



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Antti Palovaara

# Alitaajuussuojauksen toteutussuunnitelma

## Kajave Oy:n jakeluverkossa

Fingrid tehopulaohjeen soveltaminen

Tekniikka  
2020

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Antti Palovaara
Opinnäytetyön nimi	Alitaajuussuojauksen toteutussuunnitelma Kajave Oy:n jakeluverkossa
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	42+ 2 liitettä
Ohjaaja	Mikko Västi

---

Sähköverkon tehopulassa sähköverkon kulutus ylittää tuotannon ja sen seurauksena syntyy tehopula. Tehopula voi pahimmillaan johtaa sähköverkon taajuuden laskemiseen, mikä voi romahduttaa koko sähköverkon. Sähköverkon romahtamista voidaan välttää häiriöreservin sekä alitaajuussuojauksen avulla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia toteutussuunnitelma alitaajuussuojauksesta Kajave Oy:lle. Toteutussuunnitelmassa sovelletaan Fingridin tehopula -ohjetta Kajave Oy:n sähköasemille. Suunnitelmassa annetaan ehdotukset ja suositukset toimenpiteistä, joiden avulla alitaajuussuojaus voidaan toteuttaa kaikille Kajave Oy:n sähköasemille.

Tutkimustyössä perehdyttiin Fingrid Oyj:n alitaajuussuojauksen sovellusohjeeseen, sekä Nordic Analysis Groupin (NAG) selvitykseen (Frequency Based Emergency Disconnection Policy Review for the Nordic Region). Työssä hyödynnetään Kajave Oy:n aikaisempaa tehopulaohjetta, joka on laadittu vuonna 2019.

Tutkimustyön tuloksena saatiin Kajave Oy:lle alitaajuussuojauksen toteutussuunnitelma, jonka pohjalta voidaan toteuttaa alitaajuussuojaus kaikille sähköasemille. Tutkimuksessa otetaan myös kantaa siihen, miten tekninen toteutus on suositeltua toteuttaa. Suojauksen toteuttamiseksi sähköasemille annetaan kaksi vaihtoehtoa, riippuen siitä millainen suojarelekanta sähköasemalla on.

---

Avainsanat	alitaajuus, tehopula, hätätila, kulutuksen irtikytkemisjärjestelmä, tuotantovajaus
------------	--

## ABSTRACT

Author	Antti Palovaara
Title	Implementation Plan for Underfrequency Protection for Kajave Oy Distribution Network
Year	2020
Language	Finnish
Pages	42 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Mikko Västi

---

In the event of a power shortage in a power grid, the power consumption exceeds the power production and as a result, a power shortage arises. In the worst scenario, a power shortage can lead to a decrease in the frequency of the power grid, which can collapse the entire power grid. The collapse of the power grid can be avoided by means of underfrequency protection. The purpose of this thesis is to prepare an implementation plan for underfrequency protection for Kajave Oy. In the implementation plan, Fingrid's power shortage guideline is applied to Kajave Oy's substations. The plan provides suggestions and recommendations on measures that can be used to implement underfrequency protection for all Kajave Oy substations.

The research work focused on Fingrid Oy's application guidelines for underfrequency protection, as well as the Nordic Analysis Group's (NAG) report (Frequency Based Emergency Disconnection Policy Review for the Nordic Region). The thesis utilizes Kajave Oy's previous power shortage guidelines, which were prepared in 2019.

As a result of the research work, an implementation plan for underfrequency protection was obtained for Kajave Oy, based on which the underfrequency protection can be implemented for all substations. The study also takes a position on how the technical implementation is recommended to be done. To implement the protection, substations are given two options, depending on the protection relay base on the substation.

---

Keywords	Low frequency, power shortage, emergency, consumption disconnection system and production shortage
----------	--

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO.....	9
1.1	Kajave Oy .....	10
1.2	Taajuuden stabiilisuus ja taajuusromahdus.....	10
1.3	Aikataulu.....	12
1.4	Kustannukset.....	12
1.5	Tutkimustyö .....	12
2	ALITAAJUUSILMIÖ .....	14
2.1	Taustatiedot.....	14
2.2	Tehoreservit .....	15
2.2.1	FFR.....	16
2.2.2	FCR-D ja FCR-N .....	16
2.2.3	aFRR .....	17
2.2.4	mFRR .....	17
3	ASETUKSET JA OHJEISTUKSET .....	19
3.1	Nykyinen ohjeistus.....	19
3.2	Uusi ohjeistus.....	20
3.2.1	Taajuusportaati .....	21
3.2.2	Toiminta-ajat.....	21
3.2.3	Suojauksen poiskytkentä.....	22
3.2.4	Alitaajuussuojauksen toteuttamatta jättäminen.....	22
3.3	Suojan toimimisen jälkeiset toimenpiteet .....	22
3.3.1	Irtoava kulutus.....	22
3.3.2	Palautus .....	23
3.4	Suojauksen kunnossapito .....	24
3.5	Raportointi .....	25
4	TOTEUTUSVAIHTOEHDOT ALITAAJUUSSUOJAUKSELLE .....	26

