantavia investointeja asemakaava-alueen ulkopuolella. Tällaisten suurten ja laajasti vaikuttavien investointien takia sähkönjakelulle tulevaisuudessa asetettavat tavoitteet ja tarkasteluajanjakson aikana vaikuttavat kehitystekijät näyttelevät suurta roolia yleissuunnittelussa. /7/

4 SUOJAUKSET

Oikosulku- ja maasulkusuojauksien toimivuudella on suuri merkitys sähkönjakelun turvallisuuteen. Suomessa noudatetaan kansallista sähköturvallisuusstandardia, jossa on esitetty joukko yleisiä suojaukselle asetettuja vaatimuksia, jotka sähköyhtiön tulee täyttää. Turvallisuuskäytännön lisäksi vähimmäisvaatimuksia tehokkaammalla suojauksella, ja siihen liittyvällä automaatiolla, voidaan parantaa sähkönjakelun luotettavuutta. /5/

Keskijänniteverkon syöttö toteutetaan yleensä säteittäisenä, koska se yksinkertaistaa selektiivisen suojauksen toteuttamista. Tähtipistemaadoituksen ja nollajohtimen puuttuminen tekee maasulusta vian, joka poikkeaa luonteeltaan oikosulkuvian. Maasulkuvika aiheuttaa verkossa epäsymmetriatilanteen, vikavirran jäädessä yleensä kuormitusvirtaa pienemmäksi. Tämän vuoksi maasulun tunnistaminen ja paikantaminen vaatii oman tekniikkansa. /5/

4.1 Oikosulkusuojaus

Jakeluverkossa oikosulku on tilanne, jossa kaksi tai kolme vaihejohtinta on suoraan, valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta yhteydessä toisiinsa. Tällainen tilanne aiheutuu usein eristevian tai jonkin ulkoisen kosketuksen takia. /5/

Oikosulkusuojauksen tarkoituksena on suojata johtimia ja laitteistoa oikosulkuvirran aiheuttamalta lämpenemiseltä sekä kytkeä vioittunut johto-osa irti verkosta. Suojauksen toisena tavoitteena on taata järjestelmän turvallisuus myös vikatilanteissa sekä käyttäjille että ulkopuolisille. Suomessa oikosulku- ja ylivirtasuojaukseen käytetään vakioaikaylivirtarelettä, joka sisältää isolla virralla hetkellislaukaisun aikaansaavan toiminnon. /5/

Avojohtoverkon johdinten hyvän lämmönluovutuskyvyn ansiosta sen ylikuormittuminen on harvinainen tilanne. Tämän takia oikosulkusuojauksen havahtumisvirran asetteluarvo avojohtoverkossa voidaan valita siten, että rele toimii noin kaksinkertaisella kuormitusvirralla, mikäli kaksivaiheinen oikosulkuvirta verkon lop-

pupäässä on riittävä. Maakaapeliverkossa havahtumisen pitää tapahtua viimeistään kaapelin kuormitettavuuden tullessa vastaan. /5/

Oikosulkuvialle tyypillistä on huomattavasti kuormitusvirtaa suurempi virta. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta 110 / 20 kV -sähköaseman kiskostossa on noin 5-12 kA, riippuen siirtoverkon jäykkyydestä ja sähköaseman päämuuntajan koosta. Keskijänniteverkossa oikosulkuvirran suuruus riippuu sähköaseman ja vikapaikan välisten johdinten pituudesta sekä poikkipinta-alasta. Johdinten impedanssilla on suuri vaikutus oikosulkuvirran suuruuteen, koska jo muutaman kilometrin matkalla oikosulkuvirta pienenee muutamasta kiloampeerista satoihin ampeereihin. Pitkien ja pieni poikkipinta-alaisten linjojen päässä tapahtuvissa oikosuluissa vikavirta voi jäädä niin pieneksi, että suojausten havahtumisesta voi tulla ongelma. /5/

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta I_{k3v} lasketaan kaavalla

$$I_{k3v} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (1)$$

jossa U on pääjännite ja Z on vikapaikassa näkyvä Theveninin impedanssi

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta I_{k2v} saadaan kertomalla kolmivaiheinen oikosulkuvirta vakiolla $\frac{\sqrt{3}}{2}$

$$I_{k2v} = I_{k3v} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2)$$

4.2 Maasulkusuojaus

Suomessa keskijänniteverkon maadoitustapana käytetään tähtipisteestä maasta erotettua verkkoa tai sen erikoismuotoa sammutettua verkkoa. Sammutetussa verkossa verkon johdinten maakapasitanssien muodostama reaktanssi pyritään kumoamaan verkon tähtipisteeseen kytketyllä sammutuskuristimella. /5/

Maasulku aiheutuu, kun maasta erotetun verkon vaihejohdin on yhteydessä maahan tai suojamaadoitettuun osaan valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta. Maasulkusuojauksen toteuttamiseen käytetään maasulun suuntarelettä, jonka toiminta perustuu johtolähdön summavirran ja tähtipistejännitteen mittaamiseen. Maasulku aiheuttaa lähdön vaihevirtoihin epäsymmetriaa, joka aiheuttaa tähtipistejännitteen muodostumisen. Maasulkusuojauksen suuntareleen toiminnan edellytyksenä on, että vioittuneen lähdön summavirta sekä tähtipistejännite ylittävät reellelle asetetut arvot. /5/

Maasta erotetun verkon maasulun aiheuttama vikavirta on yleensä melko pieni, 5-100 A. Maasulkuvirran suuruus riippuu päämuuntajan perään kytketyn verkon laajuudesta. 20 kV avojohtoverkon synnyttämä maasulkuvirta on keskimäärin 0,067 A/km ja 20 kV kaapelilla 2,7 - 4 A/km kaapelin tyypistä riippuen. /5/

Vikaresistanssin arvo vaikuttaa jännite-epäsymmetrian laatuun ja sitä kautta tähtipistejännitteen suuruuteen. Vikaresistanssin ollessa nolla, viallisen vaiheen jännite putoaa nolnaan, terveiden vaiheiden jännite kasvaa pääjännitteen tasolle ja tähtipistejännite nousee vaihejännitteen suuruiseksi. Vikaresistanssin kasvaessa maasulkuvirta ja tähtipistejännite pienenevät. /5/

Maasulkusuojauksen salliman kosketusjännitteen määrittämisessä pyritään siihen, että sähköiskutilanteessa vältettäisiin hengenvaarallisen sydänkammiovärinän syntyminen. Kosketusjännitettä määritettäessä huomioidaan kehon kautta kulkeva virta, vian kestoaika sekä vian kokonaisimpedanssiin vaikuttava virran kulkutie kehossa. Maasulun aiheuttaman kosketusjännitteen suuruus riippuu maasulkuvirrasta sekä suojamaadoituksen resistanssista. Maasulkusuojausta voidaan parantaa lisäämällä maadoitusta, lyhentämällä laukaisun hidastusaikaa, pienentämällä verkon maasulkuvirtaa sammutuskuristimella tai jakamalla verkko pienempiin osiin. /5/

5 KESKEYTYSTEN MERKITYS

5.1 Sähkön toimitusehdot

Sähkölaitoksen ja asiakkaan välinen sähkötoimitussopimus perustuu Energiateollisuus ry:n suosittlemiin sähkötoimitusehtoihin. Ehtojen mukaan ”sähkötoimituksessa on virhe, jos sähkön laatu tai toimitustapa ei vastaa sitä, mitä on sovittu tai mitä voidaan katsoa sovittun”. Suomessa noudatetaan yleisesti standardin SFS-EN 50160 mukaisia sähkön laatuvaatimuksia. /1/

Sähkötoimitusehdossa käyttövarmuudesta sanotaan, että ”toimitustapaa arvioitaessa on otettava huomioon, että sähkötoimitukselta ei voida edellyttää keskeytyksettömyyttä.” ja ”sähkötoimituksessa on virhe, jos sähkötoimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytymistä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä”. Sähköyhtiö on kuitenkin oikeutettu väliaikaisesti keskeyttämään sähkönjakelu, ”jos se on välttämätöntä ihmishenkeä, terveyttä tai omaisuutta uhkaavan vaaran torjumiseksi” tai ”jos se on välttämätöntä palvelun ylläpitämistä varten tarpeellisten laitteiden huollon, muutoksen, tarkastuksen, vian selvittämisen tai muun vastaavan syyn vuoksi.” /1/

5.2 Sähkön laatutekijät

Standardissa SFS-EN 50160 on esitetty raja-arvot seuraaville sähkön laatuun vaikuttaville tekijöille: jakeluverkon taajuus, jakelujännite, signaalijännite, harmoniset ja epäharmoniset jännitteenyliäallot, välkyntä (äkilliset jännitetasonvaihtelut), jännitteen epäsymmetria, transienttiylijännitteet sekä luotettavuuden osalta jännitekuopat ja keskeytykset. /8/

5.2.1 Jännitetaso

Yksi sähkön tärkeimmistä teknisistä laatutekijöistä on asiakkaalle toimitetun jännitteen standardinmukaisuus. Jännitetasolla tarkoitetaan jännitteen keskiarvoa pitkällä aikavälillä. Jännitteen suhteen vaativat laitteet eivät välttämättä toimi halutulla tavalla, jos jännitetaso on liian alhainen tai vastaavasti liian korkea. /5/

Standardissa SFS-EN 50160 on esitetty jännitetasolle seuraavanlaiset reunaehdot verkon normaaleissa käyttöolosuhteissa asiakkaan liittymiskohdassa:

- Jokaisen viikon aikana 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista tulee olla välillä $U_n \pm 10$ %.
- Kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla väliltä $U_n +10 / -15$ %.

Standardissa jännitteen tehollisarvoa käsitellään 10 minuutin keskiarvon mukaan, joka sallii hetkittäisen standardia suuremman jännitteenvaihtelun. Standardin epätarkkuuden takia sähköalalla on määritetty omat jännitetasoa rajoittavat ohjearvot. Normaali-laadun jännitteen vaihtelurajoiksi on määritetty $U_n +10 / -6$ %, joka tarkoittaa asiakkaan liittymispisteestä mitattuna 207 – 244 V. /8/

Standardin määräys ei kuitenkaan koske sähköasemakeskeytyksen aikaista varasyöttötilannetta. Yleisen ohjesäännön mukaan häiriötilanteessa keskijänniteverkon jännitteenalenemaksi kaupunkialueella sallitaan 5-7 % ja maaseudulla 10 % /5/. KSS:n ohjearvon mukaan varasyöttötilanteessa keskijänniteverkon suurimaksi jännitteenalenemaksi sallitaan 10 %. Käytännössä suurin jännitteenalenema KSS:n keskijänniteverkon varasyöttötilanteessa jäi kuitenkin alle 8 %:iin.

5.2.2 Keskeytykset

Standardin SFS-EN 50160 mukaan sähköjakelun keskeytykseksi lasketaan tilanne, jossa jännite asiakkaan liittymispisteessä laskee alle 1 %:iin sopimuksen mukaisesta jännitteestä. Sähköjakelun keskeytyks aiheuttaa haittaa sähkölaitokselle sekä sähköön kuluttajille. Keskeytykset voivat olla suunniteltuja työkeskeytyksiä tai odottamattomia vikakeskeytyksiä. Odottamattomista keskeytyksistä sähköyhtiölle aiheutuva haitta koostuu suurimmaksi osaksi vian korjaamisen aiheuttamista materiaali- ja palkkakuluista. Toimittamatta jääneellä sähköllä on yleensä pieni taloudellinen merkitys sähkölaitokselle. Asiakkaalle keskeytyksestä aiheutuvan haitan (KAH) arvostus on olennaisesti tätä suurempi. /6, 4/

Kuluttajalle sähkönjakelun keskeytymisestä aiheutuva haitta riippuu kuluttajan tyypistä, keskeytysajasta, keskeytysajankohdasta ja siitä onko keskeytys suunniteltu vai odottamaton. Teollisuudessa lyhytkin keskeytys sähkönjakelussa saattaa aiheuttaa asiakkaalle tuotantomenetyksiä, tuotevirheitä ja lisäkustannuksia tuotannon uudelleen käynnistämisen takia. Kotitalousasiakkaalle pitkä suunnittelematon keskeytys voi aiheuttaa esim. pakasteiden sulamista ja sitä kautta suurentaa keskeytyksestä aiheutuvia kustannuksia. /6, 4/

KAH-arvo lasketaan keskeytysaikojen, keskeytysten lukumäärien ja keskeytysten yksikköhintojen perusteella seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$K_{KAH_{odott,k}} = (t_{odott} * P_{as} * h_{E,odott} + n_{odott} * P_{as} * h_{W,odott}) \frac{KHI_{k-1}}{KHI_{2004}} \quad (3)$$

jossa $K_{KAH_{odott,k}}$ on odottamien keskeytysten KAH kustannus vuoden k rahanarvossa, t_{odott} on odottamattomien keskeytysten keskeytysaika, P_{as} on asiakkaiden keskikulutusteho, $h_{E,odott}$ on odottamattomien keskeytysten energiahinta, n_{odott} on odottamattomien keskeytysten määrä, $h_{W,odott}$ on odottamattomien keskeytysten tehohinta, KHI_{k-1} on kuluttajaindeksi vuonna k-1 ja KHI_{2004} on kuluttajaindeksi vuonna 2004. /2/

Suunniteltujen keskeytysten sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen KAH kustannukset lasketaan samalla kaavalla kuin odottamattomien keskeytysten KAH kustannukset, mutta eri yksikköhintoja käyttäen. Energiaviraston tekemän selvityksen mukaan KAH-arvon laskemiseen käytetään taulukon 1 mukaisia yksikköhintoja. /2/

Taulukko 1. Keskeytyksen keskimääräiset yksikköhinnat vuoden 2005 rahassa.

Odottamaton keskeytys		Suunniteltu keskeytys		AJK	PJK
$h_{E,odott}$	$h_{W,odott}$	$h_{E,suun}$	$H_{E,suun}$	h_{AJK}	h_{PJK}
11,0 €/kWh	1,1 €/kW	6,8 €/kWh	0,5 €/kW	1,1 €/kW	0,55 €/kW

5.2.3 Käyttövarmuuden tunnusluvut

Sähköverkon käyttövarmuuden kannalta tärkeitä tunnuslukuja ovat keskeytystaajuus, keskeytyksen pituus ja keskeytyksen kokevien asiakkaiden lukumäärä. Kansainvälisessä standardissa IEEE 1366 on esitetty seuraavat tunnusluvut:

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), keskeytysten keskimääräinen lukumäärä tietyllä aikavälillä.
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index), keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kestoaika tietyllä aikavälillä.
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), keskeytysten keskimääräinen pituus tietyllä aikavälillä .
- MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index), jälleenkytkentöjen keskimääräinen määrä tietyllä aikavälillä.

SAIFI, SAIDI ja CAIDI lasketaan yhtälöiden 4, 5 ja 6 avulla.

$$SAIFI = \frac{\text{Katkojen kokonaismäärä}}{\text{Asiakkaiden lukumäärä}} = \frac{\sum_j n_j}{N_S} \quad (4)$$

jossa n_j on asiakkaan j kokemien keskeytysten määrä ja N_S on kaikkien asiakkaiden lukumäärä.

$$SAIDI = \frac{\text{Katkojen kokonaiskesto}}{\text{Asiakkaiden lukumäärä}} = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N_S} \quad (5)$$

jossa t_{ij} on asiakkaalle j keskeytyksestä i aiheutunut sähkötön aika ja N_S on kaikkien asiakkaiden lukumäärä.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{\text{Katkojen kokonaiskesto}}{\text{Asiakkaiden kokemian katkojen kokonaismäärä}} = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{\sum_j n_j} \quad (6)$$

jossa t_{ij} on asiakkaalle j keskeytyksestä i aiheutunut sähkötön aika ja n_j on asiakkaan j kokemien keskeytysten määrä tietyllä aikavälillä.

5.3 Käyttövarmuuden parantaminen

Määrällisesti noin 90 % asiakkaan kokemista keskeytyksistä johtuu keskijänniteverkossa tapahtuvista vika- tai työkeskeytyksistä. Ajallisesti noin 70 % asiakkaan kokemasta keskeytysajasta koostuu keskijänniteverkon vioista ja niiden korjaamiseen kuluvasta ajasta. Keskijänniteverkon luotettavuuden parantaminen on siten tärkeä asia käyttövarmuuden kannalta. /5/

Keskijänniteverkon käyttövarmuutta voidaan kehittää monilla erilaisilla toimenpiteillä. Verkon kehittämisen kohteena on yleensä verkon vikataajuuden pienentäminen, keskeytysten keskimääräisen kestoajan lyhentäminen ja vian vaikutusalueen rajaaminen. Verkon käyttövarmuutta parantavat investoinnit voivat vaikuttaa suoranaisesti yhteen tai useampaan edellä mainituista asioista. Esimerkiksi avojohdinten muuttaminen maakaapeleiksi pienentää tuntuvasti verkon vikataajuutta ja poistaa lähes kokonaan pika- ja aikajälleenkytkennöistä aiheutuvat lyhyet keskeytykset. Toisaalta maakaapelin korjaukseen kuluva aika on huomattavasti avojohdinta pidempi, mutta käyttövarmuusvaatimuksien takia verkko on yleensä rakennettu renkaiksi. Verkostoautomaation, esim. kauko-ohjattavien erottimien, lisääminen puolestaan nopeuttaa vian vaikutusalueen rajaamista ja sähköön palauttamista terveelle verkon osalle, minkä seurauksena asiakkaan kokema keskimääräinen keskeytysaika lyhenee. Parhaaseen tulokseen päästään yleensä yhdistämällä verkon kehitystoimenpiteitä. /9/

Käyttövarmuuden kannalta sähköasemakeskeytyksen varasyötönsuunnittelu on tärkeä asia, koska sähköasemakeskeytyksen sattuessa, suuri määrä asiakkaita jää yhtäaikaaisesti ilman sähköä. Sähköaseman sijainnista ja sen keskeytystyypistä riippuen sähkö täytyy palauttaa jännitteettömäksi jääneelle verkon osalle vaihtoehtoisia reittejä rengasyhteyksiä käyttäen tai sähköaseman kiskoston ja läheiseltä sähköasemalta tulevan yhdysjohdon avustuksella. Verkon rengasrakenne parantaa

sen käyttövarmuutta normaalissa kytkentätilanteessa ja helpottaa varasyötön toteuttamista.

Sähköaseman varasyöttöön siirtyminen edellyttää useita kytkentätoimenpiteitä ja jakorajamuutoksia keskeytyksen kokeneen sähköaseman sekä korvaavien sähköasemien syöttämällä alueilla. Kauko-ohjattavien erottimien lisääminen kriittisiin paikkoihin nopeuttaa huomattavasti sähkön palauttamista ja lyhentää asiakkaan kokeman keskeytyksen pituutta. Korvauskytkennän aikana johtolähtöjen pituudet ja asiakasmäärät kasvavat, joten verkkokatkaisijoiden ja vianilmaisimien lisääminen verkkoon helpottaa oikosulkusuojausten selektiivistä toteuttamista ja siten vähentää asiakkaiden kokemien keskeytyksien määrää.

6 SÄHKÖASEMA

Sähköasema on sähkönjakeluverkon tärkein yksittäinen osa. Siellä muunnetaan yleensä 110 kV tai 45 kV siirtojännite 20 kV jakelujännitteeksi. Sähköasema toimii verkon monipuolisena jakelukeskuksena, jossa sijaitsee suurin osa verkon suojaruleistyksestä ja muusta automaatiosta. Sähköaseman sijainti ja koko määrittävät sen keskijännitejohtolähtöjen pituuden, mitoitukset ja osittain myös varayhteydet. /5/

Sähköasema koostuu suurjännitekytkinlaitoksesta, yhdestä tai useammasta päämuuntajasta, keskijännitekytkinlaitoksesta ja apujännitejärjestelmästä käytönvalvontatoimintoineen. Haja-astutusalueella käytetään yleisesti ilmaeristeisiä kytkinlaitoksia ja kaupunkiolosuhteissa puolestaan tilansäästö- ja ulkonäkösyistä SF6-kaasueristeisiä ratkaisuja. /5/

Päämuuntaja on sähkönjakelun kannalta oleellinen osa, ja samalla sähköaseman kallein komponentti, minkä takia päämuuntajaa suojataan tehokkaasti ylivirta- ja differentiaalireleillä. Ylivirtarele estää muuntajan liiallisen ylikuormittumisen ja differentiaalirele mittaa muuntajan virtojen perusteella sen sisäisiä vikoja, kuten oikosulkua, maasulkua, käämisulkua ja kierrossulkua. Päämuuntajan yhteydessä, yläjännitepuolella, on käämikytkin, joka pyrkii pitämään keskijänniteverkon jännitetasoa vakiona 110 kV verkon jännitetasosta tai muuntajan kuormituksesta riippumatta. /5/

Koillis-Satakunnan Sähkön verkossa on kuusi 110/20 kV sähköasemaa, kaksi 45/20 kV sähköasemaa sekä yksi 20 kV jakoasema. Kaikkien sähköasemien keskijännitekiskostot on toteutettu yksikiskojärjestelmällä ja kullakin sähköasemalla on vain yksi päämuuntaja, Virtain sähköasemaa lukuun ottamatta. Virtain sähköasemalla on 20 kV kiskostoa syöttävän päämuuntajan (PM2) lisäksi kolmikääminen päämuuntaja (PM1), jolla verkon normaalissa kytkentätilanteessa syötetään sähkö 45 kV verkkoon ja sieltä edelleen Killinkosken ja Ritarin sähköasemille. Kolmikäämisyyden ansiosta päämuuntajalla voidaan tarvittaessa syöttää myös 20

kV kiskostoa, mutta verkon normaalissa kytkentätilanteessa kiskoston ja muuntajan välinen erotin on auki.