4.1	Toteutusvaihtoehdot.....	26
4.1.1	Keskijännitejohdot .....	26
4.1.2	Jakeluverkon asemat .....	27
4.1.3	Suurjännitejohdot .....	27
4.1.4	Kantaverkkoyhtiön tarjoamat ratkaisut .....	28
4.1.5	Suosittelut ratkaisut.....	28
4.2	Virhetoimintojen välttäminen .....	29
4.2.1	Ylitaajuuden välttäminen .....	29
4.2.2	Verkon stabiiliuden varmistaminen .....	30
5	ALITAAJUUSSUOJAUKSEN TOTEUTUS KAJAVEN VERKOSSA.....	32
5.1	Sähköasemien suojareleet .....	32
5.2	Irtikytkettävän kulutuksen valinta.....	32
5.3	Perustiedot.....	35
5.3.1	Toteutus mittauskentän releellä.....	36
5.3.2	Toteutus johtolähdön releellä.....	37
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	39
6.1	Yhteenveto .....	39
6.2	Jatkotutkimusaiheet.....	39
6.2.1	Suojauksen jatkokehittäminen .....	39
6.2.2	Jännitteensäädön mahdollisuudet.....	40
6.2.3	Saarekeajo .....	41
	LÄHTEET .....	42
	LIITTEET	

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Alitaajuustilanteen tapahtumaketju.....	11
<b>Kuva 2.</b> Iso-Britannian häiriö 9.8.2019 /5, s. 31/ .....	15
<b>Kuva 3.</b> Tehoreservit /5/ .....	16
<b>Kuva 4.</b> Fingridin reservien velvoitteet ja hankintalähteet vuodelle 2020. /13/...	18
<b>Kuva 5.</b> Verkon palautuksen vuokaavio.....	23
<b>Kuva 6.</b> Alitaajuussuojauksen toteutus keskijännitejohdolla /1, s. 6/ .....	26
<b>Kuva 7.</b> Alitaajuussuojauksen toteutus jakeluverkon asemilla /1, s. 6/ .....	27
<b>Kuva 8.</b> Alitaajuussuojauksen toteutus suurjännitejohdolla /1, s. 7/ .....	28
<b>Kuva 9.</b> Rengasverkko .....	30
<b>Kuva 10.</b> Säteittäinen verkko .....	31
<b>Kuva 11.</b> Suojauksen mallikuva sovellusohjeesta. /1, liite/ .....	35
<b>Kuva 12.</b> Laukaisut mittauskentän jännitereleellä.....	37
<b>Kuva 13.</b> Laukaisut johtolähtöjen releillä .....	38
<b>Taulukko 1.</b> Alitaajuussuojauksen aikataulu .....	12
<b>Taulukko 2.</b> Nykyiset alitaajuussuojauksen asetelut /5, s. 33/ .....	19
<b>Taulukko 3.</b> Alitaajuussuojan irtikytkennän asetelut /1, s. 3/.....	20
<b>Taulukko 4.</b> Alitaajuussuojan asetelut.....	21
<b>Taulukko 5.</b> Kajaven taulukko irtikytkettävästä kulutuksesta .....	33
<b>Taulukko 6.</b> Laukaistavat kohteet.....	33
<b>Taulukko 7.</b> Laukaistavien johtolähtöjen lukumäärä.....	34
<b>Taulukko 8.</b> Ei laukaistavat kohteet.....	34

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Alitaajuudesta tapahtuvan kulutuksen irtikytkenän toteutus Suomessa -  
Sovellusohje, Fingrid 5.8.2019

**LIITE 2.** Mallikuva alitaajuussuojauksen sovellusohje, 5.8.2019

## LYHENNELUETTELO

f	taajuus
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event, IEC61850 -väylän protokolla
FG	Fingrid, Suomen kantaverkkoyhtiö
Hz	hertsi
I <sub>0</sub>	nollavirtasymboli
kV	kilovoltti
MW	megawatti
U <sub>0</sub>	nollajännite
U <sub>n</sub>	nimellisjännite
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, sähköverkon valvonta- ja ohjausjärjestelmä



## 1 JOHDANTO

Euroopan komissio on antanut sähköjärjestelmän hätätilaa ja käytönpalautusta koskevan asetuksen (Network code on Electricity Emergency and Restoration, COMMISSION REGULATION (EU) 2017/2196), jonka mukaan myös Fingrid Oyj:n ja jakeluverkkoyhtiöiden on luotava yhdessä toimiva alitaajuussuojajärjestelmä tehonvajaustilanteen varalta.

Automaattinen alitaajuussuojajärjestelmä suojaa sähkönjakeluverkkoa alitaajuudelta vakavassa häiriössä, jossa tuotanto, mukaan lukien tehoreservi, ei riitä kattamaan kulutusta. Tässä tilanteessa verkon taajuus laskee edelleen ja voi pahimmillaan lamauttaa koko Suomen tai jopa pohjoismaisen sähkönjakelun järjestelmän. Verkon alitaajuustilanteessa, toimenpiteinä ovat sähköntuotannon kasvattaminen maksimiin, sekä kulutuksen irtikytkeminen alitaajuussuojien avulla. Kulutuksen irtikytkenässä alitaajuussuojauksessa kulutusta pitää pudottaa laskennallisesti noin 30 % viidessä portaassa, jossa sallitaan  $\pm 10$  % poikkeama. Alitaajuussuojauksen virhetoimintaa vian tai poikkeustilanteen aikana pitää myös välttää. Nämä toiminnot pyritään estämään erilaisilla laukaisuiden lukituksilla.

Opinnäytetyössä perehdytään Fingridin alitaajuussuojauksen sovellusohjeeseen, Network code on Electricity Emergency and Restoration, COMMISSION REGULATION (EU) 2017/2196 -asetukseen ja Nordic Analysis Groupin, Frequency Based Emergency Disconnection Policy Review for the Nordic Region -selvitykseen, jonka pohjalta laaditaan Kajave Oy:lle selvitys ja suositukset suojauksen toteutuksesta sekä toteutukseen liittyvistä toimenpiteistä.