Optimaalisen varasyötön tarkastelussa tarkastelut tehtiin kahdelle erilaiselle sähköaseman keskeytystyypille; kiskostovauriolla ja päämuuntajakeskeytykselle.

6.1 Kiskostovaurio

Sähköaseman kiskostovauriolla tarkoitetaan tilannetta, jossa sähköaseman keskijännitekiskostoon tai -kojeistoon syntyy sellainen vika, joka estää koko sähköaseman käyttämisen sähkön jakeluun. Vian seurauksena sähköasema on erotettava verkosta ja korvaavan kytkentätilanteen mahdollistavat kytkennät on suoritettava sähköaseman ulkopuolella.

Sähkönjakelun keskeytyminen sähköaseman kiskostossa tapahtuvan vaurion seurauksena on erittäin harvinainen tilanne. Koillis-Satakunnan Sähkön historiassa on tapahtunut yksi sähköasemakeskeytyksen aiheuttanut kiskostovaurio. Keskeytyksen aiheutti kojeiston katkaisijakennossa tapahtunut oikosulku, jonka seurauksena keskijännitekiskostoa jouduttiin puhdistamaan.

6.2 Päämuuntajakeskeytys

Päämuuntajakeskeytys on varasyötön kannalta usein kiskostovauriota helpompi tilanne. Päämuuntajakeskeytyksen aikana ainoastaan sähkölaitoksen päämuuntaja erotetaan verkosta, jolloin keskijännitekiskosto sekä -kojeisto jäävät käytettäväksi. Sähköaseman sijainnista ja varayhteyksistä riippuen keskijännitekiskoston käytettävyys mahdollistaa joidenkin johtolähtöjen oikosulkusuojauksen selektiivisen toteuttamisen ja yleensä kiskostovaurion kytkentätilannetta pienemmän jännitteenaleneman muodostumisen. Sähköasemien välille on yleensä rakennettu vahvistettu keskijännitejohtoyhteys, jota pitkin suurin osa sähköaseman korvattavasta tehosta voidaan varasyöttötilanteessa siirtää.

Päämuuntajan korvauskytkentään joudutaan siirtymään, kun sähköaseman 110 kV katkaisija, syöttökennon 20 kV katkaisija tai päämuuntaja, tai jokin sen lisälait-

teista, vioittuu tai joutuu määräaikaishuoltoon. Määräaikaishuoltojen takia varasyöttötilanteeseen siirrytään jokaisella sähköasemalla noin 1-3 vuoden välein. Yksittäisten komponenttien huoltovälit ovat huomattavasti sitä pidempiä, mutta komponenttien eriävien huoltotiheyksien takia kaikkia komponentteja ei voida huoltaa saman keskeytyksen aikana.

Koillis-Satakunnan Sähkön historiassa päämuuntajavauriosta johtuneita sähköasemakeskeytyksiä on tapahtunut 2 viimeisen ~30 vuoden aikana; 2000-luvun alussa Ritarin sähköaseman päämuuntajan käämi vaurioitui salaman iskun seurauksena ja 80-luvun alussa Virtain sähköaseman PM2:n käämikytkimen vaurio keskeytti päämuuntajan toiminnan.

7 VARASYÖTTÖÖN LIITTYVÄT ONGELMAT

7.1 Jännitteenalenema

Sähköasemakeskeytyksen aikana sähköä pyritään usein toimittamaan mahdollisimman monelle kuluttajalle, vaikka vaihtoehtoisen kytkentätilanteen jälkeen jännitetasosta kaikilla johto-osilla ei aina voida olla täysin varmoja /6/. Nykyaikaiset verkkotietojärjestelmät kuitenkin helpottavat verkon tarkastelua ja varasyötön suunnittelua.

Uusi sähköasema rakennetaan, kun alueen kuormitukset nousevat tasolle, jolla uuden sähköaseman vuotuiset investointikustannukset ovat edullisemmat kuin sähkönjakelun vuotuiset häviökustannukset yhdistettynä jakeluverkon vahvistuskustannuksiin jännitteenaleneman kurissapitämiseksi. Uuden sähköaseman rakentaminen pienentää keskijännitejohtimiin kohdistuvaa kuormitusta muuttamalla osan sähkönsiirrosta ylemmälle jänniteportaalle. Kuormituksen pienentyminen näkyy johtimissa virran pienenemisenä, joka aikaansaa johdinhäviöiden ja jännitteenaleneman pienenemisen. Varasyötön kannalta ongelmalliseksi asian tekee se, että uuden sähköaseman varasyöttötilannetta vastaa yleensä kytkentätilanne ennen aseman valmistumista. Jos alueen jännitetaso on ollut alhainen ennen uuden aseman valmistumista, voivat sen varasyöttömahdollisuudet vähentyä merkittävästi jo muutamassa vuodessa kulutuksen kasvun takia. Tällaisessa tilanteessa verkkoon voidaan joutua tekemään vahvistusinvestointeja varasyötön mahdollistamiseksi. /5, 6/

7.2 Kuormitettavuus

Jokaiselle verkon komponentille on määritetty suurin sallittu kuormitettavuus erilaisten asennusolosuhteiden mukaan. Kuormitettavuuden ylittyminen aiheuttaa komponentissa lämpenemistä, joka nopeuttaa sen vanhenemista ja voi aiheuttaa paloturvallisuusriskin. /5/

Varasyötön suunnittelussa kiinnitettiin erityisesti huomiota sähköasemien päämuuntajien ja johtolähtöjen kuormitusasteisiin. Sähköasemat suunnitellaan yleen-

sä niin, että normaalitilanteessa päämuuntajakapasiteetista on käytössä enimmäkseen 60 – 80 %. Loput päämuuntajakapasiteetista on varattu varatehoksi saman sähköaseman naapurimuuntajan tai naapurisähköasemien keskeytyksien varalle. /5/

Varasyöttötilanteessa päämuuntajaa voidaan ajaa hetkellisesti 10 - 30 % ylikuormalla, mikäli ympäristön lämpötila on alhainen. Suomen olosuhteissa huippukuormitukset ajoittuvat yleensä kylmimpään talviaikaan, kun lämmityksen tarve on suurimmillaan. Ylikuormitusmahdollisuutta ei tule kuitenkaan ottaa huomioon laitevalintoja tehtäessä, koska jo lähellä nimelliskuormitettavuutta ajaminen vanhentaa muuntajan eristyksiä lyhentäen sen käyttöikää useilla vuosilla /5/. Tässä opinnäytetyössä kytkentäjärjestelyt toteutettiin niin, että päämuuntajien tai johdinten kuormitukset ei missään tilanteessa noussut yli nimellisen.

Avojohtimien hyvän lämmönluovutuskyvyn ansiosta niiden ylikuormittuminen on harvinainen tilanne. Avojohtoverkkoa suunniteltaessa kuormitettavuutta rajoittavammaksi tekijäksi muodostuu yleensä johdinten aiheuttama jännitteenalenema ja oikosulkukestoisuus. /5/ Normaalissa kytkentätilanteessa ilmajohtimien kuormitusasteet olivat vain muutamista prosenteista pariin kymmeneen prosentteihin ja varasyöttötilanteessakin maksimissaan noin 60 %.

Maakaapelin kuormitettavuutta rajoittaa sen heikohko lämmönluovutuskyky, joten varasyötön aikaisen kuormituksen kasvu on syytä ottaa huomioon jo kaapelin mitoitusvaiheessa. Kaapelin liiallinen ylityö on normaalkuormitukseen nähden ei kuitenkaan ole taloudellisesti kannattavaa, joten jossain tilanteissa varasyöttö on kannattavampaa toteuttaa pidempiä johdinreittejä pitkin jännitteenaleneman kustannuksella tai rakentamalla uusi keskijänniteyhteys, joka parantaa verkon luotettavuutta myös normaalissa kytkentätilanteessa.

7.3 Oikosulkusuojaus

Varasyöttötilanteessa oikosulkusuojauksen toteuttamisesta saattaa tulla ongelmallista, kun yksittäisen johtolähdön perässä olevan verkon pituus ja/tai kuormitus

kasvaa oleellisesti. Oikosulkuvirta on voimakkaasti riippuvainen johtolähdön pituudesta, ts. verkon impedanssista. Johtolähdön perässä olevan verkon pituuden kasvaminen voi aiheuttaa tilanteen, jossa kaksivaiheinen oikosulkuvirta verkon perällä ei ylitä johtolähtöä suojaavan releen aikalauekaisen havahtumisvirtarajaa, eikä täten aiheuta releen havahtumista.

Oikosulkusuojausta tarkasteltaessa on syytä huomioida myös se, että johtolähdön kuormitusvirta ei ylitä kyseistä johtolähtöä suojaavan releen aikalauekaisen havahtumisvirtarajaa. Havahtumisvirtarajan ylittäminen aiheuttaa releen havahtumisen pelkän kuormituksen kasvun takia, ilman todellista vikaa. Tällainen tilanne saattaa aiheutua, kun korvattavan tehon tarve on suuri, mutta korvaavia varayhteyksiä on käytössä rajallinen määrä. Ylivirtareleen asetteluarvoja pystytään tarvittaessa muokkaamaan releen perässä olevan suojattavan verkon sallimissa rajoissa.

8 VARASYÖTÖN SUUNNITTELU

8.1 MicroSCADA DMS Pro 600

Varasyötön suunnitteluun ja tarkasteluun käytettiin ABB MicroSCADA DMS Pro 600 –ohjelmiston Network Editoria ja sen laskentatyökaluja. Network Editorilla simuloitiin verkon käyttäytymistä, kun verkon kytkentätilannetta muutettiin avaamalla ja sulkemalla verkossa olevia erottimia. Laskentatyökalujen avulla tarkasteltiin verkon johdinten ja päämuuntajien kuormittumista, jännitteenalennemia sekä suojauksien toimivuutta.

8.1.1 Tehonjakolistaus

Tehonjakolistauksen avulla tarkasteltiin verkon sen hetkisen kytkentätilanteen tehon jakautumista 10 vuoden tarkasteluajanjakson lopussa 1 %:n vuotuisella tehonkasvuprosentilla. Ohjelma laski sille asetettujen parametrien perusteella johtiin kohdistuvat maksimi-arvot kuormitukselle ja virralle sekä vallitsevan jännitteen ja jännitteenalennemaprocentin jokaiselle solmupisteelle. Kuvassa 1 on esitetty tehonjakolistauksen näkymä Inhan Tuomarniemi-lähdön tuloksista Ähtärin sähköaseman päämuuntajan korvauskytkennän aikana.

TEHONJAKOTULOKSET - Koillis-Satakunnan Sähkö Oy

SÄHKÖASEMA: INHA

LÄHTÖ: IN_J12 TUOMARNIEMI

10 vuoden aikajakson loppuhetken tilanne:

Laskettu huipunkäyttöaika = 5164 h Häviöiden huipunkäyttöaika = 3286 h

Näennäisteho = 6598.6 kVA Pätöteho = 6457.8 kW Loisteho = 1355.7 KVAR

Häviöteho = 112.2 kW Häviöenergia = 368.6 MWh/a

Häviökustannukset = 116924 € (koko aikajaksolta nykyarvoon diskontattuna)

1	2	3	JOHTO		6	KUORMITUS				JÄNNITE			MUUNTAJA		
			4	5		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
			km		km	A	%	MW	kW/km		%	\$/MW	kV	kW	kVAr
1 S	IN_J12 E	6759E1	0.10	MA303	0.10	187	39	6.46	11.1	-0.03	0.02	0.0	20.60		
2 E	6759E1 X	4642	0.00	AA132	0.10	187	37	6.46	20.3	0.00	0.02	0.0	20.60		
3 X	4642 X	0819	0.17	AA132	0.28	187	37	6.45	20.3	0.08	0.10	0.0	20.58		
4 X	0819 E	6035E9	0.00	AA132	0.28	1	0	0.06	0.0	0.00	0.10	0.0	20.58		
5 E	6035E9 M	6035	0.00	AA132	0.28	1	0	0.06	0.0	0.00	0.10	0.0	20.58	59	17
6 X	0819 X	8537	0.74	AA132	1.02	185	37	6.40	20.0	0.32	0.43	0.1	20.51		
7 X	8537 X	2692	1.18	AA132	2.20	184	37	6.31	19.6	0.51	0.93	0.1	20.41		
8 X	2692 X	3949	0.26	AA132	2.46	183	37	6.28	19.4	0.11	1.04	0.1	20.38		
9 X	3949 X	7171	0.25	AA132	2.71	183	37	6.27	19.4	0.11	1.15	0.1	20.36		
10 X	7171 X	5665	0.66	AA132	3.37	181	36	6.21	19.0	0.28	1.43	0.2	20.31		
11 X	5665 E	6233E1	0.00	AA132	3.37	181	36	6.20	19.0	0.00	1.43	0.2	20.31		
12 E	6233E1 X	7675	0.03	AA132	3.39	181	36	6.20	19.0	0.01	1.44	0.2	20.30		
13 X	7675 X	9062	0.70	MA186	4.09	181	52	6.16	14.3	0.19	1.64	0.2	20.26		
14 X	9062 M	6200	0.00	MA185	4.10	2	0	0.07	0.0	0.00	1.64	0.2	20.26	68	19
15 X	9062 E	6200E1	0.00	MA186	4.09	179	51	6.11	14.0	0.00	1.64	0.2	20.26		
16 E	6200E1 X	2304	0.44	MA186	4.53	179	52	6.10	14.0	0.12	1.76	0.2	20.24		
17 X	2304 X	9675	0.45	MA186	4.98	179	52	6.09	14.0	0.12	1.88	0.2	20.21		
18 X	9675 E	6758E8	0.01	AA132	4.99	0	0	0.00	0.0	0.00	1.88	0.2	20.21		
19 X	9675 E	6758E6	0.00	AA132	4.98	179	36	6.09	18.5	0.00	1.88	0.2	20.21		
20 E	6758E6 S	AH_J06	0.04	MA303	5.02	179	37	6.09	10.1	0.01	1.89	0.2	20.21		
21 S	AH_J06 C		0.00	KISKO	5.02	179	19	6.09	4.6	0.00	1.89	0.2	20.21		
22 C	X	5669	0.00	KISKO	5.03	179	19	6.09	4.6	0.00	1.89	0.2	20.21		
23 X	5669 EAH_J06Q0		0.00	KISKO	5.03	0	0	0.00	0.0	0.00	1.89	0.2	20.21		
24 X	5669 KAH_J06Q0		0.00	KISKO	5.03	179	19	6.09	4.6	0.00	1.89	0.2	20.21		
25 KAH_J06Q0 X	5676		0.00	KISKO	5.03	179	19	6.09	4.6	0.00	1.89	0.2	20.21		
26 X	5676 A		0.00	KISKO	5.03	179	19	6.09	4.6	0.00	1.89	0.2	20.21		
27 A	U		0.00	KISKO	5.03	0	0	0.00	0.0	0.00	1.89	0.2	20.21		
28 A	X	4676	0.00	KISKO	5.03	0	0	0.00	0.0	0.00	1.89	0.2	20.21		
29 X	4676 KAH_J04Q0		0.00	KISKO	5.03	0	0	0.00	0.0	0.00	1.89	0.2	20.21		
30 A	X	6676	0.00	KISKO	5.03	0	0	0.00	0.0	0.00	1.89	0.2	20.21		
31 X	6676 KAH_J12Q0		0.00	KISKO	5.03	0	0	0.00	0.0	0.00	1.89	0.2	20.21		
32 A	E	E3_1	0.00	KISKO	5.03	0	0	0.01	0.0	0.05	1.94	0.2	20.21		
33 E	E3_1 M	6098	0.00	KISKO	5.03	0	0	0.01	0.0	0.00	1.94	0.2	20.21	6	1
34 A	E	E3_13	0.00	KISKO	5.03	122	13	4.11	2.0	0.05	1.94	0.2	20.21		
35 E	E3_13 A		0.00	KISKO	5.03	122	13	4.11	2.0	0.00	1.94	0.2	20.21		

Kuva 1. Inhan Tuomarniemi-lähdön tehonjakolistaus Ähtärin päämuuntajan korvauskytkennän aikana.

Tehonjakolistauksen sarakkeiden selitykset:

- Sarake 1. Rivinumero
- Sarake 2. Johto-osuuden alkupään tunnus
- Sarake 3. Johto-osuuden loppupään tunnus
- Sarake 4. Johto-osuuden pituus
- Sarake 5. Johto-osuuden johdinlaji

- Sarake 6. Johto-osuuden loppusolmun etäisyys syöttöpuolesta
- Sarake 7. Johto-osuuden kuormitusvirta
- Sarake 8. Johto-osuuden kuormitusaste
- Sarake 9. Johto-osuuden maksimiteho
- Sarake 10. Johto-osuuden häviöteho pituusyksikköä kohti
- Sarake 11. Johto-osuudella syntyvä jännitteenalenema
- Sarake 12. Kokonaisjännitteenalenema johto-osuuden loppusolmussa
- Sarake 13. Jännitejäykkyys pätötehon suhteen johto-osuuden loppusolmussa
- Sarake 14. Jännite johto-osuuden loppusolmussa
- Sarake 15. Muuntajan pätöteho
- Sarake 16. Muuntajan loisteho

Varasyötön tarkastelussa keskityttiin sarakkeiden 7, 8, 9, 12 ja 14 arvojen seuraamiseen ja listaamiseen.

8.1.2 Oikosulkulaskentalistaus

Oikosulkulaskentalistauksen avulla tarkasteltiin verkon sen hetkisen kytkentätilanteen oikosulkukestoisuutta 10 vuoden tarkasteluajanjakson lopussa. Ohjelma laski sille asetettujen parametrien perusteella jokaisen solmupisteen 2- ja 3-vaiheiset oikosulkuvirrat, johdinten oikosulkukestoisuuden sekä oikosulkuvirran ja releen havahtumisvirran suhteellisarvon. Kuvassa 2 on esitetty oikosulkulaskentalistauksen näkymä Inhan Tuomarniemi-lähdön tuloksista Ähtärin sähköaseman päämuuntajan korvauskytkennän aikana.