Loppuvaiheessa tarkastellaan suojauksen toimimisen jälkeisiä toimenpiteitä, jolloin taajuus sähköverkossa palaa normaaliksi. Jälkitoimina ovat mm. verkon tilanteen tarkastaminen ja verkon palauttaminen normaaliin käyttötilaan. Myös suojauksen tason seuranta ja ylläpitäminen sekä raportointi ja koestus kuuluvat tämän työt tutkimukseen.

## 1.1 Kajave Oy

Kajave Oy on osa suomalaista Loiste-konsernia, johon kuuluu Loiste Sähkönmyynti, Kajave sekä Loiste Lämpö. Kajave Oy:n sähkönjakeluverkko sijaitsee Kainuussa ja osittain Pohjois-Pohjanmaalla, sähköverkossa on käyttöpaikkoja noin 59 000. Kajavella on kaikkiaan sähköjohtoja yli 13 000 km, 30 sähköasemaa, joissa on yhteensä noin 200 kpl johtolähtöä, sekä yli 300 erotinasemaa. /10/

## 1.2 Taajuuden stabiilisuus ja taajuusromahdus

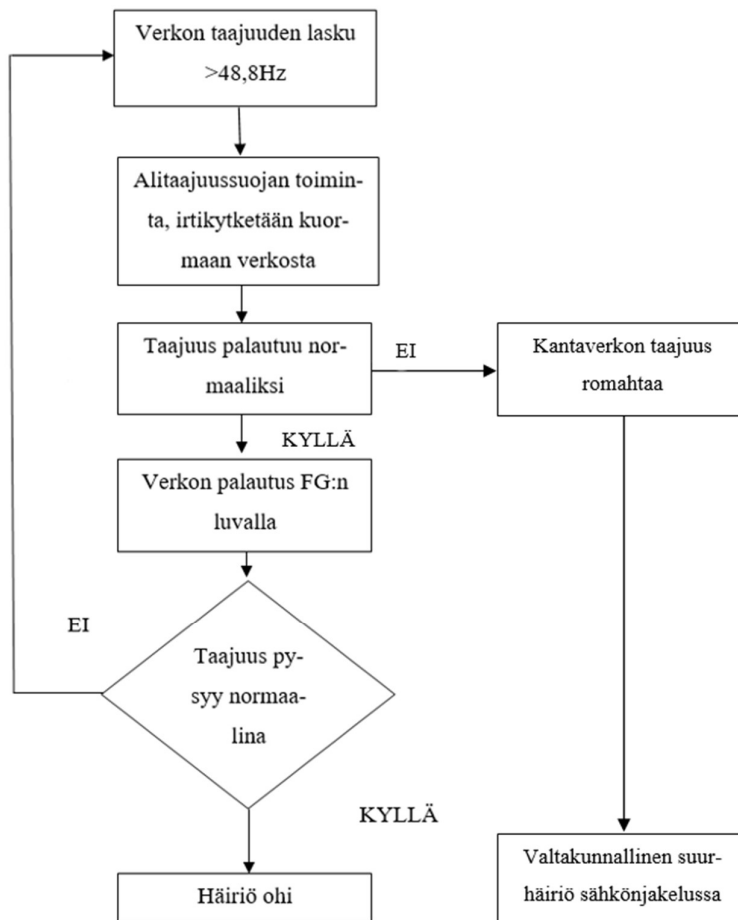
Taajuusstabiilisuus tarkoittaa sähköverkon kykyä ylläpitää vakaata taajuutta tilanteessa, jossa tuotannon ja kulutuksen tasapainoon tulee nopeita muutoksia tuotannon tai kulutuksen nopeiden muutoksien tai vikatapauksien takia. Sähköverkossa tietyt generaattorit toimivat nopeana tuotantoreservinä, jotka muuttavat tuotantoaan nopeasti taajuuden muuttuessa. Taajuuden muutoksen seurauksena generaattoreiden tehoa vähennetään tai lisätään ja jossain tilanteissa kuormaa joudutaan irrottamaan verkosta, jotta järjestelmän tehotasapaino saadaan takaisin ja taajuus korjattua normaalille tasolle. /8, s.254/

Taajuuden stabiilisuutta pyritään parantamaan myös tehoreservien avulla. Tehoreservien tarkoituksena on taata verkon taajuuden stabiilisuus verkon normaalissa käyttötilanteessa, sekä yksittäisissä sähköntuotannon häiriöissä. Tehoreservistä kerrotaan lisää kappaleessa 2.2.

Jos taajuuden nostaminen ei onnistu, verkko voi romahtaa. Taajuusromahduksessa verkon taajuus on laskenut jonkin häiriön takia, eikä taajuuden laskua onnistuta estämään tuotannon nostamisella tai muilla nopeilla taajuutta korjaavilla toimenpiteillä. Tämän jälkeen verkko voi romahtaa. Sähköverkon taajuus laskee nopeammin, jos verkossa on vähän liike-energiaa, inertiaa, eli generaattoreiden ja moottorien pyöriviä massoja. Jos taas verkossa on paljon liike-energiaa, eli paljon suuria generaattoreita, taajuuden lasku on hitaampaa, toisin sanoen verkko on jäykkä. Tämän takia suuret verkot ovat luotettavampia ja stabiilimpia kuin pienet verkot, koska suurissa verkoissa on paljon liike-energiaa ja yleensä myös enemmän

reservejä. Tästä syystä esimerkiksi Pohjoismaat (Ruotsi, Tanska, Suomi ja Norja) muodostavat yhteisen voimajärjestelmän. /8, s.254/

Kuvassa 1 on esitetty pääpiirteet tilanteesta, jossa sähköverkon taajuus laskee alitaajuussuojauksen toiminta-alueelle.



**Kuva 1.** Alitaajuustilanteen tapahtumaketju

- Ensimmäisessä vaiheessa vian tai muun häiriön seurauksena taajuus laskee automaattisen alitaajuussuojauksen alueelle, jolloin se aktivoituu.
- Taajuusportaita on yhteensä viisi, jotka aktivoituvat taajuuden laskun mukaan. Jokainen portas irrottaa kulutusta verkosta taulukon 3 mukaisesti. 1-5 portaan aikana taajuuden pitäisi palata normaaliksi. Jos näin tapahtuu,

voidaan verkko palauttaa normaalikäyttötilanteeseen Fingridin luvalla ja jos taajuus pysyy normaalina verkon palautuksen jälkeen, on häiriö ohi.

- Jos taajuus ei palaa viidennen portaan jälkeen normaaliksi, on kantaverkon romahtaminen todennäköistä. Tämä aiheuttaisi massiivisen valtakunnallisen sähkökatkoksen.

### 1.3 Aikataulu

Euroopan komission antaman asetuksen mukaan suojausjärjestelmän on oltava käytössä kokonaisuudessaan 18 joulukuuta 2022. Järjestelmälle on annettu taulukon 1 mukainen aikataulu. /6, s.31/

**Taulukko 1.** Alिताajuussuojauksen aikataulu

Yleissuunnitelma valmiina	30.9.2020
Yleissuunnitelma toimitettuna Fingridille Oma Fingrid palveluun.	31.10.2020
Järjestelmä toiminnassa kokonaisuudessaan.	18.12.2022

### 1.4 Kustannukset

Automaattisen alिताajuussuojauksen suunnittelun ja toteutuksen kustannuksista vastaa sen toteuttava taho, eli jokainen jakeluverkkohaltija ja kantaverkkoon liittyvä teollisuusverkon haltija vastaa kustannuksista omalta osaltaan. /1, s.5/

### 1.5 Tutkimustyö

Tutkimustyön tutkimusongelmana on alिताajuussuojauksen toteutussuunnitelma Kajave Oy:n jakeluverkkoon. Tutkimusongelma koostuu seuraavista osioista:

- Kappale 2, Alिताajuusilmiön synty ja sen vaikutus sähköverkkoon.
- Kappale 3, Asetukset ja ohjeistukset. Tarkastellaan vanhoja ohjeistuksia ja selvitetään uusien ohjeistuksien pääpiirteet.

- Kappale 4, Tekniset ratkaisut alitaajuussuojaukselle. Selvitetään, minkälaisia teknisiä vaihtoehtoja suojauksen toteuttamiseksi on ja minkälaisilla toimenpiteillä saadaan kattava sekä varma ratkaisu suojauksen toteuttamiseksi.
- Kappale 5, Alitaajuussuojauksen toteuttaminen Kajaven verkossa. Annetaan Kajavelle ehdotukset alitaajuussuojauksen toteuttamisesta suojareleiden sukupolven perusteella kahdella eri vaihtoehdolla, joiden avulla voidaan soveltaen toteuttaa suojaus kaikille Kajaven sähköasemille.
- Kappale 6, Johtopäätöksen ja pohdinta. Kappaleessa käydään läpi yhteenveto tutkimuksesta sekä annetaan jatkotutkimusaiheet, jotka olisivat tärkeitä alitaajuussuojauksen kehittämisen kannalta sekä muita mahdollisia toimenpiteitä tehopulan torjumiseksi.

## 2 ALITAAJUUSILMIÖ

### 2.1 Taustatiedot

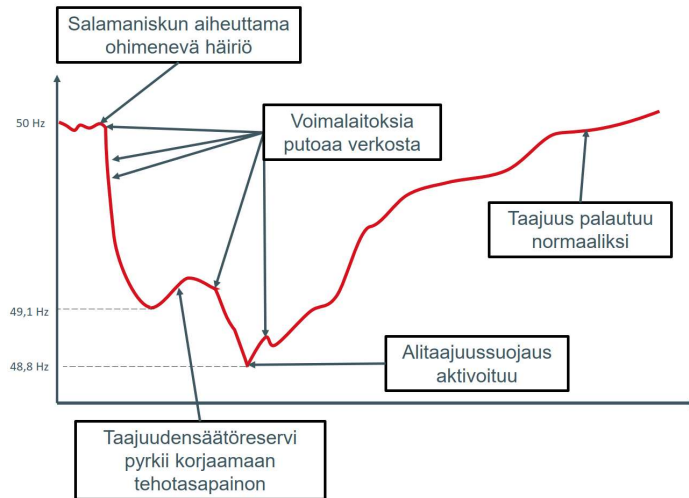
Automaattista kulutuksen irtikytkentäjärjestelmää tarvitaan vakavissa häiriötilanteissa. Alitaajuus syntyy, kun sähköverkon kulutus ylittää sähkön tuotannon, eli kun sähköverkon normaali tuotanto sekä ylläpidettävä häiriöreservi eivät riitä tuotantovajeen kattamiseen. Sähköverkon taajuus on sama kaikissa Pohjoismaissa (synkronialue) ja se on normaalissa käyttötilanteessa 49,9-50,1 Hz. Taajuus voi vaihdella poikkeustilanteessa 47,5-51,5 Hz /4, s. 8/.