OIKOSULKUVIRRAT - Koillis-Satakunnan Sähkö Oy**SÄHKÖASEMA: INHA****LÄHTÖ: IN_J12 TUOMARNIEMI****Maasta erotettu verkko****Laskentaparametrit:****Jännite (kV) = 20.600****Releen havahtumisvirta aikalaukaisulla (kA) = 0.300****Releen havahtumisvirta pikalaukaisulla (kA) = 1.400****Oikosulun kesto aika aikalaukaisulla****ennen aikajälleenkytkentää (s) = 0.320****Oikosulun kesto aika pikalaukaisulla****ennen aikajälleenkytkentää (s) = 0.080****Pikajälleenkytkentä käytössä (1)****Aikajälleenkytkentä käytössä (1)****AJK:n jännitteetön aika (s) = 120.000****Oikosulun kesto aika aikalaukaisulla****AJK:n jälkeen (s) = 0.400****Oikosulun kesto aika pikalaukaisulla****AJK:n jälkeen (s) = 0.080****Syöttöpisteen oikosulkuresistanssi (ohm) = 0.532****Syöttöpisteen oikosulkureaktanssi (ohm) = 4.100**

JOHTO					VIKAVIRRRAT							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			km		km	kA	§	§	kA	§		
1	S	IN_J12	E	6759E1	0.10	MA303	0.10	3.24	4	9	2.54	845
2	E	6759E1	X	4642	0.00	AA132	0.10	3.24	10	22	2.46	820
3	X	4642	X	0819	0.17	AA132	0.28	3.13	10	21	2.43	809
4	X	0819	E	6035E9	0.00	AA132	0.28	3.08	10	21	2.43	809
5	E	6035E9	M	6035	0.00	AA132	0.28	3.08	10	21	2.67	888
6	X	0819	X	8537	0.74	AA132	1.02	3.08	10	21	2.29	764
7	X	8537	X	2692	1.18	AA132	2.20	2.88	9	20	2.11	702
8	X	2692	X	3949	0.26	AA132	2.46	2.62	8	18	2.07	689
9	X	3949	X	7171	0.25	AA132	2.71	2.56	8	17	2.03	677
10	X	7171	X	5665	0.66	AA132	3.37	2.51	8	17	1.95	648
11	X	5665	E	6233E1	0.00	AA132	3.37	2.39	7	16	1.95	648
12	E	6233E1	X	7675	0.03	AA132	3.39	2.39	7	16	1.94	647
13	X	7675	X	9062	0.70	MA186	4.09	2.39	5	11	1.91	635
14	X	9062	M	6200	0.00	MA185	4.10	2.34	4	10	2.02	674
15	X	9062	E	6200E1	0.00	MA186	4.09	2.34	5	11	1.91	635
16	E	6200E1	X	2304	0.44	MA186	4.53	2.34	5	11	1.88	628
17	X	2304	X	9675	0.45	MA186	4.98	2.31	5	11	1.86	620
18	X	9675	E	6758E8	0.01	AA132	4.99	2.28	7	15	1.97	655
19	X	9675	E	6758E6	0.00	AA132	4.98	2.28	7	15	1.86	620
20	E	6758E6	S	AH_J06	0.04	MA303	5.02	2.28	3	6	1.86	619
21	S	AH_J06	C		0.00	KISKO	5.02	2.27	2	4	1.86	619
22	C		X	5669	0.00	KISKO	5.03	2.27	2	4	1.86	619

Kuva 2. Inhan Tuomarniemi-lähdön oikosulkulaskenta Ähtärin päämuuntajan korvauskytkennän aikana.

Oikosulkulaskentalistauksen sarakkeiden selitykset:

- Sarake 1. Rivinumero
- Sarake 2. Johto-osuuden alkupään tunnus
- Sarake 3. Johto-osuuden loppupään tunnus
- Sarake 4. Johto-osuuden pituus
- Sarake 5. Johto-osuuden johdinlaji
- Sarake 6. Johto-osuuden loppusolmun etäisyys syöttöpuolelta
- Sarake 7. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta johto-osuuden alkusolmussa ilman vikaimpedanssia
- Sarake 8. Johtimen oikosulkukestoisuus kolmivaiheisessa oikosulkuviassa pikalaukaisua käyttäen, arvon oltava $< 100 \%$
- Sarake 9. Oikosulkukestoisuus aikalaukaisua käyttäen, arvon oltava $< 100 \%$
- Sarake 10. Kaksivaiheinen oikosulkuvirta johto-osuuden loppupäässä ilman vikaimpedanssia
- Sarake 11. Kaksivaiheisen oikosulkuvirran ja releen havahtumisvirran suhteellisarvo, arvon oltava $> 100 \%$
- Sarake 12. Tähän sarakkeeseen tulee tähti (*), jos johdin ei ole oikosulkukestoinen ja/tai rele ei havahdu vikavirrasta.

Oikosulkusuojaustarkastelussa tarkasteltiin sarakkeiden 10, 11 ja 12 arvoja sekä oikosulkulaskentalistauksen yläosassa näkyvän ”releen havahtumisvirta aikalaukaisulla”-arvoa.

8.2 Esimerkkilaskenta Ähtärin sähköaseman kiskostovaurio

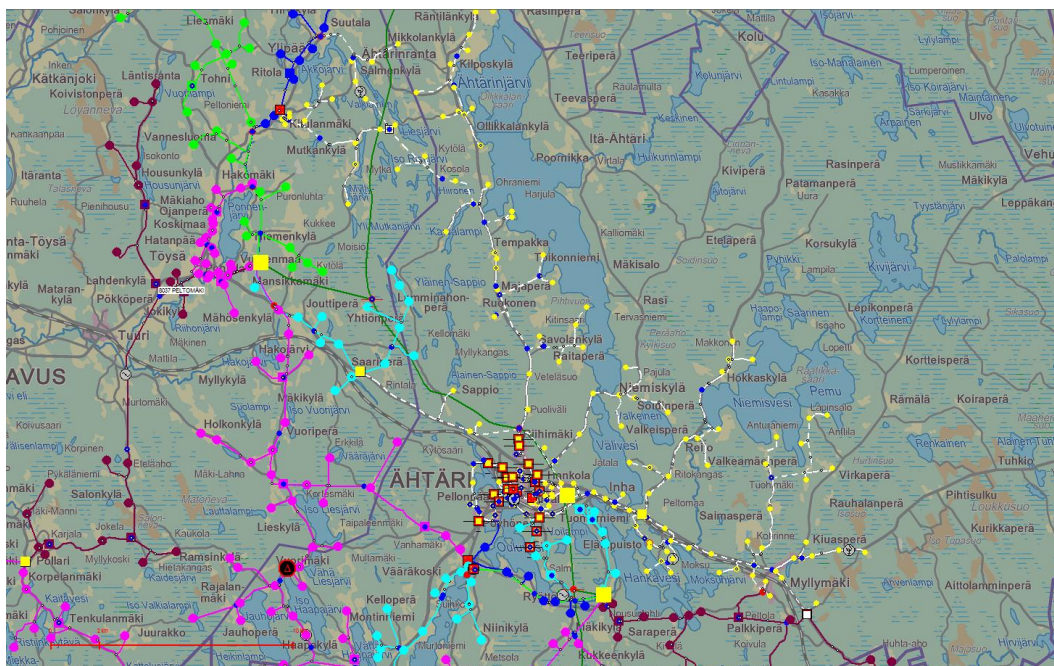
Tässä luvussa käydään vaiheittain läpi Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion varasyötön suunnittelu DMS-verkkotietojärjestelmän Network Editoria ja laskentaohjelmistoa käyttäen.

8.2.1 Kytkentätilanteen suunnittelu

Ähtärin sähköaseman kiskostovaurionaikaisen varasyötön tarkastelu aloitettiin tekemällä tehonjakolistaus Ähtärin sähköasemalle. Tehonjakolistauksesta nähtiin

sähköaseman johtolähtöjen tehot normaalissa kytkentätilanteessa. Yhteenlaskettu-
na johtolähtöjen tehot muodostivat läheisiltä sähköasemilta tarvittavan korvaavan
tehon määrän.

Kuormitusten tarkastelun jälkeen sähköasema erotettiin kokonaan verkosta avaa-
malla sähköaseman 110 kV katkaisija sekä erotin ja jokaisen johtolähdön erotti-
met, jonka jälkeen ohjelma näytti sähköaseman perässä olleen sähköttömäksi jää-
neen verkon valkoisella katkoviivalla (**Kuva 3**). Tämän jälkeen verkosta etsittiin
keskijänniteyhteyksiä läheisille sähköasemille. Ähtärin sähköaseman varasyötön
mahdollistavia keskijänniteyhteyksiä löytyi Inhan sähköaseman Myllymäki,
Tuomarniemi ja Ähtäri –lähdöiltä sekä Toopakan sähköaseman Kitula ja Ähtäri -
lähdöiltä.



Kuva 3. Ähtärin sähköaseman syöttämä verkko

Aiemmin tehdyn tehonjakolistauksen mukaan Ähtärin sähköaseman johtolähtöjen
yhteenlaskettu teho normaalissa kytkentätilanteessa oli noin 10,4 MW. Varasyöt-
tötilanteessa korvaava teho täytyi syöttää Inhan ja Toopakan sähköasemilta. Te-
hонjakolistauksen mukaan Inhan sähköaseman päämuuntajan kuormitus normaali-
tilanteessa on noin 3,8 MVA ja Toopakan 6,3 MVA (**Taulukko 2**). Kummallakin

sähköasemalla on käytössä 16 MVA:n päämuuntajat, joten kuorman jakaminen sähköasemien kesken ei pitäisi aiheuttaa ylikuormittumista kummankaan sähköaseman päämuuntajalle.

Taulukko 2. Inhan, Toopakan ja Ähtärin sähköasemien normaalitilanteen kuormitukset johtolähdöittäin.

Normaalitilanteen kuormitukset				
Sähköasema	Lähtö	P	Q	S
		kW	kVAr	kVA
INHA				
	TUOMARNIEMI IN_J12	280,81	14,15	281,2
	ÄHTÄRI IN_J10	114,72	-56,4	127,8
	FISKARS IN_J09	1125,84	327,4	1172,5
	TÖYSÄ IN_J08	338,56	84,07	348,8
	MYLLYMÄKI IN_J07	1192,41	200,2	1209,1
	PIHLAJAVESI INH_J03	240,65		240,7
	KILLI IN_J01	451,35	80,31	458,4
Yhteensä		3744,3	649,7	3838,5

TOOPAKKA				
	KONDENSAATTORI TO_J14	0	-1052,13	
	TÖYSÄ KK TO_J12	2360,72	657,05	2450,5
	KITULA TO_J11	395,79	86,31	405,1
	POLLARI TO_J10	432,71	69,45	438,2
	VIRTALA TO_J09	707,86	137,79	721,1
	ÄHTÄRI TO_J06	410,82	87,74	420,1
	INHA TO_J03	805,8	159,43	821,4
Yhteensä		5113,7	145,6	5256,4

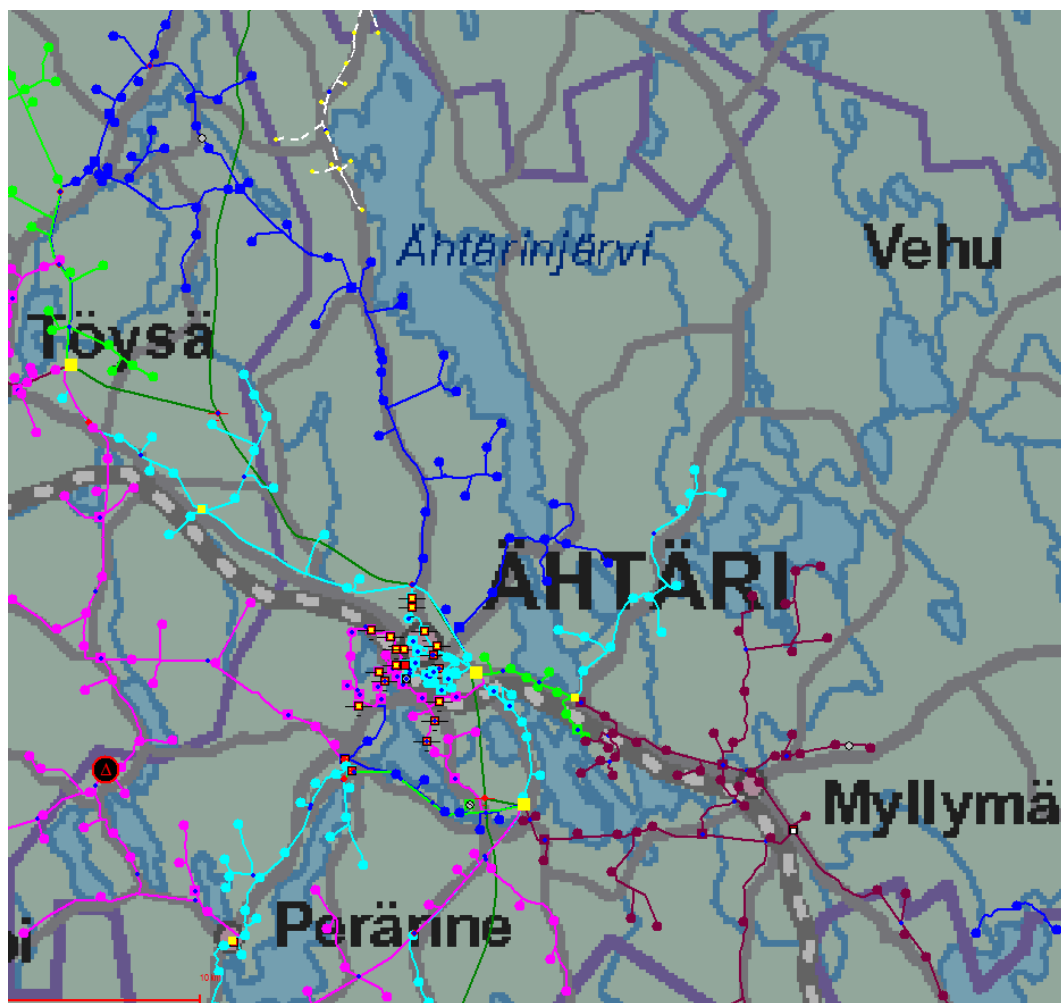
ÄHTÄRI				
	KESKUSTA AH_J08	1650,84	365,95	1690,9
	ÄHTÄRI-ETELÄ AH_J04	2643,82	388,69	2672,2
	TANKKI AH_J05	949,25	253,16	982,4
	MYLLYMÄKI AH_J10	2116,64	421,67	2158,2
	ÄHTÄRI-POHJOINEN AH_J09	1779,93	281,89	1802,1
	TÖYSÄ AH_J12	120,08		120,1
	KITULA AH_J11	1121,37	238,88	1146,5
Yhteensä		10381,9	1950,2	10572,5

Taulukon sarake P tarkoittaa pätötehoa kilowateissa, Q tarkoittaa loistehoa kilovoltteissa ja S tarkoittaa näennäistehoa kilovolttiampeereissa.

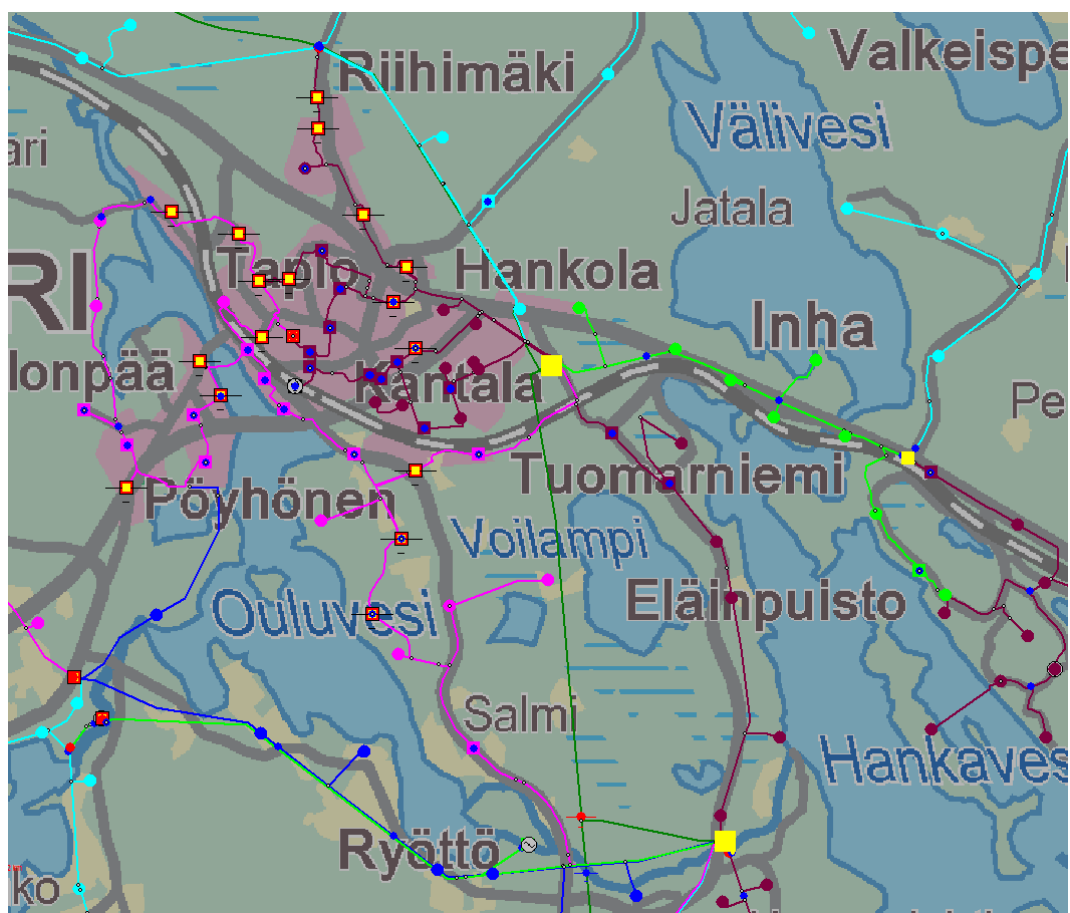
Varasyötön aikaisen kytkentätilanteen hahmottelu aloitettiin tekemällä suuntaantava silmämääräinen arviointi ja kokeiltiin, kuinka sähkö saadaan palautettua jokaiselle lähdölle mahdollisimman helposti vähäisillä kytkentätoimenpiteillä. Kyseinen kytkentätilanne toimi vertailukohta optimaalisinta kytkentätilannetta etsittäessä. Helpoiten toteutettava korvaava kytkentätilanne saatiin aikaiseksi seuraavilla toimenpiteillä:

- Kitulan lähtö Toopakan Kitula-lähdön perään sulkemalla Kitulasta Hepojoen erotin.
- Töysän lähtö Toopakan Ähtäri-lähdön perään sulkemalla Kylkiäisestä Ulan erotin.
- Ähtäri-Etelän lähtö Inhan Ähtäri-lähdön perään sulkemalla Hietakankaan kopista Salmenahon erotin.
- Myllymäen lähtö Inhan Myllymäki-lähdön perään sulkemalla Kuusiston erotin.
- Keskusta, Tankki ja Ähtäri-Pohjoinen lähdöt Inhan Tuomarniemi-lähdön perään sulkemalla sähköasemalta yhteyserotin, Lämpökeskukselta Kansalaiskoulun erotin ja Oikotieltä Kainolan erotin.

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty verkon kytkentätila edellä mainittujen muutosten jälkeen.



Kuva 4. Kytentäkoekelunaikainen kytentätilanne.



Kuva 5. Kytentäkokeilunaikainen kytkentätilanne Ähtärin keskusta-alueella.

Kytentäkokeilun jälkeen muutoksen kokeneille johtolähdöille tehtiin tehonjakolistaus (**Taulukko 3.**). Taulukkoon poimittiin jokaiselta johtolähdöltä suurin johdtimeen kohdistuva kuormitus prosentteina, johtolähdön teho ja johtolähdön pienin havaittu jännite sekä siitä aiheutuva jännitteenalenemaprocentti.

Taulukko 3. Kokeilukytkenän tehonjakolistaus.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Toopakka					
	Kitula	17	1,54	19,83	3,72
	Ähtäri	4	0,57	20,54	0,30
Inha					
	Myllymäki	39	3,66	19,71	4,33
	Tuomarniemi	45	4,41	20,10	2,45
	Ähtäri	37	3,05	20,10	2,43

Kytentätilanteesta saatujen tehonjakolistausten tulosten perusteella jännitteenalenema pysyi ohjesäännön mukaisissa arvoissa jo ensimmäisellä yrittämällä. Ohjesäännön mukaan häiriötilanteessa keskijänniteverkon jännitteenalenemaksi sallitaan kaupunkialueella 5-7 % ja maaseudulla 10 %. Optimaalista varasyöttötilannetta tavoiteltaessa haluttiin kuitenkin löytää sellainen kytkentätilanne, jossa verkon jännitteenalenemat olivat mahdollisimman pienet. Jännitteenalenemien minimoimiseksi osa Toopakan Kitula-lähdön kuormasta oli siirrettävä Toopakan Ähtäri-lähdölle ja Inhan Myllymäki-lähtöä kevennettävä Haapamäen sähköasemalta.

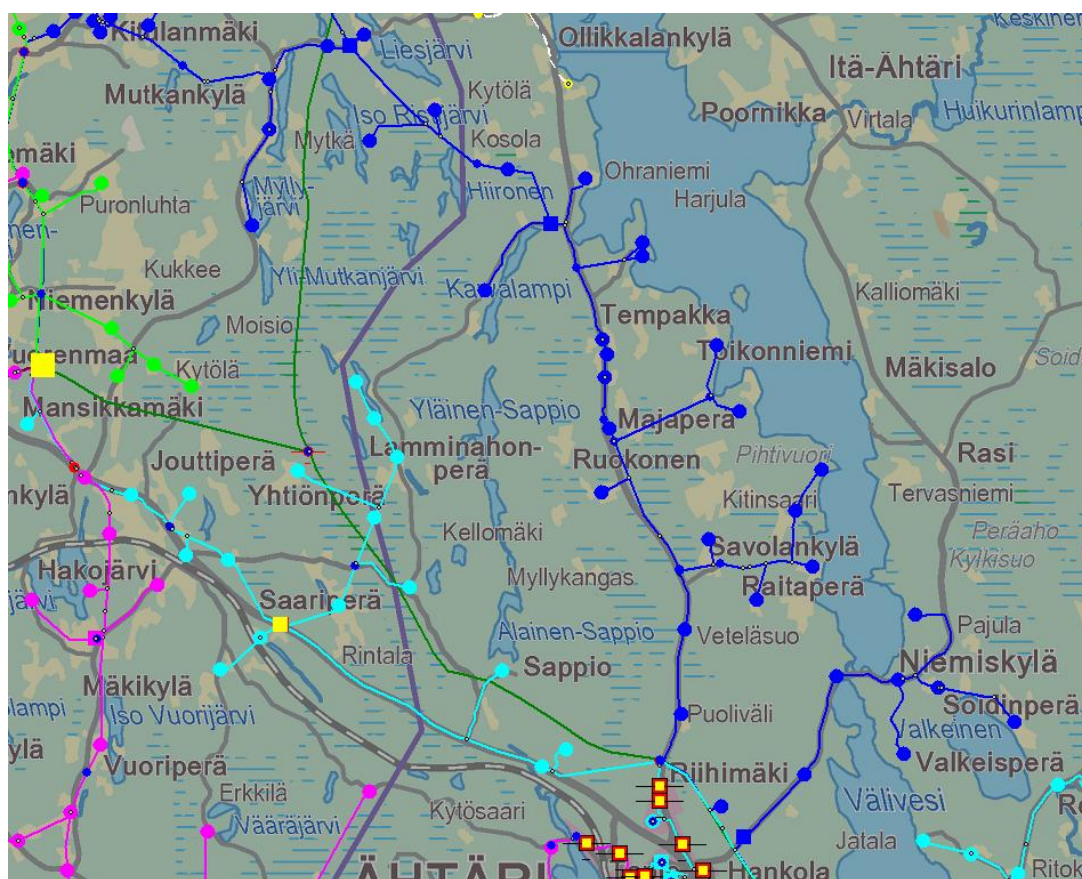
Toopakan lähtöjen pienimmän jännitteenaleneman aikaansaavan kytkennän etsiminen aloitettiin siirtämällä lähtöjen välistä jakorajaa pohjoisempaan erotin kerrollaan ja tarkkailemalla, kuinka jännitteenalenema käyttäytyi. Ohraniemen runkoerotin kohdalla jännitteenalenemat molemmilla lähdöillä olivat pienimillään, ja jakorajan siirtäminen suuntaan tai toiseen olisi kasvattanut toisen lähdön jännitteenalenemaa (**Taulukko 4.**). Kuvassa 6 on esitetty Toopakan lähtöjen kytkentätilanne ennen muutoksia ja kuvassa 7 muutosten jälkeen. Kytkentäohjeeseen lisättiin seuraavat toimenpiteet:

- Avataan Ohraniemen runkoerotin ja syötetään sähkö Kitulasta Ohraniemeen asti.

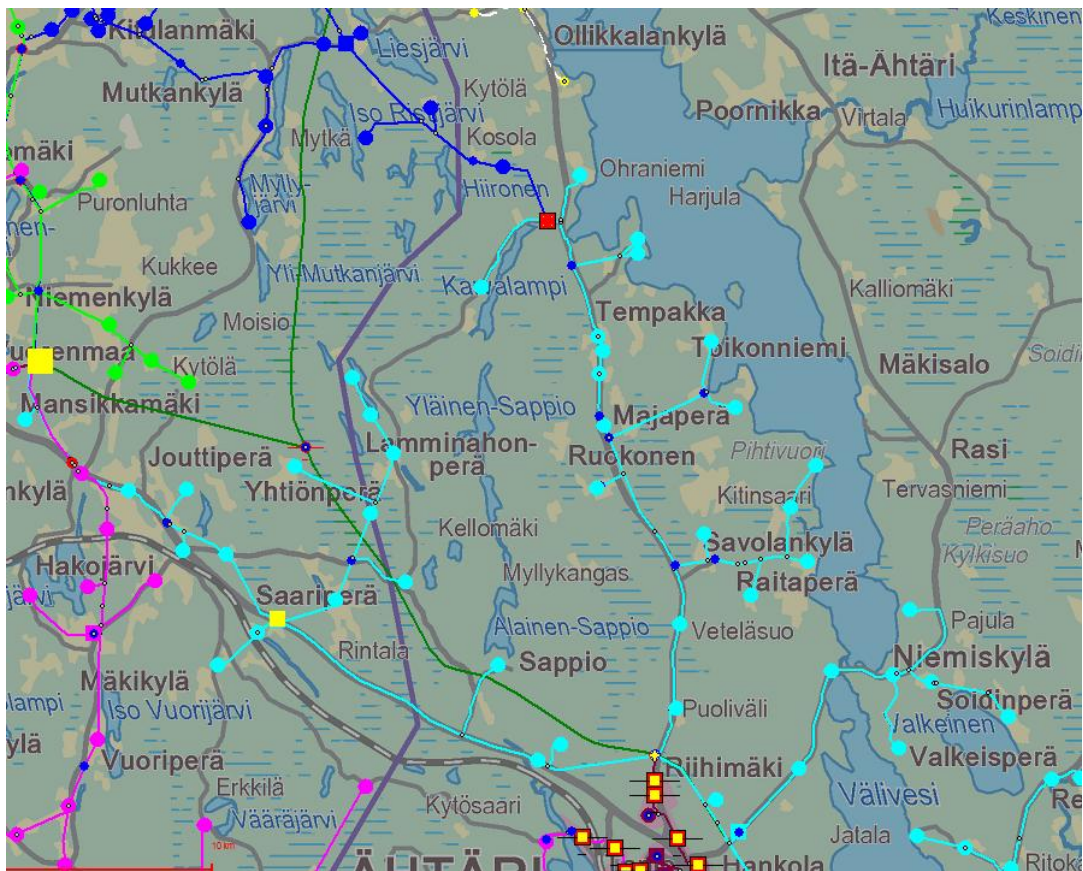
- Kytetään loput Kitula-lähdön kuormasta Toopakan Ähtäri-lähdön perään sulkemalla Ulasta yhteyserotin Töy-Poh.

Taulukko 4. Kitulan ja Ähtäriin lähtöjen kuormien jakautuminen.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Toopakka	Kitula	10	1	20,34	1,26
	Ähtäri	9	1,13	20,39	1,03



Kuva 6. Ennen kytkentämuutoksia.



Kuva 7. Kytkentämuutosten jälkeen.

Ähtäriin Myllymäki-lähdön kuorman siirtäminen Inhan Myllymäki-lähdön perään nosti jännitteenaleneman Inhan Myllymäki-lähdön perällä, Suojoella, 4,33 %:iin (**Taulukko 5.**). Suojoen jännitteenaleneman pienentämiseksi osa Inhan Myllymäki-lähdön kuormasta täytyi siirtää Haapamäen Mäkikylä-lähdölle (**Taulukko 6.**). Kuormituksen jakaminen onnistui siirtämällä lähtöjen välinen jakoraja Kieron erotinasemalta Liesjärven erotinasemalle:

- Avataan Liesjärven erotinasemalta Kieron erotin
- Suljetaan Kieron erotinasemalta Liesjärven erotin

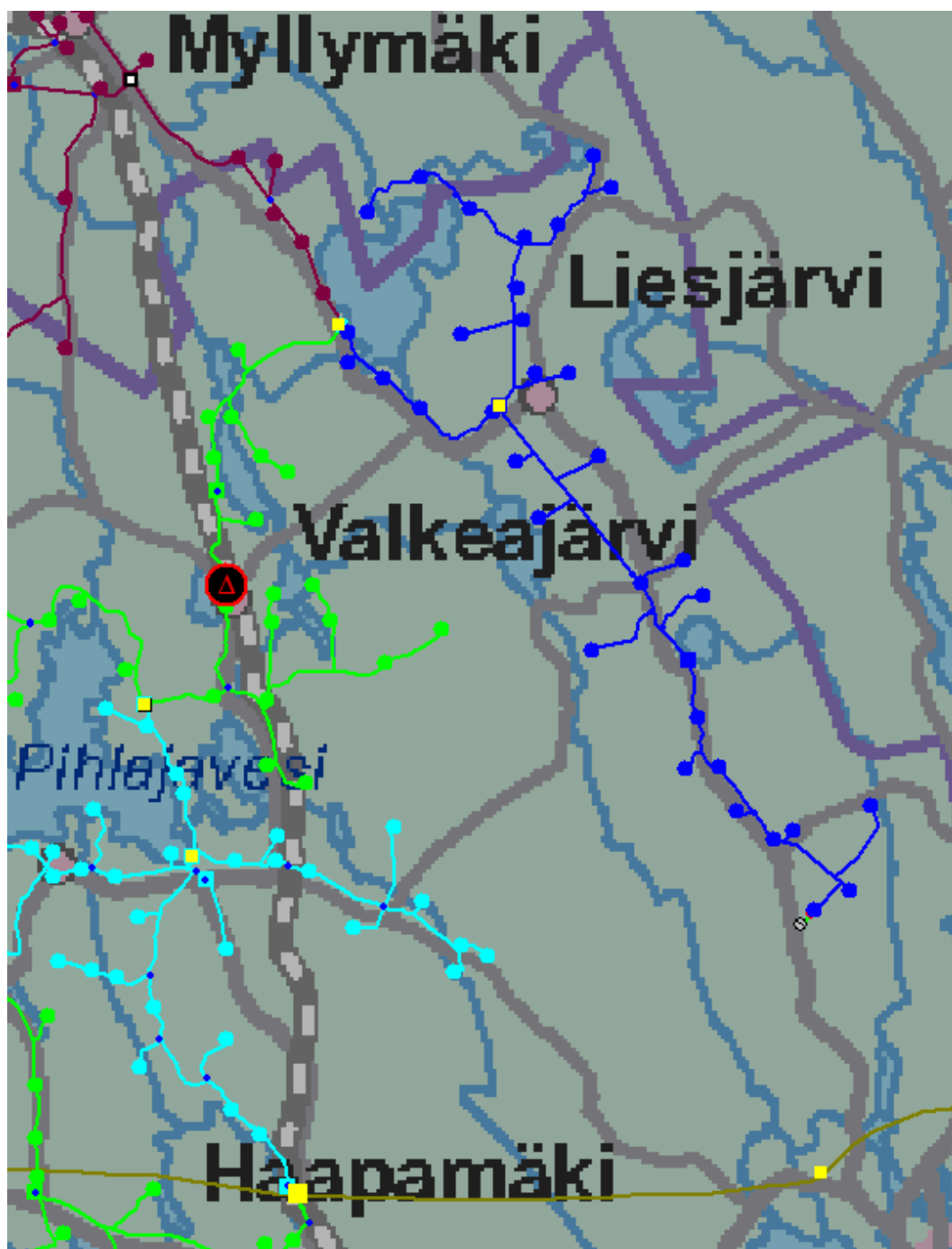
Taulukko 5. Ennen kytkentämuutoksia.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Haapamäki					
	Mäkikylä	13	0,80	20,22	1,86
Inha					
	Myllymäki	39	3,69	19,70	4,35

Taulukko 6. Kytkenämuutoksien jälkeen.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Haapamäki					
	Mäkikylä	20	1,14	19,99	2,99
Inha					
	Myllymäki	36	3,36	19,80	3,87

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty Myllymäen ja Mäkikylän välisen jakorajan siirtäminen Kieron erotinasemalta Liesjärven erotinasemalle.



Kuva 8. Myllymäen lähtö ennen muutoksia.



Kuva 9. Myllymäen lähtö kytkentämuutosten jälkeen.

Jännitteenalaniemien suhteen optimaalisimman kytkentätilanteen löytymisen jälkeen muutoksen kokeneille johtolähdöille tehtiin vielä lopullinen tarkastus tehonjakolistauksen tuloksista (**Taulukko 7.**). Keski-jänniteverkon tehonjaon yhteenvedosta laskettiin kytkentämuutosten vaikutus korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukseen (**Taulukko 8.**).

Taulukko 7. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskenta tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Haapamäki					
	Mäkikylä	20	1,1	19,99	2,98
Inha					
	Myllymäki	36	3,36	19,80	3,87
	Tuomarniemi	44	4,24	20,13	2,29
	Ähtäri	37	3,05	20,02	2,82
Toopakka					
	Kitula	10	1,00	20,34	1,26
	Ähtäri	9	1,19	20,35	1,2

Taulukko 8. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Haapamäki	1750,2	10000	17,5
Inha	12900,2	16000	80,6
Toopakka	6972,3	16000	43,6

Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkennässä suurin osa kuormasta siirrettiin Inhan sähköaseman perään, jolloin sen päämuuntajan kuormitus nousi 80,6 %:iin. Haapamäen päämuuntajan kuormituslaskennassa ei ole huomioitu Keuruun Sähkön verkkoon lähtevien johtolähtöjen kuormaa.

8.2.2 Oikosulkusuojaus

Seuraavaksi tarkasteltiin oikosulkusuojauksen toimivuutta oikosulkulaskentalistauksen avulla. Tarkastelu aloitettiin varmistamalla, että minkään johtolähdön kuormitusvirta ei ylitä kyseistä johtolähtöä suojaavan ylivirtareleen havahtumis-

virtaa aikalaukaisulla. Seuraavaksi tarkasteltiin oikosulkulaskentalistauksen sarakkeen 11 arvoa, joka ilmaisee kaksivaiheisen oikosulkuvirran ja releen havahtumisvirran suhteellisarvoa. Oikosulkuvirran ja releen havahtumisvirran suhteellisarvon tuli olla yli 100 %, että rele havahtui verkossa tapahtuvan kaksivaiheisen oikosulun seurauksena. Alle 100 %:n arvo tarkoittaa, että 2-vaiheinen oikosulkuvirta jää releen havahtumisvirtaa pienemmäksi, eikä siten aiheuta releen havahtumista.

Taulukkoon 9 on poimittu jokaiselta lähdöltä kuormitusvirta, ylivirtareleen aikalaukaisun havahtumisvirta, pienimmän havahtumissuhteen aikaansaava kaksivaiheinen oikosulkuvirta sekä pienin havahtumissuhde

Taulukko 9. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistus.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Haapamäki					
	Mäkikylä	31	0,100	0,37	365
Inha					
	Myllymäki	86	0,120	0,30	245
	Tuomarniemi	123	0,300	1,36	453
	Ähtäri	87	0,200	1,04	518
Toopakka					
	Kitula	30	0,150	0,58	383
	Ähtäri	34	0,150	0,66	438

Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen oikosulkusuojaukset ovat kunnossa. Pienin 2-vaiheinen oikosulkuvirta havaittiin Inhan Myllymäki-lähdön perällä, missä oikosulkuvirta oli 0,30 kA. Lähtöä suojaavan ylivirtareleen asetteluarvo on 120 A, joten 2-vaiheinen oikosulkuvirta ylitti reilusti releen asetteluarvon, saaden aikaan 245 %:sen havahtumissuhteen.

8.3 Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytys

Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen korvauskytkennän suunnittelussa käytettiin apuna kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän suunnittelusta saatuja havaintoja ja laskentatuloksia.

Ensimmäisenä toimenpiteenä koko sähköasema erotettiin väliaikaisesti verkosta avaamalla 110 kV katkaisija ja erotin sekä kaikkien johtolähtöjen erottimet. Verkon normaalitilanteen tehonjakolistauksen perusteella Inhan ja Ähtärin sähköasemien väliselle yhdysjohdolle, Inhan Tuomarniemi-lähdölle, voitiin lisätä huomattava määrä kuormaa. Kuorman lisääminen aloitettiin sulkemalla Ähtärin sähköasemalta Inha-lähdön katkaisija, jolloin Inhan Tuomarniemi-lähtö syötti Ähtärin sähköaseman kiskostoa, jonka jälkeen kuormia lisättiin sulkemalla Ähtärin sähköasemalta johtolähtöjen katkaisijoita.

Parhaaksi kytkentätilanteeksi saatiin tilanne, jossa lähdöt Inha, Myllymäki, Kesusta, Tankki ja Ähtäri-Pohjoinen syötettiin sähköaseman kiskoston kautta. Kitulan, Töysän ja Ähtäri-Etelän lähtöjen kuormat kytkettiin kiskostovaurion korvauskytkennän tapaan Toopakan Kitula ja Ähtäri-lähdöille sekä Inhan Ähtäri-lähdölle. Tehtiin seuraava kytkentäohje (lähtötilanteeksi oletetaan verkon normaali kytkentätila):

- Avataan Ähtärin sähköasemalta katkaisijat Ähtäri-Etelä, Töysä ja Kitula.
- Syötetään sähkö Ähtärin sähköaseman kiskoon Inha Tuomarniemi-lähdön kautta sulkemalla Ähtärin sähköasemalta Inhan katkaisija.
- Kytketään Ähtäri-Etelä -lähdön kuorma Inhan Ähtäri-lähdön perään sulkemalla Hietakankaan kopista Salmenahon erotin.
- Kytketään Kitula-lähdön loppupään kuorma Toopakan Kitula-lähön perään avaamalla Ohraniemen runkoerotin ja sulkemalla Kitulan erotinase-
malta Hepojoen erotin.
- Kytketään loput Kitula-lähdön kuormasta Toopakan Ähtäri-lähdön perään sulkemalla Kylkiäisestä Ulan suunta ja Ulasta yhteyserotin Töy-Poh.

Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 10, 11 ja 12.

Taulukko 10. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Inha					
	Tuomarniemi	48	6,06	19,92	3,32
	Ähtäri	37	3,04	20,02	2,82
Toopakka					
	Ähtäri	9	1,13	20,39	1,03
	Kitula	10	1	20,34	1,26

Taulukko 11. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Inha					
	Tuomarniemi	286	0,300	1,69	337
	Ähtäri	126	0,200	1,04	518
Toopakka					
	Ähtäri	38	0,150	0,66	438
	Kitula	30	0,150	0,58	383

Taulukko 12. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Inha	12988,7	16000	81,2
Toopakka	6972,3	16000	43,6

9 TARKASTELUN TULOKSET

Tässä luvussa käydään yleisesti läpi sähköasemien tietoja, laskennan tuloksia ja varasyöttötilanteiden kytkentäjärjestelyitä. Varsinaiset ohjeistukset kiskostovaurion ja päämuuntajakeskeytyksen aikaiseen kytkentätilanteeseen siirtymistä varten on esitetty liitteissä 1-17.

9.1 Haapamäki

Haapamäen sähköasema sijaitsee Koillis-Satakunnan Sähkön ja Keuruun Sähkön verkkoalueiden rajalla. Sähköasema on rakennettu vuonna 2009 yhteistyössä Keuruun Sähkön kanssa helpottamaan Haapamäen ja Pihlajaveden alueen sähkönjakelua.

Haapamäen sähköaseman kiskostoa syötetään 10 MVA:n päämuuntajalla. Sähköasemalta lähtee kaksi johtolähtöä Koillis-Satakunnan Sähkön jakeluverkkoon, joiden yhteisteho on noin 1,4 MW. Haapamäen sähköaseman lähtötiedot on esitetty taulukossa 13. Sähköasemalta lähtee kaksi lähtöä myös Keuruun Sähkön verkkoon, mutta niiden vaikutusta ei työssä ole huomioitu.

Haapamäen sähköaseman varasyötön mahdollistavia keskijänniteyhteyksiä löytyi pohjoisesta Inhan Myllymäki ja Pihlajavesi –lähdöiltä sekä lännestä Kotalan jakoaseman Pihlajavesi-lähdöltä, jota syötetään Virtain Kotala-lähdön kautta.

Taulukko 13. Haapamäen sähköaseman lähtöjen tiedot.