Alitaajuus vaikuttaa voimalaitosten toimintaan, varsinkin tahtikoneiden toimintaan. Kun taajuus laskee  $>47,5$  Hz, turbogeneraattorit on pakko irrottaa verkosta, koska niiden turbiinien siivekkeet vaurioituvat, jos pienellä taajuudella ajetaan tehoa verkkoon. Voimalaitoksien irtikytketyminen laskee taajuutta edelleen ja lopulta koko sähköjakeluverkko voi romahtaa. Tämä tarkoittaisi sähköjakelun keskeytymistä suurilta alueilta ja pahimmillaan sähkökatko voi koskettaa jopa koko Pohjoismaita koska Pohjoismaat muodostavat yhteisen sähköjakeluverkon. /7, s.256/

Myös kantaverkon vakavat häiriötilanteet, kuten siirtoverkon tai tuotantolaitoksen oikosulut ja maasulut voivat aiheuttaa tilanteen, joka johtaa alitaajuuteen. Esimerkiksi häiriötilanteessa suuria sähköntuotantolaitoksia voi irrota verkosta, mikä saattaa aiheuttaa taajuuden heilahteluja. Tämä voi aiheuttaa ketjureaktion, jossa sähköntuotantolaitoksia alkaa irtoamaan verkosta ja aiheuttaa sähköntuotannon vajausta, mikä johtaa taajuuden laskemiseen voimakkaasti. /8, s.254/

Kuvassa 2 on esitetty Iso-Britannian taajuushäiriö 9.8.2019, jossa 1,1 miljoonaa ihmistä menetti sähköt 15-50 minuutin ajaksi. Alitaajuussuojaus laukaisi 5 % kulutuksesta, jolla säästettiin maanlaajuiselta suurhäiriöltä. 95 % kulutuksesta sai pitää sähköt, vaikka alitaajuussuojaus oli toteutettu karkeasti kantaverkon asemilla /5, s. 31/.

## Esimerkki: Vakava taajuushäiriö Iso-Britanniassa 9.8.2019



1.1 milj. ihmistä menetti sähköt 15-50 min ajaksi.

**Alitaajuussuojaus pelasti maanlaajuiselta suurhäiriöltä: 5 % kulutuksesta laukaistiin, jotta loput 95 % sai pitää sähköt.**

Alitaajuussuojaus oli toteutettu karkeasti kantaverkon asemilla, joten myös kriittistä kuormaa irrotettiin.

**FINGRID**






**Kuva 2.** Iso-Britannian häiriö 9.8.2019 /5, s. 31/

### 2.2 Tehoreservit

Pohjoismaissa olevalla tehoreservillä voidaan korjata taajuutta jonkin verran. Käytävissä oleva nopea tehoreservi on kuitenkin kohtalaisen pientä, eikä riitä välttämättä kattamaan suurta häiriötilannetta, jossa useita suuria voimalaitoksia irtoaa verkosta. Nopea tehoreservi on tarkoitettu käytännössä nopeisiin taajuuden muutoksiin, jotka johtuvat äkillisistä yksittäisistä tuotannon vioista tai muusta verkon kuorman nopeasta muutoksesta.

Kuvassa 3 on esitetty nykyiset tehoreservit.

## Reservimarkkinat Suomessa – sekä tuotanto että kulutus osallistuvat

	<b>FFR</b>	<b>FCD</b>	<b>FCRN</b>	<b>ARR</b>	<b>MERR</b>
	Nopea taajuus-reservi	Taajuusohjattu häiriöreservi, 220–265 MW Pohjoismaissa yht. 1 200 MW	Taajuusohjattu käyttöreservi, 138 MW Pohjoismaissa yht. 600 MW	Automaattinen taajuudenhallinta-reservi, 70 MW Pohjoismaissa yht. 300 MW	Yhteispohjoismaiset säätösähkömarkkinat
<b>Aktivointi</b>	Suurissa taajuus-poikkeamissa, käytössä pienen inertian tilanteissa	Suurissa taajuus-poikkeamissa	Käytössä jatkuvasti	Käytössä kohdistetuilla tunneilla	Tarvittaessa
<b>Nopeus</b>	Sekunnissa	Sekunneissa	Parissa minuutissa	Viidessä minuutissa	Vartissa
					

37

FINGRID

**Kuva 3.** Tehoreservit /5/

### 2.2.1 FFR

FFR:ä eli nopea taajuusreservi tarkoittaa sähköverkon pyöriviä massoja eli inertiaa. Inertiassa sähköverkon pyörivät massat, kuten vaihtosähkömoottorit ja generaattorit vastustavat taajuuden muutosta liike-energiallaan. FFR:n toiminta-aika on todella nopea, vain sekunnin luokkaa. Tehoreservi Pohjoismaissa on noin 300MW. /13/

### 2.2.2 FCR-D ja FCR-N

FCR-D eli taajuusohjattu häiriöreservi ja FCR-N eli taajuusohjattu käyttöreservi ovat taajuuden muutoksessa automaattisesti aktivoituvia pätötehoreservejä. FCR-D pyrkii pitämään taajuuden vähintään 49,5Hz:ssä taajuuden laskiessa nimellistaajuuden alapuolelle. FCR-N pyrkii pitämään taajuuden nimellisalueella eli 49,9-50,01 Hz:ssä.