Sähköasema	Lähtö	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
HAAPAMÄKI						
	YLTIA HA_J03	3215	1369	564,28	66,01	568,1
	MÄKIKYLÄ HA_J02	3794	1883	839,35	172,54	856,9
Yhteensä				1403,6	238,6	1425,0

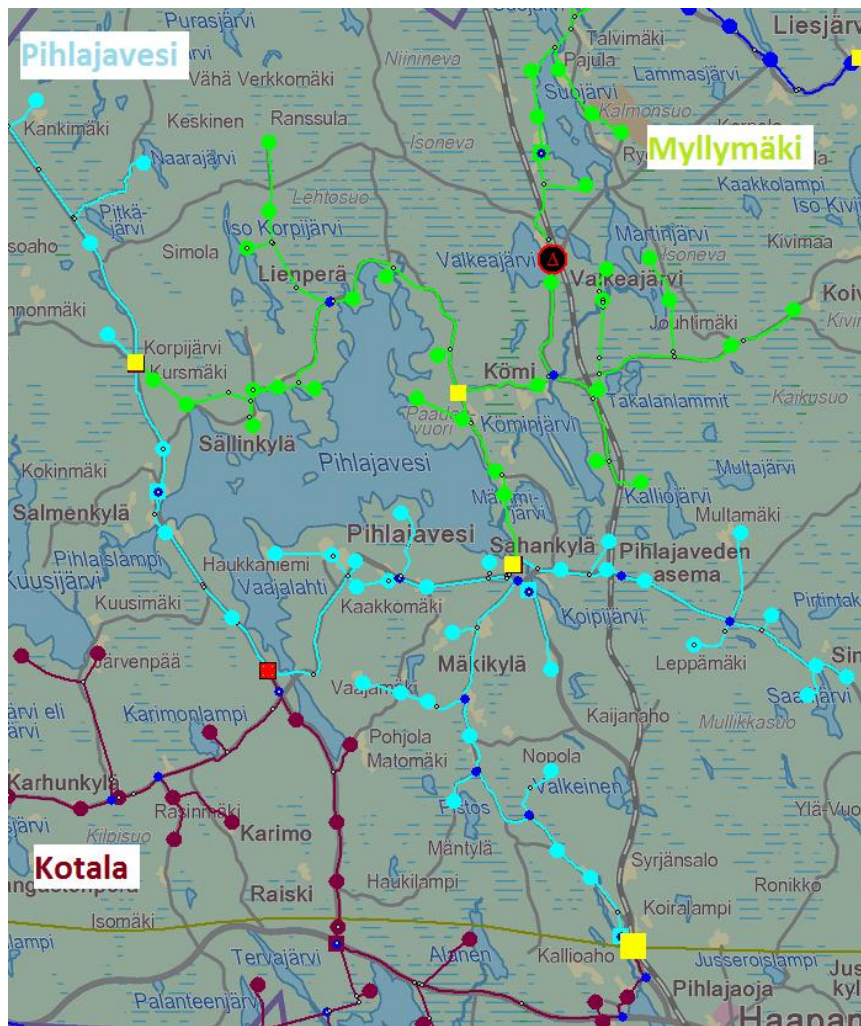
Taulukon sarake t1 ilmaisee lähdön huipunkäyttöaika tunneissa ja t2 lähdön häviöiden huipunkäyttöaika tunneissa.

9.1.1 Kiskostovaurio

Kiskostovaurio Haapamäen sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan ja Virtain sähköasemille. Mäkikylän ja Yltiän lähtöjen kuormat jaettiin Inhan Pihlajavesi ja Myllymäki -lähdöille sekä Virtain Kotala-lähdölle. Verkkoon jouduttiin tekemään useita jakorajamuutoksia korvauskytkennän suorittamiseksi ja pienimmän jännitteenaleneman saavuttamiseksi.

Mäkikylän lähdön kuorma siirrettiin lähes kokonaisuudessaan Inhan Pihlajavesi-lähdön perään. Sähkö syötettiin Kursmäentien, Ahtaansalmen ja Siston erotinasemien kautta Simsiölle ja sähköasemalle asti. Yltiän lähdön alkupää käännettiin Ahtaansalmen tuntumassa sijaitsevalla yhteyserottimella Virtain Kotala-lähdön perään. Mäkikylän ja Yltiän lähtöjen hännät, välit Sisto-Kiero ja Kiero-Kursmäentie, siirrettiin Inhan Myllymäki-lähdön perään Kieron erotinaseman kautta.

Haapamäen sähköaseman varasyötönaikainen kytkentätilanne on esitetty kuvassa 11. Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistus ja oikosulkulaskentalistus on esitetty taulukoissa 14 ja 15. Kytkentätilanteen vaikutus korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormituksiin on jätetty pois vähäisen vaikutuksen takia.



Kuva 10. Haapamäen sähköaseman korvauskytkentä.

Taulukko 14. Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilan-
teen tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Inha	Pihlajavesi	34	1,19	19,36	6,02
	Myllymäki	16	1,59	19,81	3,82
Virrat	Kotala	57	2	19,61	4,78

Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion aikaisen varasyöttötilanteen suurin jänniteenalenema havaittiin Inhan Pihlajavesi-lähdöllä, kun jännite Pihlajaveden kylästä tippui 19,36 kV:iin, jänniteenaleneman ollessa 6,02 %.

Taulukko 15. Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2V}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Inha					
	Pihlajavesi	34	0,100	0,28	282
	Myllymäki	45	0,120	0,30	245
Virrat					
	Kotala	57	0,150	0,73	489
Kotala					
	Pihlajavesi	19*	0,050	0,28	557

Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion aikaisessa varasyöttötilanteessa yhdenkään johtolähdön kuormitusvirta ei ylittänyt kyseistä johtolähtöä suojaavan ylivirtareleen aikalaukaisun havahtumisrajaa sekä kaksivaiheisen oikosulkuvirran ja releen havahtumisvirran suhteellisarvo kaikilla johtolähdöillä ylitti 100 %:in raja-arvon.

*Kotalan Pihlajavesi-lähdön tehonjakolistaus ei ole saatavilla. Virrat Kotalalähdön tehonjaossa KO_J07 (Pihlajavesi) kuormitus 19 A.

9.1.2 Päämuuntajan korvaus

Haapamäen sähköaseman päämuuntajan korvauskyskennässä päädyttiin samaan kytkentätilanteeseen kuin kiskostovaurion aikana. Sähköaseman sijainnin ja kytkentämahdollisuuksien takia sähköaseman kiskostoa ei pystytty hyödyntämään korvaavassa kytkentätilanteessa.

9.2 Heinäaho

Heinäahon sähköasema on rakennettu vuonna 1986 Virtain keskustan tuntumaan. Sähköaseman kiskostoa syötetään 16 MVA:n päämuuntajalla ja sen lähtöjen yhteisteho on noin 8,3 MW. Heinäahon sähköaseman lähtötiedot on esitetty taulukossa 16. Muista Koillis-Satakunnan Sähkön sähköasemista poiketen, Heinäahon sähköaseman kytkinlaitteisto on toteutettu vähäöljykatkaisija-tekniikalla.

Heinäahon sähköasemalta syötetään laajaa sähköverkkoa, jonka haarat ulottuvat Virtain keskustasta aina Alavuden Sulkavankylään, Kihniön Mäkikylään, Vasakuun Kurjenkylään ja Virtain Liedenperään asti.

Heinäahon sähköaseman varasyötön mahdollistavia keskijänniteyhteyksiä löytyi Ritarin sähköaseman Heinäaho ja Sulkava –lähdoiltä sekä Virtain sähköaseman Heinäaho, Vaskivesi ja Tapiola –lähdoiltä.

Taulukko 16. Heinäahon sähköaseman lähtöjen tiedot.

Sähköasema	Lähtö	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
HEINÄAHO						
	KIHNIÖ HE_J07	3574	1633	1868,45	409,51	1912,8
	KURJENKYLÄ HE_J09	3685	1729	767,9	150,52	782,5
	AUTIO HE_J12	4693	2744	2524,9	524,33	2578,8
	ÄIJÄNNEVA HE_J11	3930	1928	726,22	124,31	736,8
	VIRRAT HE_J14	5302	3561	980,72	134,92	990,0
	RITARI HE_J13	4016	2016	1428,55	329,92	1466,2
Yhteensä				8296,7	1673,5	8467,0

9.2.1 Kiskostovaurio

Kiskostovaurio Heinäahon sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Ritarin ja Virtain sähköasemille.

Ritarin lähdon kuormat Suvelan linjaerottimesta pohjoisen suuntaan siirrettiin Ritarin sähköaseman Heinäaho-lähdon perään Tulijoen erotinaseman kautta. Äijän-

nevan lähdön kuorma siirrettiin Ritarin sähköaseman Sulkava-lähdölle Soukkalan erotinaseman kautta.

Aution lähdön kuorma siirrettiin Virtain sähköaseman Tapiola-lähdölle Raiskintien erottimen kautta. Virtain lähdölle kytkettiin sähkö sulkemalla Virtain sähköasemalta Heinäahon lähdön erotin. Kihniön ja Kurjenkylän kuormat kytkettiin Heinäaho-lähdön perään Heinäahon sähköaseman ja Makkaraojan yhteiserottimen kautta.

Jännitteenaleneman minimoimiseksi Heinäahon ja Vaskiveden välinen jakoraja siirrettiin Kytölahden erotinasemalle. Virtain sähköaseman päämuuntajan keventämiseksi Kotalan lähtö siirrettiin Killinkosken sähköaseman perään.

Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 17, 18 ja 19.

Taulukko 17. Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Ritari					
	Heinäaho	28	2,09	19,5	5,35
	Sulkava	23	1,4	19,49	5,37
Virrat					
	Heinäaho	45	3,28	19,46	5,53
	Vaskivesi	38	2,42	19,57	4,98
	Tapiola	50	4,23	20,29	1,52
Killinkoski					
	Kotala	22	1,66	19,83	3,75

Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion aikaisen varasyöttötilanteen suurin jännitteenalenema havaittiin Virtain Heinäaho-lähdöllä, kun jännite verkon perällä, Hirvijärvellä, tippui 19,46 kV:iin, jännitteenaleneman ollessa 5,53 %.

Taulukko 18. Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilan-
teen kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Ritari	5201,22	10000	52,01
Killinkoski	4388,76	5000	87,78
Virrat	14657,5	16000	91,61

Taulukko 19. Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytken-
nän oikosulkulaskentalistaus.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Ritari					
	Heinäaho	60	0,070	0,28	401
	Sulkava	40	0,050	0,21	421
Virrat					
	Heinäaho	94	0,300	0,30	101
	Vaskivesi	68	0,150	0,32	269
	Tapiola	121	0,150	1,43	952
Killinkoski					
	Kotala	47	0,120	0,32	266

Kiskostovaurion aikaisessa varasyöttötilanteessa 2-vaiheinen oikosulkuvirta Vir-
tain Heinäaho-lähdöllä lähestyi kriittistä rajaa, kun oikosulkuvirta verkon perällä
jäi noin 303 A:iin. Johtolähtöä suojaavan releen havahtumisvirta aikalaukaisulla
on aseteltu 0,30 kA:iin. Johtolähdön alhaisen kuormitusvirran ansiosta suojausta
voisi tehostaa asettelemalla releen aikalaukaisun havahtumisvirtaraja uudelleen
esim. 0,20 kA:iin.

9.2.2 Päämuuntajan korvaus

Päämuuntajan korvaus Heinäahon sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtä-
mistä Ritarin ja Virtain sähköasemille.

Ritarin lähdön kuorma siirrettiin Ritarin sähköaseman Heinäaho-lähdön perään Tulijoen erotinaseman kautta ja Äijännevan lähdön kuorma siirrettiin Ritarin sähköaseman Sulkava-lähdölle Soukkalan erotinaseman kautta.

Aution lähdön kuorma siirrettiin Virtain Tapiola-lähdölle Raiskintien erottimen kautta. Heinäahon sähköaseman kiskostoon syötettiin sähkö Virtain sähköasemalta sulkemalla sieltä Heinäaho-lähdön erotin. Kihniön ja Kurjenkylän lähdöt syötettiin Heinäahon sähköaseman kiskoston kautta.

Jännitteenaleneman minimoimiseksi Heinäahon ja Vaskiveden välinen jakoraja siirrettiin Kytölahden erotinasemalle. Virtain sähköaseman päämuuntajan keventämiseksi Kotalan lähtö siirrettiin Killinkosken sähköaseman perään.

Heinäahon sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 20, 21 ja 22.

Taulukko 20. Heinäahon sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolaskenta tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Ritari					
	Heinäaho	30	2,26	19,41	5,76
	Sulkava	23	1,4	19,49	5,37
Virrat					
	Heinäaho	49	3,33	19,74	4,15
	Tapiola	50	4,23	20,29	1,52
	Vaskivesi	34	2,2	19,7	4,36
Killinkoski					
	Kotala	22	1,66	19,83	3,75

Taulukko 21. Heinäahon sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Ritari	5201,22	10000	52,01
Killinkoski	4388,76	5000	87,78
Virrat	14657,5	16000	91,61

Taulukko 22. Heinäahon sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Ritari					
	Heinäaho	65	0,070	0,28	401
	Sulkava	40	0,050	0,21	421
Virrat					
	Heinäaho	109	0,300	0,36	237
	Tapiola	121	0,150	1,43	952
	Vaskivesi	62	0,150	0,30	254
Killinkoski					
	Kotala	48	0,12	0,32	266

Heinäahon sähköaseman päämuuntajakeskeytyksessä Ritarin sähköaseman Heinäaho ja Sulkava -lähtöjen kuormitusvirrat lähestyivät ylivirtasuojauksen havah- tumisvirtarajaa. Kytkeväävirtasysäysten aiheuttamien virhelaukaisuiden välttämiseksi Ritarin Heinäaho-lähdön ylivirtasuojauksen havahtumisvirtaraja voitaisiin asetella 100 A:iin ja Sulkava-lähdön havahtumisvirtaraja 70 A:iin.

9.3 Inha

Inhan sähköasema on rakennettu vuonna 1988 Ähtärin taajaman ulkopuolelle In- hantehtaiden läheisyyteen. Sähköaseman kiskostoa syötetään 16 MVA:n pää- muuntajalla ja sen lähtöjen yhteisteho on noin 3,8 MW. Inhan sähköaseman lähtö- tiedot on esitetty taulukossa 23.

Inhan sähköasemalta syötetään sähkö Myllymäen pohjoispuolelta Liesjärven perälle ja Valkeajärvelle, sekä Peränteen kautta Killinkosken ja Pihlajaveden suunnalle.

Taulukko 23. Inhan sähköaseman lähtötiedot.

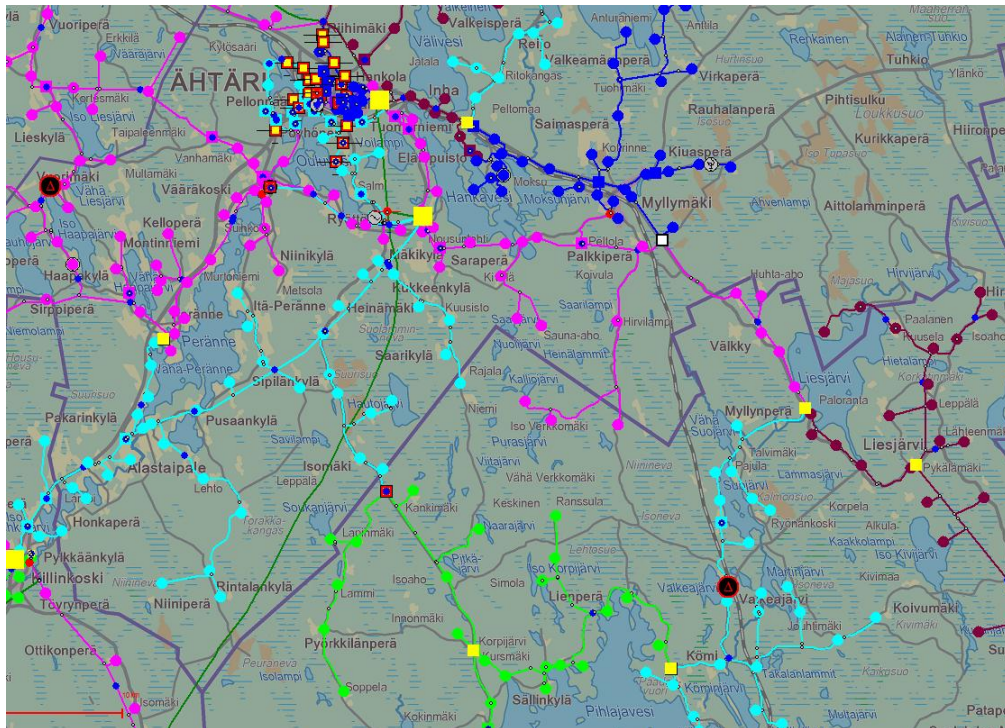
Sähköasema	Lähtö	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
INHA						
	TUOMARNIEMI IN_J12	4867	2922	280,81	14,15	281,2
	ÄHTÄRI IN_J10	4994	3161	114,72	-56,4	127,8
	FISKARS IN_J09	4994	3161	1125,84	327,4	1172,5
	TÖYSÄ IN_J08	3962	1973	338,56	84,07	348,8
	MYLLYMÄKI IN_J07	3605	1661	1192,41	200,2	1209,1
	PIHLAJAVESI INH_J03	5545	3723	240,65		240,7
	KILLI IN_J01	3653	1697	451,35	80,31	458,4
Yhteensä				3744,3	649,7	3838,5

9.3.1 Kiskostovaurio

Kiskostovaurio Inhan sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Haapamäen, Killinkosken, Toopakan ja Ähtäriin sähköasemille kuvan 11 mukaisesti.

Fiskarsin, Myllymäen ja Tuomarniemen lähtöjen kuormat siirrettiin Ähtäriin sähköaseman Inha-lähdön perään Inhan sähköaseman yhteyserottimien välityksellä. Ähtäriin lähdön kuorma siirrettiin Ähtäriin sähköaseman Ähtäri-Etelä -lähdölle Salmenahon kopin kautta. Jännitteenaleneman pienentämiseksi Myllymäen lähdön haara Liesjärveltä Kieroon käännettiin Haapamäen sähköaseman perään.

Osa Killin kuormasta ja suurin osa Pihlajaveden lähdön kuormasta kytkettiin Killinkosken Ähtäri-lähdölle. Kuormien jakamiseksi Pihlajavesi-lähdön häntä käännettiin Haapamäen sähköaseman perään. Töysän lähdön kuorma kytkettiin Toopakan Inha-lähdön perään ja samalla Killinkosken Ähtäri-lähtöä kevennettiin Toopakasta kytkemällä osa sen kuormasta Inhan lähdölle.



Kuva 11. Inhan sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä.

Inhan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 24, 25 ja 26.

Taulukko 24. Inhan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Haapamäki	Mäkikylä	20	1,26	19,99	2,98
	Yltiä		0,69	20,23	1,81
Killinkoski	Ähtäri	12	1,22	20,25	1,7
	Toopakka				
Ähtäri	Inha	15	1,86	20,05	2,69
	Inha	24	2,1	20,01	2,88
	Ähtäri-Etelä	40	3	20,36	1,15

Taulukko 25. Inhan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Killi	2712,6	5000	54,3
Toopakka	6786,8	16000	42,4
Ähtäri	13678,9	16000	85,5

Taulukko 26. Inhan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Haapamäki					
	Mäkikylä	36	0,100	0,37	365
	Yltiä	19	0,100	0,29	285
Killinkoski					
	Ähtäri	35	0,120	0,29	238
Toopakka					
	Inha	54	0,150	0,46	303
Ähtäri					
	Inha	61	0,300	0,25	206
	Ähtäri-Etelä	85	0,200	1,34	669

9.3.2 Päämuuntajan korvaus

Päämuuntajan korvauskytkentä tehtiin samalla kaavalla kuin kiskostovaurion korvauskytkentä, mutta Inhan sähköaseman yhteyserottimien sijasta Fiskarsin ja Myllymäen lähdöt syötettiin sähköaseman kiskoston kautta. Sähkö syötettiin Ähtäriin sähköaseman Inha-lähdön kautta sähköasemien väliseen yhdysjohtoon ja sitä kautta Inhan sähköaseman kiskostoon.

Tehonjakolaskennan tulokset eivät muuttuneet kytkentämuutosten seurauksena, mutta oikosulkusuojauksen selektiivisyyttä saatiin parannettua, kun Inhan Mylly-

mäki ja Fiskars -lähdöt saatiin omille lähdöille. Oikosulkulaskennan tulokset on esitetty taulukossa 27.

Taulukko 27. Inhan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytken oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Ähtäri					
	Ähtäri-Etelä	85	0,200	1,34	669
	Inha	61	0,300	0,25	206
Inha					
	Myllymäki J07*	28	0,120	0,25	206
	Fiskars J09*	37	0,150	1,44	959
Toopakka					
	Inha	54	0,150	0,46	303
Killi					
	Ähtäri	35	0,120	0,29	238
Haapamäki					
	Mäkikylä	36	0,100	0,37	365
	Yltiä	19	0,100	0,29	285

*Inhan Myllymäki ja Fiskars -lähtöjen kuormitukset poimittu Ähtäriin Inha-lähdön tehonjakolistauksesta. Ähtäriin Inha-lähtö syöttää sähköasemien välisen yhdysjohdon kuorman sekä Fiskarsin ja Myllymäen lähtöjen kuormat.

9.4 Killinkoski (45 kV)

Killinkosken sähköasema on rakennettu vuonna 1972 koskessa sijaitsevan vesivoimalaitoksen yhteyteen. Killinkosken sähköasema on toinen Koillis-Satakunnan Sähkön 45 kV:n sähköasemista. Sähköaseman kiskostoa syötetään 5 MVA:n päämuuntajalla ja sen lähtöjen yhteisteho on noin 2,4 MW. Killinkosken sähköaseman lähtötiedot on esitetty taulukossa 28.

Taulukko 28. Killinkosken sähköaseman lähtötiedot.

Sähköasema	Lähtö	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
KILLINKOSKI						
	INKA KI_J08	4359	2380	300,15	82,02	311,2
	VIRRAT KI_J04	3396	1499	417,47	107,34	431,0
	ÄHTÄRI KI_J02	4004	2009	1067,61	255,75	1097,8
	ALAVUS KI_J01	3563	1624	573,24	124,05	586,5
Yhteensä				2358,5	569,2	2426,5

9.4.1 Kiskostovaurio

Kiskostovaurio Killinkosken sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan, Ritarin ja Virtain sähköasemille.

Alavuden lähdön kuorma siirrettiin Ritarin sähköaseman Killinkoski-lähdölle Polararin erotinaseman kautta, Virtain lähdön kuorma siirrettiin Virtain sähköaseman Killinkoski-lähdölle Lahdenkylän erotinaseman kautta, Ähtärin lähdön kuorma siirrettiin Inhan Töysä-lähdölle Vääräkosken erotinpukista ja Inkan lähdön kuorma siirrettiin Virtain Kotala-lähdölle Välpän yhteyserottimella.

Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistus ja oikosulkulaskentalistus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 29, 30 ja 31.

Taulukko 29. Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Inha					
	Töysä	16	1,52	20,05	2,67
Ritari					
	Killinkoski	12	1,09	20,19	2,01
Virrat					
	Killi	10	0,99	20,34	1,28
	Kotala	20	1,88	19,86	3,6

Taulukko 30. Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Inha	5396,9	16000	33,7
Ritari	3378,3	10000	33,8
Virrat	10452,7	16000	65,3

Taulukko 31. Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkenän oikosulkulaskentalistaus.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Inha					
	Töysä	44	0,150	0,52	345
Ritari					
	Killinkoski	31	0,080	0,34	426
Virrat					
	Killi	28	0,150	0,71	470
	Kotala	54	0,150	0,73	489

9.4.2 Päämuuntajan korvaus

Päämuuntajan korvaus Killinkosken sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan, Ritarin ja Virtain sähköasemille.

Alavuden lähdön kuorma siirrettiin Ritarin sähköaseman Killinkoski-lähdölle Polarin erotinaseman kautta. Inkan ja Virtain lähdöt sekä Ähtärin lähdön alkupää Perälän erottimeen asti siirrettiin Virtain Killi-lähdölle syöttämällä sähkö sähköasemien välisellä yhdysjohdolla Killinkosken sähköaseman kiskostoon. Loput Ähtärin lähdön kuormasta siirrettiin Inhan Töysä-lähdölle.

Jakorajan siirtäminen sähköasemalta Perälän erottimeen pienensi Inhan Töysä-lähdön jännitteenaleneman 2,72 %:sta 2,0 %:iin. Perälän erotin on kuitenkin paikalliskäyttöinen ja ilman jakorajamuutosta kytkentä voitaisiin suorittaa kauko-ohjauksella valvomosta.

Killinkosken sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 32, 33 ja 34.

Taulukko 32. Killinkosken sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Inha					
	Töysä	14	1,35	20,19	2,0
Virrat					
	Killi	14	1,39	20,15	2,17
Ritari					
	Killinkoski	12	1,09	20,19	2,01

Taulukko 33. Killinkosken sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Inha	5216,7	16000	32,6
Ritari	3377,4	10000	33,8
Virrat	10610	16000	66,3

Taulukko 34. Killinkosken sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Inha					
	Töysä	39	0,150	0,52	345
Virrat					
	Killi	39	0,150	0,70	467
Ritari					
	Killinkoski	31	0,080	0,34	426

9.5 Kotala (20 kV jakoasema)

Kotalan 20 kV jakoasema sijaitsee Haapamäen, Killinkosken ja Virtain sähköasemien solmupisteessä. Normaalisissa kytkentätilanteissa Virtain Kotala-lähtö syöttää sähkön Kotalan jakoaseman kiskostoon. Virtain sähköaseman Kotala-lähdön tiedot on esitetty taulukossa 35.

Taulukko 35. Kotalan jakoaseman lähtötiedot.

Sähköasema	Lähtö	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
VIRRAT						
	KOTALA VI_J13	3496	1573	1511,95	233,66	1529,9

Kotalan jakoaseman kiskostovaurion varasyötön mahdollistavat keskijänniteyhteudet Haapamäen sähköaseman Yltiä-lähdölle sekä yhteys Killinkosken sähköaseman kiskostoon.

Normaalitilanteessa Virtain Kotala-lähdön kuorma on noin. 1,5 MW. Kiskostovaurion seurauksena jakoasema on erotettava verkosta avaamalla kaikkien johtolähtöjen erottimet, jolloin ainoastaan Virtain sähköaseman ja Kotalan jakoaseman välinen kuorma, noin 0,5 MW, jää Virtain Kotala-lähdölle. Loput kuormasta, noin 1 MW, korvataan Killinkosken ja Haapamäen sähköasemilta.

Itämeren, Killinkosken, Korhosen ja Piilin kuormat siirrettiin Killinkosken sähköaseman perään sulkemalla Killinkosken sähköasemalta Kotala-lähtö ja sulkemalla Kotalan jakoasemalta yhteyserottimet Killi-Itämeri, Killi-Korhonen ja Killi-Piili. Pihlajaveden lähtö käännettiin Haapamäen Yltiä-lähdölle Ahtaansalmen erotinasemalta.

Kotalan jakoaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 36, 37 ja 38. Korvauskytkennän vaikutus Virtain sähköaseman tuloksiin on jätetty pois sen keventyneen kuormituksen takia.

Taulukko 36. Kotalan jakoaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän tehonjakolaskennan tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Haapamäki					
	Yltiä	11	0,92	20,11	2,37
Killinkoski					
	Kotala	9	0,70	20,27	1,59

Taulukko 37. Kotalan jakoaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Haapamäki	1742,2	10000	17,4
Killinkoski	3393,8	5000	67,9

Taulukko 38. Kotalan jakoaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Haapamäki					
	Yltiä	26	0,100	0,32	317
Killinkoski					
	Kotala	20	0,120	0,27	225

9.6 Ritari (45 kV)

Ritarin sähköasema on toinen Koillis-Satakunnan Sähkön verkossa olevista 45 kV sähköasemista. Asema on rakennettu vuonna 1972 helpottamaan sähkönjakelua Alavuden seudulla. Sähköaseman kytkinlaitos on saneerattu nykyiseen malliin vuonna 1997. Ritarin sähköaseman kiskostoa syötetään 10 MVA päämuuntajalla ja sen lähtöjen yhteysteho on noin. 2,4 MW. Ritarin sähköaseman lähtötiedot on esitetty taulukossa 39.

Taulukko 39. Ritarin sähköaseman lähtötiedot.

Sähköasema	Lähtö	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
RITARI						
	HEINÄAHO RI_J06	3576	1634	619,97	139,87	635,6
	SULKAVA RI_J08	4042	2019	548,25	87,3	555,2
	KILLINKOSKI RI_J05	4300	2275	428,58	100,78	440,3
	KONTIAINEN RI_J07	4567	2568	832,85	159,44	848,0
Yhteensä				2429,7	487,4	2479,0

9.6.1 Kiskostovaurio

Kiskostovaurio Ritarin sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Heinäahon ja Toopakan sähköasemille.

Heinäahon lähdön kuorma ja Sulkavan lähdön kuorma Soukkalan erotinasemaan asti siirrettiin Heinäahon sähköaseman Ritari-lähdölle Tulijoen erotinaseman ja Heinäaho-Sulkava yhteyserottimen kautta. Killinkosken lähdön kuorma ja Kontiaisen lähdön kuorma Vehkajoen erottimeen asti siirrettiin Toopakan sähköaseman Pollari-lähdölle Pollarin erotinaseman kautta. Loput Kontiaisen ja Sulkavan lähtöjen kuormista siirrettiin Heinäahon sähköaseman Äijänneva-lähdölle Soukkalan ja Haapanevan erotinasemien kautta.

Ritarin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 40, 41 ja 42.

Taulukko 40. Ritarin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Heinäaho					
	Äijänneva	16	1,29	19,08	7,39
	Ritari	28	2,61	18,99	7,81
Toopakka					
	Pollari	22	1,65	19,22	6,68

Taulukko 41. Ritarin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Heinäaho	10765,4	16000	67,3
Toopakka	6849,7	16000	42,8

Taulukko 42. Ritarin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Heinoaho					
	Äijänneva	37	0,150	0,18	120
	Ritari	76	0,100	0,28	283
Toopakka					
	Pollari	47	0,150	0,23	152

9.6.2 Päämuuntajan korvaus

Ritarin sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä suoritettiin samalla kaavalla kuin kiskostovaurion korvauskytkentä, mutta Heinäahon lähdön kuorma ja Sulkavan lähdön kuorma Soukkalan erotinasemaan asti syötettiin sähköaseman kiskoston kautta.

Tehonjakolaskennan tulokset eivät muuttuneet kytkentämuutosten seurauksena, mutta oikosulkusuojauksen selektiivisyyttä saatiin parannettua, kun Ritarin Heinäaho-lähtö ja osa Sulkavan lähdöstä saatiin omille lähdöille.

9.7 Toopakka

Toopakan sähköasema on rakennettu vuonna 1999. Toopakan sähköaseman kiskostoa syötetään 16 MVA:n päämuuntajalla ja sen lähtöjen yhteisteho on noin 5,1 MW. Toopakan sähköaseman lähtötiedot on esitetty taulukossa 43.

Taulukko 43. Toopakan sähköaseman lähtötiedot.

Normaalitilanteen kuormitukset						
SA	LÄHTÖ	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
TOOPAKKA						
	KONDENSAATTORI TO_J14	3554	1621	0	-1052,13	
	TÖYSÄ KK TO_J12	5198	3409	2360,72	657,05	2450,5
	KITULA TO_J11	3787	1813	395,79	86,31	405,1
	POLLARI TO_J10	3732	1772	432,71	69,45	438,2
	VIRTALA TO_J09	4112	2096	707,86	137,79	721,1
	ÄHTÄRI TO_J06	3738	1764	410,82	87,74	420,1
	INHHA TO_J03	3634	1675	805,8	159,43	821,4
Yhteensä				5113,7	145,6	5256,4

9.7.1 Kiskostovaurio

Kiskostovaurio Toopakan sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan, Killinkosken, Ritarin ja Ähtärin sähköasemille.

Virtalan ja Inhan lähtöjen kuormat, Keisalan erotinaseman Huutoniemen haaraa lukuun ottamatta, siirrettiin Inhan sähköaseman Töysä-lähdölle Vääräkosken erotimen kautta. Huutoniemen haaran kuorma siirrettiin Killinkosken sähköaseman Ähtäri-lähdölle Huutoniemen erotinaseman kautta.

Töysä keskusta -lähdön kuorma siirrettiin Ähtärin sähköaseman Töysä-lähdölle Kylkiäisen erotinaseman ja Toopakan yhteiserotimen kautta. Kitulan lähdön kuorma siirrettiin Ähtärin sähköaseman Kitula-lähdölle Kitulan erotinaseman kautta. Pollarin lähdön kuorma siirrettiin Ritarin sähköaseman Killinkoski-lähdölle Pollarin erotinaseman kautta.

Toopakan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 44, 45 ja 46.

Taulukko 44. Toopakan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Inha					
	Töysä	17	1,63	19,88	3,49
Killinkoski					
	Ähtäri	17	1,64	19,94	3,18
Ritari					
	Killinkoski	10	0,93	20,27	1,61
Ähtäri					
	Kitula	19	1,37	19,91	3,36
	Töysä	43	3,01	19,58	4,94

Taulukko 45. Toopakan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Inha	5498,8	16000	34,4
Killinkoski	3160,2	5000	63,2
Ritari	3211,6	10000	32,1
Ähtäri	14385,9	16000	89,9

Taulukko 46. Toopakan sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Inha					
	Töysä	61	0,150	0,37	247
Killinkoski					
	Ähtäri	47	0,120	0,27	223
Ritari					
	Killinkoski	26	0,080	0,3	376
Ähtäri					
	Kitula	40	0,150	0,4	268
	Töysä	81	0,200	0,73	364

9.7.2 Päämuuntajan korvaus

Päämuuntajan korvauskytkentä Toopakan sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan, Ritarin ja Ähtäriin sähköasemille.

Toopakan sähköaseman kiskostoon syötettiin sähkö Toopakan ja Ähtäriin sähköasemien välistä yhdysjohtoa pitkin Ähtäriin Töysä-lähdön kautta. Töysä kk:n, Virtalan ja Ähtäriin lähtöjen kuormat sekä Kitulan lähdön alkupään kuorma Kitulan erotinasemaan asti syötettiin sähköaseman kiskostosta. Kitulan lähdön loppupää käännettiin Kitulan erotinasemalta Ähtäriin Kitula-lähdölle.

Pollarin lähdön kuorma siirrettiin Ritarin sähköaseman Killinkoski-lähdölle Pollarin erotinaseman kautta ja Inhan lähdön kuorma Inhan sähköaseman Töysä-lähdölle Vääräkosken erottimen kautta.

Toopakan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 47, 48 ja 49.

Taulukko 47. Toopakan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskennän tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Inha					
	Töysä	13	1,24	20,24	1,74
Ritari					
	Killi	10	0,94	20,27	1,62
Ähtäri					
	Kitula	20	1,46	19,87	3,57
	Töysä	50	3,6	19,73	4,24

Taulukko 48. Toopakan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskennän kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Inha	5092,7	16000	31,8
Ritari	3211,6	10000	32,1
Ähtäri	14853,0	16000	92,8

Taulukko 49. Toopakan sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskystennän oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Inha					
	Töysä	36	0,150	0,46	307
Ritari					
	Killi	27	0,080	0,30	376
Ähtäri					
	Kitula	43	0,150	0,40	268
	Töysä	105	0,200	0,38	255
Toopakka					
	Kitula		0,150	0,68	452
	Töysä kk		0,150	0,62	416
	Virtala		0,150	0,38	255

9.8 Virrat

Virtain sähköasema on rakennettu vuonna 1968. Rakennusvaiheessa sähköasemalla oli vain yksi päämuuntaja (PM1). Toinen päämuuntaja (PM2) lisättiin vuonna 1970. Virtain sähköaseman kojeisto on saneerattu nykymalliinsa vuonna 1990.

Normaalissa kytkentätilanteessa päämuuntajalla PM1 syötetään 45 kV:n verkkoa Killinkosken ja Ritarin sähköasemille. Päämuuntaja PM2 puolestaan syöttää sähköaseman 20 kV kiskostoa. Virtain sähköaseman 20 kV johtolähtöjen yhteisteho on noin 9,0 MW. Virtain sähköaseman lähtötiedot on esitetty taulukossa 50.

Taulukko 50. Virtain sähköaseman lähtötiedot.

Sähköasema	Lähtö	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
VIRRAT						
	TAPIOLA VI_J08	4334	2389	1268,06	140,04	1275,8
	AHJOLA VI_J10	4798	3466	1161,74	257,2	1189,9
	VASKIVESI VI_J11	4037	2046	1736,3	82,81	1738,3
	PURULA VI_J12	5197	3300	2231,49	438,13	2274,1
	KOTALA VI_J13	3496	1573	1511,95	233,66	1529,9
	JÄÄHDYS VI_J15	4153	2142	570,63	117,09	582,5
	KILLI VI_J16	3554	1621	496,86	97,35	506,3
Yhteensä				8977,0	1366,3	9096,7

9.8.1 Kiskostovaurio

Kiskostovaurio Virtain sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämisen Heinäahon ja Killinkosken sähköasemille, sekä niiden kuormien keventämistä Haapamäen ja Ritarin sähköasemilta. (Virtain sähköaseman kiskostovaurio on laskettu muista poiketen nykyhetken tehonjakolistauksen tuloksilla!)

Kotalan lähdön kuorma, Jäähdyksen lähdön alkupään kuorma Rajaniemestä Puttonskylään sekä Vaskiveden haara Jäähdyksestä Simoseen siirrettiin Killinkosken sähköaseman Kotala-lähdölle. Killin lähdön kuorma siirrettiin Killinkosken Virrat-lähdölle. Killinkosken sähköaseman päämuuntajan kuormitusta kevennettiin siirtämällä Kotalan Pihlajavesi-lähtö Haapamäen Yltiä-lähdölle ja osa Ähtärin lähdön kuormasta Inhan Töysä-lähdölle.

Purulan ja Tapiolan lähtöjen kuormat sekä loput Jäähdyksen ja Vaskiveden lähtöjen kuormista siirrettiin Heinäahon Autio-lähdölle. Aution lähdön johdon alkupään kuormaa kevennettiin siirtämällä osa Vaskiveden lähdön hännästä Heinäahon Kihniö-lähdölle. Heinäahon sähköaseman päämuuntajan kuormitusta kevennettiin siirtämällä Ritarin lähdön kuorma Ritarin sähköaseman Heinäaho-lähdölle.

Virtain sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 51, 52 ja 53.

Taulukko 51. Virtain sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Heinäaho					
	Autio	88	8,14	19,82	3,78
	Kihniö	23	2,14	19,73	4,21
Killinkoski					
	Kotala	23	1,75	19,65	4,62
	Virrat	7	0,91	20,45	0,73
Haapamäki					
	Yltiä	10	0,84	20,16	2,15
Ritari					
	Heinäaho	28	2,07	19,51	5,27
Inha					
	Töysä	9	0,91	20,42	0,85

Aution lähdön johdon alkupää joutui kovalle rasitukselle Virtain sähköaseman varasyöttötilanteessa. Lähdön kuormitusvirta nousi 233 A:iin ja kaapelin kuormitusaste 88 %:iin.

Taulukko 52. Virtain sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.

PM kurmitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Haapamäki	1584,0	10000	15,8
Heinäaho	12974,8	16000	81,1
Inha	4407,8	16000	27,5
Killinkoski	4076,0	5000	81,5
Ritari	3972,6	10000	39,7

Taulukko 53. Virtain sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Heinäaho					
	Autio	233	0,200	0,33	167
	Kihniö	61	0,150	0,28	185
Killinkoski					
	Kotala	48	0,120	0,32	266
	Virrat	26	0,120	0,30	251
Haapamäki					
	Yltiä	24	0,100	0,32	317
Ritari					
	Heinäaho	59	0,070	0,28	401
Inha					
	Töysä	26	0,150	0,86	574

Virtain sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkennässä Heinäahon Autio-lähdön kuormitusvirta ylitti johtolähtöä suojaavaan ylivirtareleen aikalaukaisun asetteluarvon. Aution lähdön johdinlaji on MA121, joka tarkoittaa 120 mm²:stä keskijännitekaapelia AHXAMK-W 3x120+35:sta, jonka nimelliskuormitettavuus on 265 A. Maakaapelilla ylivirtasuojauksen tulee havahtua viimeistään kaapelin kuormitettavuuden tullessa vastaan, joten oikosulkusuojauksen toteuttamiseksi Aution lähdön ylivirtareleen havahtumisvirtaraja tulisi nostaa 250 A:iin.

Aution lähdön varasyötön aikaiset kuormitettavuus- ja ylivirtasuojausongelmat tulevat poistumaan vuoden 2017 aikana, kun Heinäahon sähköasemalta rakennetaan uusi keskijännitekaapeliyhteys Keiturin. Keiturin alueen kuormien erottaminen Ahjolan lähdöstä laskee johtolähdön kuormitusvirran 199 A:iin (**Taulukko 55.**) ja kaapelin kuormitusasteen 75 %:iin (**Taulukko 54.**). Käytännössä uudella keskijänniteyhteydellä voidaan korvata suurempikin osa Aution lähdön kuormasta, jolloin johtolähdön kuormitusvirta ja jännitteenalanema pienenevät entisestään sekä suojaukset tehostuvat, kun yksittäisen johtolähdön perässä olevan verkon pituus lyhenee.

Taulukko 54. Aution lähdön tehonjakolaskennan ilman Keiturin kuormia.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Heinäaho					
	Autio	75	6,95	19,81	3,82

Taulukko 55. Aution lähdön oikosulkulaskenta ilman Keiturin kuormia.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2V}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Heinäaho					
	Autio	199	0,200	0,33	167

9.8.2 Päämuuntajan korvaus

Päämuuntajan korvauskytkentä Virtain sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Heinäahon ja Killinkosken sähköasemille sekä Heinäahon päämuuntajan keventämistä Ritarista.