FCR-D:n aktivoimisaika on muutama sekunti ja sen tehoreservi on Pohjoismaissa noin 1450 MW. FCR-N:n aktivoimisaika on pari minuuttia ja sen tehoreservi on Pohjoismaissa noin 600MW. /13/



### 2.2.3 aFRR

aFRR eli automaattisen taajuudenhallintareservin tarkoitus on palauttaa taajuus nimellisarvoonsa (50 Hz). aFRR aktivoituu pohjoismaisen sähköverkon taajuuden poikkeamassa. Automaattisen taajuudenhallintareservin aktivoimisaika on noin 5 min. /13/

aFRR:n pohjoismainen reservi on 300-400MW riippuen vuorokauden ajasta ja tästä Fingridin osuus on 60-80MW. /13/

### 2.2.4 mFRR

mFRR eli manuaalinen taajuuden palautusreservi ts. säätösähkömarkkinat eli Pohjoismaiden ylläpitämät säätöenergiamarkkinat. Säätömarkkinoilla varmistetaan, että käytössä on riittävästi sähköntuotannon kapasiteettia tuotannon kulutuksen ja tuotannon väliseen tasapainoon. mFRR:ssä on myös mukana Fingridin varavoimailaitoksia sekä käyttöoikeussopimuslaitoksia, joita käynnistetään tarvittaessa. mFRR:n aktivoimisaika on noin 15 min. /13/

Kuvassa 14 on esitettyä Fingridin tehoreservien velvoitteet ja hankintalähteet vuodelle 2020.

Reservi	Velvoite	Hankintakanavat	Sopimusten mukainen enimmäiskapasiteetti
Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	120 MW	Vuosihankinta	87 MW
		Tuntimarkkinat	140 MW
		Muut Pohjoismaat	-
		Viipurin DC-linkki	90 MW
		Viro	35 MW
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	n. 290 MW	Vuosimarkkinat	458 MW
		Tuntimarkkinat	635 MW
		Muut Pohjoismaat	-
Nopea taajuusreservi (FFR)	n. 0–60 MW	Tuntimarkkinat	-
		Viro	50 MW
Automaattinen taajuudenhallinta-reservi (aFRR)	60–80 MW (vain osalle vuorokauden tunneista)	Tuntimarkkinat	-
		Ruotsi	-
Säätösähkömarkkinat ja nopea häiriöreservi (mFRR)	880–1100 MW	Säätösähkömarkkinat ja säätökapasiteettimarkkinat	-
		Fingridin varavoimailaitokset	953 MW
		Käyttöoikeussopimuslaitokset	301 MW

**Kuva 4.** Fingridin reservien velvoitteet ja hankintalähteet vuodelle 2020. /13/

### 3 ASETUKSET JA OHJEISTUKSET

#### 3.1 Nykyinen ohjeistus

Ennen automaattisen alitaajuussuojauksen uutta ohjetta, Suomessa kantaverkon automaattinen alitaajuussuojaus kattaa todellisuudessaan alle 10 % kuormasta. Alitaajuussuojaus on ollut käytössä lähinnä kantaverkon sähköasemilla. Nykyiset alitaajuussuojauksen asetelut ovat taulukon 2 mukaiset. /5, s. 33/

**Taulukko 2.** Nykyiset alitaajuussuojauksen asetelut /5, s. 33/

Porras	f (Hz)		Viive (s)		%
	Nopea	Hidas	Nopea	Hidas	
1	48,5	48,7	0,15	20	5
2	48,3	48,5	0,15	20	5

Nykyisessä Kajaven tehopulaohjeessa on seuraavanlaiset toimintaohjeet tehopulan varalta, korvataan uudella ohjeella:

1. ”Rajoitetaan sähkölämmitys- ja sähkökiuaskuormaa sellaisissa sähkönkäyttöpaikoissa, joissa on voimassa oleva tehojen rajoitussopimus (säästötuotteet). Tehoja saadaan pois lyhytaikaisesti noin 10 MW (-23C) / 6MW(-5C). Tehon pudotus riippuu ulkolämpötilasta. Toimitaan verkkopalveluehtojen mukaisesti.
2. Käynnistetään Loiste Sähköverkko Oy:n sähköverkkotoiminnan käytössä olevat aggregaatit. Näillä saadaan sähköntuotantoa hiukan yli 1 MW. Oteetaan yhteyttä sellaisiin suuriin sähkönkäyttöpaikkoihin, joilla on kohtuullisen kokoiset varavoimakoneet. Kohteita on alle kymmenen. Sähköntuotantoa (kuormien vähenemistä) olisi saatavissa arvioiden mukaan 2 – 3 MW.
3. Rajoitetaan alueen katu- ja tievalaistusta. Rajoitettavaa tehoa on noin 2 MW. Sähkönkäyttöpaikkojen kanssa ei ole tehorajoituksesta sopimusta.
4. Rajoitetaan sähkölämmitys- ja kiuaskuormaa sähkönkäyttökohteissa, joihin on installoitu kuormienrajoitus, mutta sähkönkäyttöpaikoissa ei ole rajoituksista sopimusta. Varautuminen on tehty sähköverkon laaja-alaisten

vikatapausten varalle. Tähän mennessä tätä mahdollisuutta ei ole tarvinnut käyttää, joten tiedossa ei ole kokemukseräistä tietoa rajoituksen suuruudesta. Rajoituksen on arvioitu vähentävän lyhytaikaisesti kuormitusta enintään 7 MW (talvella).