Kotalan jakoaseman kuormat Virrat Kotala-lähtöä lukuun ottamatta siirrettiin Killinkosken Kotala-lähdölle sulkemalla Killinkosken sähköasemalta Kotalan johtolähdön erotin. Virrat Killi-lähdön kuormat kytkettiin Killinkosken Virrat-lähdölle Lahdenkylän erotinaseman kautta.

Virtain sähköaseman kiskostoon syötettiin sähkö Heinäahon Virrat-lähdön kautta sähköasemien välistä yhdysjohtoa pitkin. Ahjolan, Jäähdyksen, Kotalan, Tapiolan ja Vaskiveden lähdöt syötettiin sähköaseman kiskoston kautta. Asemien välisen yhdysjohdon kuorman keventämiseksi Purulan lähtö kytkettiin Aution lähdön perään Asemapuiston erottimella.

Heinäahon sähköaseman päämuuntajan kuormaa kevennettiin siirtämällä osa Ritarin lähdön kuormasta Ritarin sähköaseman perään avaamalla Tulijoen erotinasemalta Makkaraojan erotin ja sulkemalla Sapsalammen erotin.

Virtain sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistus ja oikosulkulaskentalistus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 56, 57 ja 58.

Taulukko 56. Virtain sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkenän tehonjakolistausten tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Heinäaho					
	Autio	57	5,28	20,38	1,05
	Ritari	6	0,62	20,42	0,86
	Virrat	66	5,65	19,69	4,43
Killinkoski					
	Kotala	13	1	20,14	2,21
	Virrat	8	1	20,43	0,82
Ritari					
	Heinäaho	22	1,65	19,72	4,28

Taulukko 57. Virtain sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkenän kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Heinäaho	15568,6	16000	97,3
Killinkoski	4262,4	5000	85,2
Ritari	3745,5	10000	37,5

Virtain sähköaseman päämuuntajan korvauskytkenässä Heinäahon sähköaseman päämuuntajan kuormitus nousi 97,3 %:iin. Heinäahon päämuuntajan kuormaa voidaan keventää tarvittaessa 0,4 MW kääntämällä Äijännevan lähdön häntä Vi-hantaniemestä eteenpäin Ritarin sähköaseman perään. Sulkavan lähdön jänniteenalenema tällöin 2,65 %.

Taulukko 58. Virtain sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkenän oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Heinäaho					
	Autio	153	0,200	1,63	815
	Ritari	18	0,100	0,27	267
	Virrat	161	0,300	0,30	247
Killinkoski					
	Kotala	28	0,120	0,32	266
	Virrat	29	0,120	0,30	251
Ritari					
	Heinäaho	47	0,070	0,28	401
Virrat					
	Ahjola J10*	38	0,150	1,67	1113
	Jäähdytys J15*	18	0,150	0,66	440
	Kotala J13*	20	0,150	0,69	460
	Tapiola J08*	41	0,150	0,97	649
	Vaskivesi J11*	55	0,150	0,3	247

9.9 Ähtäri

Ähtäriin sähköasema on rakennettu vuonna 1976 keskustan läheisyyteen. Ähtäriin sähköaseman kiskostoa syötetään 16 MVA:n päämuuntajalla ja sen lähtöjen yhteisteho on noin 10,4 MW. Ähtäriin sähköaseman lähtötiedot on esitetty taulukossa 59.

Taulukko 59. Ähtärin sähköaseman lähtötiedot.

Sähköasema	Lähtö	t1	t2	P	Q	S
		h	h	kW	kVAr	kVA
ÄHTÄRI						
	KESKUSTA AH_J08	4905	3011	1650,84	365,95	1690,9
	ÄHTÄRI-ETELÄ AH_J04	4317	2306	2643,82	388,69	2672,2
	TANKKI AH_J05	5013	3266	949,25	253,16	982,4
	MYLLYMÄKI AH_J10	4646	2635	2116,64	421,67	2158,2
	ÄHTÄRI-POHJOINEN AH_J09	3810	1853	1779,93	281,89	1802,1
	TÖYSÄ AH_J12	5204	3404	120,08	16,1	121,2
	KITULA AH_J11	5181	3325	1121,37	238,88	1146,5
Yhteensä				10381,9	1966,3	10573,6

9.9.1 Kiskostovaurio

Kiskostovaurio Ähtärin sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Haapamäen, Inhan ja Toopakan sähköasemille.

Keskustan, Tankin ja Ähtäri-Pohjoisen lähtöjen kuormat siirrettiin Inhan sähköaseman Tuomarniemi-lähdölle Ähtärin sähköaseman yhteyserottimen sekä Lämpökeskuksen ja Oikotien erottimien kautta. Ähtäri-Etelän lähdön kuorma siirrettiin Inhan Ähtäri-lähdölle Hietakankaan kopin kautta ja Myllymäen lähdön kuorma siirrettiin Inhan Myllymäki-lähdölle Kuusiston erottimen kautta. Inhan Myllymäki-lähdön kuormaa kevennettiin siirtämällä Liesjärven ja Kieron välinen osuus Haapamäen sähköaseman Mäkikylä-lähdölle.

Töysän lähdön kuorma ja Kitulan lähdön alkupään kuorma Ohraniemen runkoerottiimeen asti siirrettiin Toopakan Ähtäri-lähdölle. Kitulan lähdön häntä käännettiin Kitulan erotinasemalta Toopakan Kitula-lähdölle

Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 60, 61 ja 62.

Taulukko 60. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Haapamäki					
	Mäkikylä	20	1,1	19,99	2,98
Inha					
	Myllymäki	32	2,99	19,89	3,46
	Tuomarniemi	44	4,24	20,13	2,29
	Ähtäri	37	3,05	20,02	2,82
Toopakka					
	Kitula	10	1,00	20,34	1,26
	Ähtäri	9	1,19	20,35	1,2

Taulukko 61. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen kytkentätilanteen kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitukset			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Haapamäki	1750,2	10000	17,5
Inha	12900,2	16000	80,6
Toopakka	6972,3	16000	43,6

Taulukko 62. Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion aikaisen korvauskytkennän oikosulkulaskentalistaus.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Haapamäki					
	Mäkikylä	31	0,100	0,37	365
Inha					
	Myllymäki	86	0,120	0,3	245
	Tuomarniemi	123	0,300	1,36	453
	Ähtäri	87	0,200	1,04	518
Toopakka					
	Kitula	30	0,150	0,58	383
	Ähtäri	34	0,150	0,66	438

9.9.2 Päämuuntajan korvaus

Päämuuntajan korvauskytkentä Ähtärin sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan ja Toopakan sähköasemille.

Inhan, Keskustan, Myllymäen, Tankin, Ähtäri-Etelän ja Ähtäri-Pohjoisen kuormat siirrettiin Inhan sähköasemalle. Kitulan ja Töysän kuormat siirrettiin Toopakan sähköasemalle.

Sähköaseman kiskostoon syötettiin sähkö sähköasemien välistä yhdysjohtoa pitkin Inhan Tuomarniemi-lähdön kautta. Inhan, Keskustan, Myllymäen, Tankin ja Ähtäri-Pohjoisen lähtöjen kuormat syötettiin kiskostosta. Ähtäri-Etelä -lähdön kuorma siirrettiin Inhan Ähtäri-lähdölle.

Töysän lähdön kuorma ja Kitulan lähdön alkupään kuorma Ohraniemeen asti siirrettiin Toopakan Ähtäri-lähdölle. Kitulan lähdön häntä käännettiin Kitulan erotinasemalta Toopakan Kitula-lähdölle

Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen kytkentätilanteen tehonjakolaskentalistaus ja oikosulkulaskentalistaus sekä korvaavien sähköasemien päämuuntajien kuormitukset on esitetty taulukoissa 63, 64 ja 65.

Taulukko 63. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkenän tehonjakolistauksen tulokset.

Tehonjakolaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Teho	Jännite	ΔU
		%	MW	kV	%
Inha					
	Tuomarniemi	48	6,06	19,92	3,32
	Ähtäri	37	3,04	20,02	2,82
Toopakka					
	Ähtäri	9	1,13	20,39	1,03
	Kitula	10	1	20,34	1,26

Taulukko 64. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkenän kuormitusten jakautuminen.

PM kuormitetaavuus			
Sähköasema	S (kVA)	PM koko (kVA)	Kuormitus (%)
Inha	12988,7	16000	81,18
Toopakka	6972,3	16000	43,58

Taulukko 65. Ähtärin sähköaseman päämuuntajakeskeytyksen aikaisen korvauskytkenän oikosulkulaskennan tulokset.

Oikosulkulaskenta					
Sähköasema	Lähtö	Kuormitus	Havaht. Virt.	I_{k2v}	Havaht. Suhd.
		A	kA	kA	%
Inha					
	Tuomarniemi	173	0,300	1,69	337
	Ähtäri	87	0,200	1,04	518
Toopakka					
	Ähtäri	34	0,150	0,66	438
	Kitula	30	0,150	0,58	383

10 YHTEENVETO

Tarkasteluiden perusteella Koillis-Satakunnan Sähkön keskijänniteverkon ja päämuuntajien kapasiteetit ovat riittävällä tasolla sähköasemien varasyöttöjen toteuttamiseksi. Päämuuntajien korvauskytkennöissä suurin osa kytkennöistä pystyttiin suorittamaan kauko-ohjauksella sähkölaitoksen valvomosta, mutta kiskostovaurion korvauskytkentään siirtyminen edellyttää useita paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä. Taulukossa 66 on esitetty paikalliskäyttöisten kytkentätoimenpiteiden tarve korvauskytkentöihin siirtymiseksi.

Suunnitellut sähköasemakeskeytykset pyritään ajoittamaan ajankohtaan, jolloin verkon kuormitukset ovat pienimillään. Viasta aiheutuva sähköasemakeskeytyks voi puolestaan tapahtua yllättäen ajankohtaan katsomatta, joten varasyötön tarkastelut tehtiin verkon kannalta haastavimman tilanteen, eli huippukuormitustilanteen mukaan. Yleensä verkon kuormitukset ovat kuitenkin huomattavasti huippukuormituksia pienemmät, joten varasyötön toteuttamismahdollisuudet ovat käytännössä tarkastelun tuloksia paremmat. Toisaalta kovalla talvipakkasella sattuvan keskeytyksen jälkeen lämmityksen tarve on suuri ja sähkön palautuessa huippukuormitukset saattavat nousta selvästi suuremmiksi kuin ennen keskeytystä esiintyneet huippukuormitukset.

Maasulkusuojauksien toimivuuteen ei työssä otettu kantaa, koska ne katsottiin työnantajan puolesta toimintakuntoisiksi, myös haastavimmissa sähköasemakeskeytystilanteissa. Jokaisella sähköasemalla, Killinkoskea ja Ritaria lukuun ottamatta, on omat sammutuskuristimet, jotka on mitoitettu sammuttamaan korvauskytkentöjen aiheuttaman nousseet maasulkuvirrat.

Tarkasteluissa kuormituksellisesti ja oikosulkusuojauksellisesti haastavin tilanne syntyi Virtain sähköaseman varasyötön aikana, kun Heinäahon Autio-lähdön alkupään johdon suhteellinen kuormitettavuus nousi 88 %:iin kuormitusvirran ollessa 233 A. Lähdön kuormitusvirta ylitti johtolähtöä suojaavan ylivirtareleen asetteluvarvon ja kaapelin kuormitettavuus rajoittaa releen asetteluvarvon nostamista. Aution lähdön kuormitusta pystyttäisiin jakamaan Limingan erotinaseman kautta

Kihniön lähdölle, mutta jännitteenalenema verkon perällä nousisi yli sallitun. Aution lähdön tilanne kuitenkin helpottuu vuonna 2017, kun keskijänniteyhteys Keiturin valmistuu.

Jännitteenaleneman suhteen haastavin tilanne syntyi Ritarin sähköaseman varasyötön aikana, kun jännitteenalenema Rintaperällä nousi 7,81 %:iin. Kriittisessä tilanteessa Ritarin sähköaseman Kontiaisen lähdöllä on mahdollinen varayhteys Carunan verkkoon, mutta sähkölaitosten päämuuntajien eriävien kytkentäryhmien takia verkot eivät ole rengaskelpoisia keskenään.

Heinäahon kiskostovaurion korvauskytkennässä Virtain Heinäaho-lähdön 2-vaiheisen oikosulkuvirran ja releen havahtumisvirran suhdeluku jäi 101 %:iin. Johtolähtöä suojaavan ylivirtareleen asetteluarvo on 0,30 kA. Johtolähdön alhaisen kuormitusvirran ansiosta suojausta voisi tehostaa asettelemalla releen aikalaugaisun havahtumisvirtaraja uudelleen esim. 0,20 kA:iin.

Taulukko 66. Paikalliskäyttöisten kytkentätoimenpiteiden tarve eri asemien keskeytyksissä.

Korvattava sähköasema	Paikalliskäyttöiset erottimet	Vikatyyppi	
		Kiskosto	PM
Haapamäki			
	Yht. Kotala-Yltiä	x	x
Heinäaho			
	Heinäaho Yht. Ritari-Virrat	x	
	Makkaraoja Yht. Kihniö-Ritari	x	
	Suvela	x	
Inha			
	Inha Yht. Fiskars-Tuomarniemi	x	
	Inha Yht. Tuomarniemi-Fiskars	x	
	Inhanjoki Yht. Myllymäki-Fiskars	x	
	Vasikkaniemi	x	x
Killinkoski			
	Perälä Vääräkoski		(x)
	Välppä Yht. Inka-Kotala	x	
Kotala			
	Kotala Yht. Killi-Itämeri	x	
	Kotala Yht. Killi-Korhonen	x	

	Kotala Yht. Killi-Piili	x	
Ritari			
	Ritari Yht. Heinäaho-Sulkava	x	
	Ritari Yht. Killinkoski-Kontiainen	x	x
	Vehkajoki Kontiainen	x	x
Toopakka			
	Toopakka Yht. Inha-Kitula	x	
	Toopakka Yht. Kitula-Virtala	x	
	Toopakka Yht. Ähtäri-Töysä kk	x	
Virrat			
	Ahjolanpuisto Raiski	x	
	Asemapuisto Jalmari	x	x
	Ketvene Leka	x	
	Poikasaari Yht. Miljoonatie-Hintala	x	
	Puttonen Yht. Vaskivesi-Kotala	x	
	Rajaniemi Jäähdysohja	x	
	Rajaniemi Sipilä	x	
Ähtäri			
	Kuusisto	x	
	Lämpökeskus Kansalaiskoulu	x	
	Ula Yht. Töy-Poh	x	x
	Ähtäriin sähköas Yht. Äht.pohj.-Inha	x	

LÄHTEET

- /1/ Energiateollisuus ry:n suosittelemat sähköntoimitusehdot STE 2010
- /2/ Honkasalo, O. 2015. Diplomityö: Yleissuunnittelun ja investointien hallinnan kehittäminen Oulun Energian siirto ja jakelu OY:ssä. Tampere. Viitattu 10.5.2016.
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23108/honkasalo.pdf>
- /3/ Koillis-Satakunnan Sähkön vuosikertomus 2015. Viitattu 10.5.2016.
<http://www.ksat.fi/Documents/Vuosikertomus2016.pdf>
- /4/ Lakervi, E. 1996. Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu. Kangasala. Otatieto OY.
- /5/ Lakervi, E. & Partanen, J. 2009. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki. Otatieto/Gaudeamus.
- /6/ Neva, R. 1992. Diplomityö: Sähkönjakelun toteuttamisvaihtoehdot sähköasemakeskeytysten aikana. Paimio
- /7/ L 9.8.2013/588. Sähkömarkkinalaki. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 5.10.2016.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>
- /8/ SFS-KÄSIKIRJA 600-2. 2012. SFS-EN 50160 - Yleistä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. 4. painos. Suomen standarditoimistoliitto SFS.
- /9/ Nousiainen, T. 2014. Opinnäytetyö: Rautalammin ja Konnenveden alueen sähkönjakelun käyttövarmuuden kehittäminen. Kuopio. Viitattu 10.5.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74169/Nousiainen_Tanja.pdf

LIITE 1

Haapamäen sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

Kiskostovaurio Haapamäen sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan ja Virtain sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut sähköasema verkosta. Avataan 110 kV katkaisija sekä erotin ja kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Kytetään väli Kursmäentie-Kömi-Sisto Inhan Myllymäen lähdön perään avaamalla Kieron suunnan erottimet Sistosta ja Kursmäentieltä sekä sulkemalla Kieron erotinasemalta Liesjärven ja Kursmäentien erottimet.
- Kytetään sähkö Haapamäen sähköaseman eteläpuolelle Virtain Kotala-lähdön kautta avaamalla Ahtaansalmesta Yltiän erotin ja sulkemalla yhteyserotin Kotala-Yltiä.
- Syötetään Inha Pihlajavesi-lähdön sähköä Simsiölle ja Haapamäen sähköaseman pohjoispuolelle sulkemalla Kursmäentieltä Pyörkkilän tienhaaran erotin ja Ahtaansalmesta Siston erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää Kotala-Yltiä yhteyserottimen paikalliskäyttöä, muut kytkennät voidaan suorittaa valvomosta.

LIITE 2

Haapamäen sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

Päämuuntajan korvauskytkentä Haapamäen sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan ja Virtain sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut päämuuntaja verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja syötön erotin.

Suoritetaan samat kytkentämuutokset kuin kiskostovian aikana.

- Kytetään väli Kursmäentie-Kömi-Sisto Inhan Myllymäen lähdön perään avaamalla Kieron suunnan erottimet Sistosta ja Kursmäentieltä sekä sulkemalla Kieron erotinasemalta Liesjärven ja Kursmäentien erottimet.
- Kytetään sähkö Haapamäen sähköaseman eteläpuolelle (Yltiä) Virtain Kotala-lähdön kautta avaamalla Ahtaansalmesta Yltiän erotin ja sulkemalla yhteyserotin Kotala-Yltiä.
- Syötetään Inha Pihlajavesi-lähdön sähköä Simsiölle ja Haapamäen sähköaseman pohjoispuolelle (Mäkikylä) sulkemalla Kursmäentieltä Pyörkkilän tienhaaran erotin ja Ahtaansalmesta Siston erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää Kotala-Yltiä yhteyserottimen paikalliskäyttöä, muut kytkennät voidaan suorittaa valvomosta.

LIITE 3

Heinäahon sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

Kiskostovaurio Heinäahon sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Ritarin ja Virtain sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut sähköasema verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä kondensaattorin ja kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Kytetään Äijännevan lähdön kuorma Ritarin sähköaseman Sulkavälähdön perään sulkemalla Soukkalan erotinasemalta Peräkylän suunta.
- Kytetään suurin osa Ritarin lähdön kuormasta Ritarin sähköaseman Heinämäki-lähdön perään avaamalla Suvelan erotin ja sulkemalla Tulijoen erotinasemalta Sapsalammen suunta.
- Kytetään Aution lähdön kuorma Virtain sähköaseman Tapiola-lähdön perään sulkemalla Raiskintieltä Lastenkodin erotin.
- Suljetaan Virtain sähköasemalta Heinäahon lähtö.
- Suljetaan Heinämäen sähköasemalta yhteyserotin Ritari-Virrat.
- Kytetään sähkö Kihniölle sulkemalla Makkaraojan yhteyserotin Kihniö-Ritari.
- Kytetään sähkö Kurjenkylään sulkemalla Vaskuun erotinasemalta Mesimäen suunta.
- Kevennetään Virtain Heinäahon-lähdön kuormaa avaamalla Kytölahden erotinasemalta Vaskuun suunta ja sulkemalla Limingan erotinasemalta Vaskuun erotinaseman suunta.
- Kevennetään Virtain sähköaseman päämuuntajan kuormaa siirtämällä Kotala-lähdön kuorma Killinkosken Kotala-lähdölle.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä Suvelan erottimella sekä Heinämäen Ritari-Virrat ja Makkaraojan Kihniö-Ritari yhteyserottimilla.

LIITE 4

Heinäahon sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

Päämuuntajan korvauskytkentä Heinäahon sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Ritarin ja Virtain sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut päämuuntaja verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä syötön erotin.

- Avataan Heinäahon sähköasemalta lähdöt Autio, Ritari ja Äijänneva.
- Kytetään Äijännevan lähdön kuorma Ritarin Sulkava-lähdön perään sulkemalla Soukkalan erotinasemalta Peräkylän suunta.
- Kytetään Ritarin lähdön kuorma Ritarin Heinäaho-lähdön perään sulkemalla Tulijoen erotinasemalta Sapsalammen suunta.
- Kytetään Aution lähdön kuorma Virtain sähköaseman Tapiola-lähdön perään sulkemalla Raiskintieltä Lastenkodin erotin.
- Kytetään sähkö Heinäahon sähköaseman kiskostoon sulkemalla Virtain sähköasemalta Heinäahon lähtö.
- Kevennetään Heinäahon lähdön kuormaa siirtämällä Heinäahon ja Vaskiveden välinen jakoraja Kytölahden erotinasemaan avaamalla Kytölahdesta Limingan erotin ja sulkemalla Limingasta Vaskuun erotin.
- Kevennetään Virtain sähköaseman päämuuntajan kuormaa siirtämällä Kotalan lähtö Killinkosken sähköaseman perään.

LIITE 5

Inhan sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

Kiskostovaurio Inhan sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Haapamäen, Killinkosken, Toopakan ja Ähtärin sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut sähköasema verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Kytetään sähkö Tuomarniemi-johtoon sulkemalla Ähtärin sähköasemalta Inha-lähdön katkaisija.
- Siirretään jakoraja Mäkikylä-Myllymäki Kieron erotinasemalta Liesjärven erotinasemalle avaamalla Liesjärveltä Kieron erotin ja sulkemalla Kierosta Liesjärven erotin.
- Kytetään Fiskarsin ja Myllymäen lähtöjen kuormat Ähtärin Inha-lähdön perään sulkemalla Inhan sähköasemalta yhteyserottimet Fiskars-Tuomarniemi, Tuomarniemi-Fiskars ja Myllymäki-Fiskars.
- Kytetään Toopakan sähkö Vääräkosken pukin kautta Huutoniemen, Inhan ja Pöyhösenlammen suunnille avaamalla Huutoniemen erotinasemalta Vääräkosken suunta ja sulkemalla Vääräkoskelta Keisalan sekä Huutoniemen erottimet.
- Kytetään Killikoskelta sähkö Ähtärin sähköasemalle asti sulkemalla Vasikkaniemen erotin.
- Syötetään Killinkoskelta sähköä Pyörkkilän tienhaaraan asti avaamalla Pyörkkilän tienhaarasta Heinämäen suunta ja sulkemalla Heinämäestä yhteyserotin Killi-Pihlajavesi.
- Syötetään sähkö Haapamäeltä Pyörkkilän tienhaaran kautta Soppelaan asti sulkemalla Kursmäentieltä Pyörkkilän suunta.
- Kytetään Inhan Ähtäri-lähdön kuorma Ähtärin sähköaseman perään sulkemalla Hietakankaan kopista Salmenaho suunta.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä Vasikkaniemen erottimella ja Inhan sähköaseman yhteyserottimilla, muut kytkennät voidaan suorittaa kauko-ohjauksella valvomosta.

LIITE 6

Inhan sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

Päämuuntajan korvauskytkentä Inhan sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Haapamäen, Killinkosken, Toopakan ja Ähtärin sähköasemille.

Päämuuntajan korvauskytkentä tehdään samalla kaavalla kuin kiskostovaurion korvauskytkentä, mutta yhteyserottimien sijasta käytetään sähköaseman kiskostoa.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut päämuuntaja verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä syötön erotin.

- Avataan Inhan sähköasemalta lähdöt Killi, Pihlajavesi, Töysä ja Ähtäri.
- Siirretään jakoraja Mäkikylä-Myllymäki Kieron erotinasemalta Liesjärven erotinasemalle avaamalla Liesjärveltä Kieron erotin ja sulkemalla Kierosta Liesjärven erotin.
- Kytetään sähkö Inhan sähköaseman kiskostoon sulkemalla Ähtärin sähköasemalta Inhan lähtö.
- Kytetään Ähtäri-lähdön kuormat Ähtärin sähköaseman perään sulkemalla Hietakankaan kopista Salmenahon erotin.
- Kytetään Toopakan sähkö Vääräkosken pukin kautta Huutoniemen, Inhan ja Pöyhösenlammen suunnille avaamalla Huutoniemen erotinasemalta Vääräkosken suunta ja sulkemalla Vääräkoskelta Keisalan sekä Huutoniemen erotimet.
- Kytetään Killistä sähkö Ähtärin sähköasemalle asti sulkemalla Vasikkaniemen erotin.
- Syötetään Killin sähköä Pyörkkilän tienhaaraan asti avaamalla Pyörkkilän tienhaarasta Heinämäen suunta ja sulkemalla Heinämäestä yhteyserotin Killi-Pihlajavesi.
- Syötetään sähkö Haapamäeltä Pyörkkilän tienhaaran kautta Soppelaan asti sulkemalla Kursmäentieltä Pyörkkilän suunta.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä Vasikkaniemen erottimella, muut kytkennät voidaan suorittaa kauko-ohjauksella valvomosta.

LIITE 7

Killinkosken sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

Kiskostovaurio Killinkosken sähköasemalla vaatii sen kuormien siirtämistä Inhan, Ritarin ja Virtain sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut sähköasema verkosta. Avataan 45 kV katkaisija ja erotin sekä kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Kytetään Alavus-lähdön kuorma Ritarin sähköaseman Killinkoski-lähdön perään avaamalla Pollarin erotinasemalta Toopakan suunta ja sulkemalla Ritarin sekä Killinkosken suunnat.
- Kytetään Virrat-lähdön kuorma Virtain Killinkoski-lähdön perään sulkemalla Lähdenkylän erotinasemalta Soininkosken erotin.
- Kytetään Inka-lähtö Virtain Kotala-lähdön perään sulkemalla Välpän yhteyserotin Inka-Kotala.
- Kytetään Ähtäri-lähdön kuorma Inhan Töysä-lähdön perään sulkemalla Vääräkoskelta Huutoniemen erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää Välpän Inka-Kotala yhteyserottimen paikalliskäyttöä, muut kytkennät voidaan suorittaa valvomosta.

LIITE 8

Killinkosken sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

Päämuuntajan korvauskytkentä Killinkosken sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan, Ritarin ja Virtain sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut päämuuntaja verkosta. Avataan 45 kV katkaisija ja erotin sekä syötön erotin.

- Avataan Killinkosken sähköasemalta Alavus-lähdön erotin.
- Kytetään Alavus-lähdön kuorma Ritarin sähköaseman perään avaamalla Pollarin erotinasemalta Toopakan suunta ja sulkemalla Ritarin sekä Killinkosken suunnat.
- Kytetään suurin osa Ähtäri-lähdön kuormasta Inhan Töysä-lähdön perään avaamalla Perälästä Vääräkosken erotin (käsini) ja sulkemalla Vääräkoskelta Huutoniemen erotin.
- Kytetään sähkö Killinkosken sähköasema kiskostoon Virtain Killinkoski-lähdön kautta sulkemalla Lähdenkylän erotinasemalta Soininkosken erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää Perälän Vääräkosken erottimen paikalliskäyttöä, muut kytkennät voidaan suorittaa valvomosta.

Jakorajan siirtäminen sähköasemalta Perälän erottimeen pienensi Inha Töysä-lähdön jännitteenaleneman 2,72 %:sta 2,0 %:iin.

LIITE 9

Kotalan jakoaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

Kiskostovaurio Kotalan jakoasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Haapamäen ja Killinkosken sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut jakoasema verkosta. Avataan syötön katkaisija ja erotin sekä kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Kytetään sähkö Killinkoski-lähdölle sulkemalla Killinkosken sähköasemalta Kotalan lähtö.
- Kytetään sähkö Itämeren, Korhosen ja Piilin lähdöille sulkemalla Kotalan jakoasemalta yhteyserottimet Killi-Itämeri, Killi-Korhonen ja Killi-Piili kiinni.
- Kytetään sähkö Pihlajavesi-lähdölle sulkemalla Ahtaansalmen pukista Kotalan erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää Kotalan jakoaseman yhteyserottimien paikalliskäyttöä.

LIITE 10

Ritarin sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

Kiskostovaurio Ritarin sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Heinäahon ja Toopakan sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut sähköasema verkosta. Avataan 45 kV katkaisija ja erotin sekä kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Kytetään Heinäaho-lähdön kuorma Heinäahon Ritari-lähdön perään sulkemalla Tulijoen erotinasemalta Sapsalammen erotin.
- Kytetään osa Sulkava-lähdön kuormasta Heinäahon Ritari-lähdön perään avaamalla Soukkalan erotinasemalta Vähä-Tepon suunta ja sulkemalla Ritarin sähköaseman pukista yhteyserotin Heinäaho-Sulkava.
- Kytetään Killinkoski-lähdön kuorma Toopakan Pollari-lähdön perään sulkemalla Pollarin erotinasemalta Ritarin suunta.
- Siirretään Sulkavan ja Kontiaisen (varasyötön aikana Äijännevan ja Pollarin) välinen jakoraja Vehkajoen pukkiin avaamalla Vehkajoen pukista Kontiaisen suunta.
- Syötetään Toopakan sähköä Vehkajoen pukkiin asti sulkemalla Ritarin sähköaseman pukista yhteyserotin Killinkoski-Kontiainen.
- Kytetään loput Sulkavan ja Kontiaisen kuormista Heinäahon Äijännevalähdön perään sulkemalla Soukkalan erotinasemalta Peräkylän erotin ja Haapannevan erotinasemalta Kontiaisen erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä Vehkajoen erottimella sekä Ritarin sähköaseman yhteyserottimella, muut kytkennät voidaan suorittaa valvomosta.

LIITE 11

Ritarin sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

Päämuuntajan korvauskytkentä Ritarin sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Heinäahon ja Toopakan sähköasemille.

Päämuuntajan korvauskytkentä suoritetaan samalla kaavalla kuin kiskostovaurion korvauskytkentä, mutta Heinäahon lähdön kuorma ja osan Sulkavan lähdön kuormasta syötetään sähköaseman kiskoston kautta.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut päämuuntaja verkosta. Avataan 45 kV katkaisija ja erotin sekä syötön erotin.

- Avataan Ritarin sähköasemalta Killinkosken ja Kontiaisen lähtöjen erottimet.
- Kytetään Heinäahon lähdön kuorma ja osa Sulkavan lähdön kuormasta Heinäahon Ritari-lähdön perään sähköaseman kiskoston kautta avaamalla Soukkalan erotinasemalta Vähä-Tepon erotin ja sulkemalla Tulijoen erotinasemalta Sapsalammen erotin.
- Kytetään Killinkosken lähdön kuorma Toopakan Pollari-lähdön perään sulkemalla Pollarin erotinasemalta Ritarin suunta.
- Siirretään Sulkavan ja Kontiaisen (varasyötön aikana Äijännevan ja Pollarin) välinen jakoraja Haapanevan erotinasemalta Vehkajoen pukkiin sulkemalla Haapanevan erotinasemalta Kontiaisen erotin ja avaamalla Vehkajoen pukista Kontiaisen erotin.
- Syötetään Toopakan sähköä Vehkajoen pukkiin asti sulkemalla Ritarin sähköaseman pukista yhteyserotin Killinkoski-Kontiainen.
- Kytetään loput Sulkavan ja Kontiaisen kuormista Heinäahon Äijännevalähdön perään sulkemalla Soukkalan erotinasemalta Peräkylän erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä Vehkajoen erottimella ja Ritarin sähköaseman yhteyserottimella, muut kytkennät voidaan suorittaa valvomosta.

LIITE 12

Toopakan sähköaseman kiskostovaurion korvauskenttä

Kiskostovaurio Toopakan sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan, Killinkosken, Ritarin ja Ähtärin sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut sähköasema verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä kondensaattorin ja kaikkien johtolähtöjen erottimet

- Kytetään osa Toopakan Inha-lähdön kuormasta Killinkosken sähköaseman perään avaamalla Keisalan erotinasemalta Huutoniemen erotin ja sulkemalla Huutoniemen erotinasemalta Keisalan erotin.
- Kytetään loput Inha-lähdön kuormasta Inhan sähköaseman Töysä-lähdön perään sulkemalla Vääräkoskelta Keisalan erotin.
- Kytetään Virtalan suuntaan Inhan sähköaseman Töysä-lähdön perään avaamalla Kitulan erotinasemalta Syrjälän erotin ja sulkemalla Toopakan sähköasemalta yhteyserottimet Inha - Kitula sekä Kitula - Virtala.
- Kytetään Töysän keskusta Ähtärin sähköaseman Töysä-lähdön perään sulkemalla Kylkiäisestä Ulan erotin ja Toopakan sähköaseman pukista yhteyserotin Ähtäri - Töysä kk.
- Kytetään Kitulan suunta Ähtärin Kitula-lähdön perään sulkemalla Kitulan erotinasemalta Hepojoen erotin.
- Suljetaan Pollarin erotinasemalta Ritarin erotin ja annetaan sähköä Toopakaan ja Läntisrantaan asti.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää Toopakan sähköaseman yhteyserottimien paikalliskäyttöä, muut kytkennät voidaan suorittaa valvomosta.

LIITE 13

Toopakan sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

Päämuuntajan korvauskytkentä Toopakan sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan, Ritarin ja Ähtärin sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut päämuuntaja verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä syötön erotin.

- Avataan Toopakan sähköasemalta lähdöt Pollari ja Inha.
- Kytetään Kitulan lähdön häntä Ähtärin Kitula-lähdön perään avaamalla Kitulan erotinasemalta Syrjälän erotin ja sulkemalla Hepojoen erotin.
- Kytetään Ähtärin sähköasemalta sähkö Töysä kk:n, Virtalan ja Ähtärin lähdöille sekä Kitulan lähdön alkupäälle sähköaseman kiskoston kautta sulkemalla Kylkiäisestä Ulan erotin.
- Kytetään Pollarin lähtö Ritarin sähköaseman Killinkoski-lähdön perään sulkemalla Pollarin erotinasemalta Ritarin erotin.
- Kytetään Inhan lähtö Inhan sähköaseman Töysä-lähdölle sulkemalla Vääräkoskelta Keisalan erotin.

LIITE 14

Virtain sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

Kiskostovaurio Virtain sähköasemalla vaatii sen kuormien siirtämisen Haapamäen, Heinäahon, Killinkosken ja Ritarin sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut sähköasema verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Kytetään Killin lähdön kuorma Killinkosken Virrat-lähdön perään sulkemalla Lahdenkylän erotinasemalta Soininkosken erotin.
- Syötetään sähkö Kotalan jakoasemalle Killinkosken sähköasemalta sulkemalla Kotalan katkaisija.
- Kevennetään Killinkosken päämuuntajan kuormaa siirtämällä Kotalan Pihlajavesi-lähtö Haapamäen Yltiän lähdön perään avaamalla Kotalasta Pihlajaveden lähtö ja sulkemalla Ahtaansalmesta Kotalan erotin.
- Syötetään Killinkosken sähköä Kotalan kautta Jäähdysohjjan pukkiin asti avaamalla Jäähdysohjasta Hauhun erotin ja sulkemalla Simosen erotinasemalta Siikalan suunta.
- Syötetään Killinkosken sähköä Kotalan kautta Sorvanjärvelle sulkemalla Puttosen yhteyserotin Vas-kot ja avaamalla Rajaniemestä Sipilän erotin sekä sulkemalla Jäähdysohjjan erotin.
- Kytetään Virtain taajama, Ahjola ja Jäähdysohjjan haara aina Limingan erotinasemaan asti Heinäahon Autio-lähdön perään sulkemalla Asemapuistosta Jalmarin suunta, Raiskintieltä Lastenkoti, Ahjolanpuistosta Raiski ja Ketveneeltä Leka.
- Kevennetään Aution lähdön kuormaa avaamalla Limingan erotinasemalta Miljoonatien ja Hintalan suunnat sekä sulkemalla Poikasaaren yhteyserotin Miljoonatie-Hintala.
- Syötetään sähkö Limingan erotinaseman pukkiin sulkemalla Limingan erotinasemalta Vaskuun erotinaseman suunta.
- Kytetään sähkö Vaskisaloon sulkemalla Jäähdysohjasta Kylmälahden erotin.
- Kevennetään Killinkosken päämuuntajan kuormaa siirtämällä osa Ähtäri-lähdöstä Inhan sähköaseman perään avaamalla Huutoniemen erotinasemalta Vääräkosken suunta ja sulkemalla Vääräkoskelta Huutoniemen suunta.
- Kevennetään Heinäahon päämuuntajan kuormaa siirtämällä Ritarin lähtö Ritarin sähköaseman perään avaamalla Heinäahon sähköasemalta Ritarin lähtö ja sulkemalla Tulijoen erotinasemalta Sapsalammen erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää Puttosen ja Poikasaaren yhteyserottimien sekä Asemapuiston, Ahjolanpuiston, Ketveneen ja Rajaniemen erottimien paikalliskäyttöä, muut kytkennät voidaan suorittaa valvomosta.

LIITE 15

Virtain sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

Päämuuntajan korvauskytkentä Virtain sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Heinäahon ja Killinkosken sähköasemille sekä Heinäahon päämuuntajan keventämistä Ritarista.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut päämuuntaja verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Avataan Kotalan jakoasemalta Virtain lähdön erotin. Kytetään sähkö jakoaseman kiskostoon sulkemalla Kotalan lähdön erotin Killinkosken sähköasemalta.
- Kytetään sähkö Killin lähdölle sulkemalla Lahdenkylän erotinasemalta Virtain erotin.
- Kytetään sähkö Heinäahon sähköasemalta Virtain sähköaseman kiskostoon sulkemalla Virtain sähköasemalta Heinäahon lähdön erotin.
- Kytetään sähkö Ahjolan, Jäähdyksen, Kotalan, Tapiolan ja Vaskiveden lähdöille sähköaseman kiskoston kautta.
- Kytetään sähkö Purulan lähdölle sulkemalla Asemapuiston pukista Jalmarin erotin.
- Kevennetään Heinäahon päämuuntajan kuormaa siirtämällä osa Ritarin lähdön kuormasta Ritarin sähköasemalle avaamalla Tulijoen erotinasemalta Makkaraojan erotin ja sulkemalla Sapsalammen erotin.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää Asemapuiston Jalmarin erottimen paikalliskäyttöä.

LIITE 16

Ähtärin sähköaseman kiskostovaurion korvauskytkentä

Kiskostovaurio Ähtärin sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Haapamäen, Inhan ja Toopakan sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut sähköasema verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä kaikkien johtolähtöjen erottimet.

- Kytetään Ähtäri-pohjoisen kuormat Inhan sähköaseman Tuomarniemi-lähdön perään sulkemalla Ähtärin sähköaseman pukista yhteyserotin Ähtäri pohjoinen – Inha.
- Kytetään myös Keskustan ja Tankin kuormat Inhan Tuomarniemi-lähdön perään sulkemalla Lämpökeskukselta Kansalaiskoulun erotin ja Oikotieltä Kainolan erotin.
- Kytetään Ähtäri-etelä kuormat Inhan sähköaseman Ähtäri-lähdön perään sulkemalla Hietakankaasta Salmenahon erotin.
- Kytetään Ähtäri Myllymäki-lähdön kuorma Inha Myllymäki-lähdölle sulkemalla Kuusiston erotin.
- Kevennetään Myllymäki-lähtöä siirtämällä Myllymäen ja Mäkikylän välinen jakoraja Liesjärven erotinasemalle.
- Avataan Ohraniemen runkoerotin ja kytetään Kitulasta sähkö Ohraniemeen asti sulkemalla Kitulan erotinasemalta Hepojoen erotin.
- Kytetään loput Kitula-lähdön kuormasta Toopakan Ähtäri-lähdön perään sulkemalla Kylkiäisestä Ulan suunta ja Ulasta yhteyserotin Töy-Poh.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä Ulan ja Ähtärin sähköaseman yhteyserottimilla, Lämpökeskuksen kopilla sekä Kuusiston erottimella.

LIITE 17

Ähtärin sähköaseman päämuuntajan korvauskytkentä

Päämuuntajan korvauskytkentä Ähtärin sähköasemalla edellyttää sen kuormien siirtämistä Inhan ja Toopakan sähköasemille.

Ensimmäinen toimenpide on erottaa vaurioitunut päämuuntaja verkosta. Avataan 110 kV katkaisija ja erotin sekä syötön erotin.

- Avataan Ähtärin sähköasemalta lähdöt Ähtäri-Etelä, Töysä ja Kitula.
- Syötetään sähkö Ähtärin sähköaseman kiskoon sulkemalla Inhan lähtö.
- Kytetään Ähtäri-Etelä kuorma Inhan Ähtäri-lähön perään sulkemalla Hietakankaan kopista Salmenahon erotin.
- Avataan Ohraniemen runkoerotin ja kytetään Kitulasta sähkö Ohraniemeen asti sulkemalla Kitulan erotinasemalta Hepojoen erotin.
- Kytetään loput Kitula-lähdön kuormasta Toopakan Ähtäri-lähdön perään sulkemalla Kylkiäisestä Ulan suunta ja Ulasta yhteyserotin Töy-Poh.

Varasyöttöön siirtyminen edellyttää paikalliskäyttöisiä kytkentätoimenpiteitä Ulan yhteyserottimella.