5. Keskijännitejohtolähtöjen katkaisijoita aukaistaan vuorotellen tunniksi kerrallaan. Keskijännitejohdot valitaan mahdollisuuksien mukaan siten, että elintärkeällä kulutuksella (kuten sairaalat) olisivat sähköt käytössä koko ajan. Tällä portaalla saadaan tehoja pois niin paljon kuin on tarve. Tähän löytyy ohje hakemistosta (Kajaven tiedosto).”

### 3.2 Uusi ohjeistus

Fingrid on julkaissut 5.8.2019 sovellusohjeen ” Alitaajuudesta tapahtuvan kulutuksen irtikytkennän toteutus Suomessa”, joka noudattaa Network code on Electricity Emergency and Restoration, COMMISSION REGULATION (EU) 2017/2196) mukaisia asetuksia.

Alitaajuussuojauksen piiriin varustetaan 30 % kaikesta Suomen kulutuksesta, joka kytkee tarvittaessa automaattisesti kulutusta irti. Verkkoyhtiöittäin laukaisun piirissä oleva kulutus saa vaihdella 20-40 % välillä. /1/

Fingridille ilmoitetaan taulukon 3 mukaisesti kuormien pudotuksien tuntitehot 1.2 klo 8-9, 1.7 klo 8-9 sekä koko vuoden keskikulutuksen keskitehon. /1, s. 3/

**Taulukko 3.** Alitaajuussuojan irtikytkennän asetellut /1, s. 3/

Porras	Tavoite		%	FG:n asiakas täyttää		
	f (Hz)	Kokonaistoiminta aika (s)		kulutuksesta	1.2 klo 8-9	1.7 klo 8-9
1	48,8	0,15	5			
2	48,6	0,15	5			
3	48,4	0,15	5			
4	48,2	0,15	5			
5	48	0,15	10			

Fingridin julkaisema sovellusohje on työn liitteenä 1.

### 3.2.1 Taajuusportaat

Sovellusohjeessa uudet alitaajuussuojauksen asettelut ovat taulukon 4 mukaiset.

**Taulukko 4.** Alitaajuussuojan asettelut.

Porras	f (Hz)
1	48,8
2	48,6
3	48,4
4	48,2
5	48

Koska jokaiselle sähköasemalle ei ole Kajaven tapauksessa kannattavaa soveltaa kaikkia viittä taajuusportasta, hajautetaan nämä Kajaven sähköasemien kesken. Alitaajuussuojausta ei myöskään ole välttämätöntä toteuttaa kaikille sähköasemille, vain niille, joissa suojaus otetaan käyttöön. Jokaiselle alitaajuussuojatulle sähköasemalle tulee käyttöön 1-3 eri portasta, mutta kokonaisuutena tehon pudotus toteutuu taulukon 4 mukaisesti.

### 3.2.2 Toiminta-ajat

Alitaajuussuojauksen kokonaistoiminta-aika saa olla sovellusohjeen mukaisesti 150 ms taajuuden alittaessa taajuusportaan asettelun. Tämä aika käsittää releen toiminta-ajan, laukaisukoskettimien viiveen ja katkaisijan toimintaviiveen. Jos katkaisijan toiminta-ajan voidaan olettaa olevan noin 50 ms, tulee releen toiminta-ajan olla 100 ms. Alitaajuussuojauksen kokonaistoiminta-aika tulee varmentaa koestuksen yhteydessä. /11, s. 7/

Toiminta-aika aiheuttaa haasteita releiden taajuuden oikeellisuuden mittauksessa, jota kysyin myös haastattelussa. Haastattelussa relevalmistajan asiantuntija totesi, että suojan toiminta-ajan pitäisi olla pidempi, koska suojareleelle ei jää aikaa mitata

taajuutta oikein mahdollisten vian aiheuttamien taajuuspoikkeamien varalta. Haastattelussa kävi ilmi, että alitaajuussuojalla olisi hyvä olla enemmän aikaa mitata taajuutta, koska vian aiheuttamat epänormaalit taajuudet vaimenevat yleensä 50-100 ms jälkeen. /9/

Jos alitaajuussuojauksella on vaikeuksia päästä 150ms kokonaistoiminta-aikaan suojarileen ominaisuuksista johtuen, voidaan tarvittaessa laukaisua aikaistaa porasta kohden korkeintaan 0,045Hz ylemmäksi, jolloin suoja havahtuu aikaisemmin. Esimerkiksi suojan ensimmäisen portaan voi asettaa laukeamaan enintään 48,845Hz kohdalla, jolloin suojan kokonaistoiminta-ajaksi saadaan enintään 150 ms siitä, kun taajuus alittaa 48,8Hz. Asettelut pitää tehdä kuitenkin niin, että suojarile täyttää Fingridin testivaatimukset alitaajuussuojauksen kokonaisuudessaan ohjeistuksen mukaisesti.

### **3.2.3 Suojauksen poiskytkentä**

Alitaajuussuojaus tulee voida kytkeä pois päältä väliaikaisesti mahdollisten virhe toimintojen tai vian varalta. Alitaajuussuojan poiskytkentää väliaikaisesti voidaan myös tarvita verkon kytkentämuutosten takia, kuten sähköaseman korvauskytkennän ajaksi. Suojauksen toiminnan valinta tulee voida tehdä käyttökeskuksesta sekä paikallisesti asemalta.

### **3.2.4 Alitaajuussuojauksen toteuttamatta jättäminen**

Alitaajuussuojaus on mahdollista jättää kokonaan toteuttamatta tilanteessa, jossa verkon tuotanto on suurempaa kuin kulutus ja kulutuksen irtikytkentä aiheuttaa tuotannossa häiriöitä, voidaan automaattinen alitaajuussuojaus jättää kokonaan toteuttamatta. Kajave Oy:n alueella tällaisia sähköasemia ei ole.

## **3.3 Suojan toimimisen jälkeiset toimenpiteet**

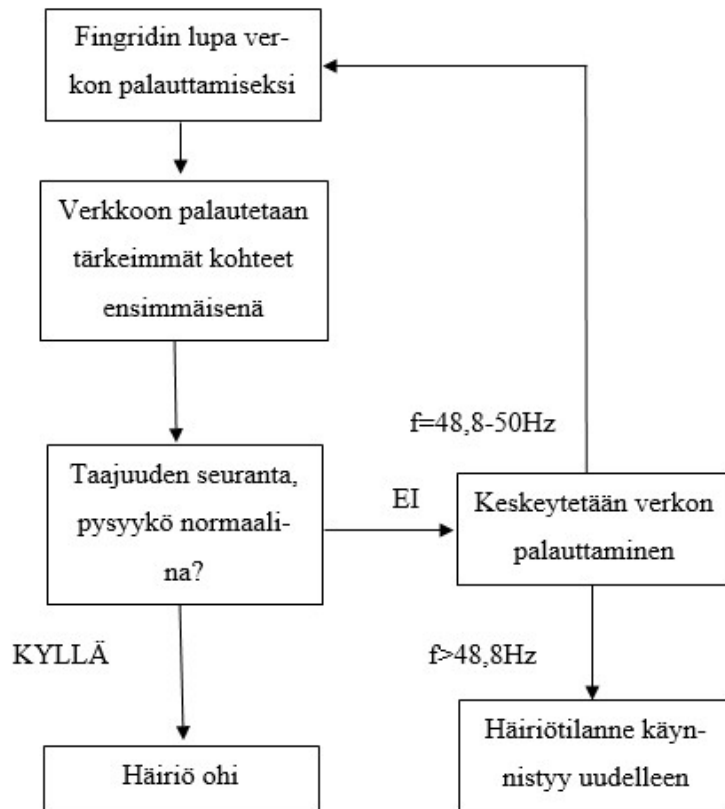
### **3.3.1 Irtoava kulutus**

Verkkoyhtiöt ilmoittavat alitaajuussuojauksen toiminnasta johtuvan irtikytketyn kulutuksen suoraan kantaverkkokeskukselle SCADA -järjestelmän kautta

reaaliaikatiетona tai Oma Fingrid -sovellukseen raportoimalla. Alitaajuussuojan havaitumisesta ja toimimisesta tulee tuoda hälytys SCADA -järjestelmään.

### 3.3.2 Palautus

Kantaverkkoyhtiö antaa verkkoyhtiöille luvan aloittaa verkon palautuksen niiltä osin, jotka alitaajuussuojaus on laukaissut sähköttömäksi. Verkon palautus tehdään manuaalisesti siten, että kaikkia kuormia ei kytketä samanaikaisesti verkkoon. Samalla on seurattava taajuuden kehittymistä, jotta taajuus ei pääse uudelleen laskemaan. Kuvassa 7 on kuvattu palautusprosessi vuokaaviossa.



**Kuva 5.** Verkon palautuksen vuokaavio

### 3.4 Suojauksen kunnossapito

Alitaajuussuojauksen koestusväliksi on määritetty 6 vuotta, mutta Kajavelle suositellaan suojien koestamista samanaikaisesti ja samassa rytmissä kuin muutkin suojarahleet asemilla. Suojareleiden koestusväli on Kajavella pääsääntöisesti 5 vuotta. Koestuspöytäkirjat tulee toimittaa Fingridille, pöytäkirjassa tulee olla kerrottu mitaustulokset kaikille käytössä oleville taajuusportaille, jotka on käytössä. /12/

Kunkin aseman osalta raportoidaan koestustulokset. Mikäli kaikki laitteet ovat samaa tyyppiä, riittää yhden laitteen raportti. Jokaiselta suojaustyypiltä tarvitaan oma koestuspöytäkirja. /11, s. 9/

Alitaajuussuojauksen kaikkiin releisiin tehdään seuraavat toimenpiteet: /12, artikla 6/

- a) toiminta-aika ilman katkaisijan laukaisemista
- b) havahtumis- ja palautumistaajuus
- c) kaikkien käyttöön tulevien toimintaportaiden taajuusrajat ja toiminta-ajat
- d) kaikkien releessä käytössä olevien koskettimien ja sisääntulojen toiminta
- e) oikea toiminta alijännitetilanteessa,
- f) nolajännitelukitus, jos se on toteutettu sekä
- g) indikointien oikeellisuus.

Lisäksi, jos suojauksen kokonaistoiminta-ajan saamiseksi 150 ms, on jouduttu aikaistamaan laukaisuiden portaita maksimissaan 0,045Hz/portas, tehdään edellisten kohtien lisäksi seuraava lisäkoestus.

”Releen toiminta-aika testataan kahdella eri askelmaisella taajuusmuutoksella. Toiminta suuressa taajuusmuutoksessa testataan taajuuden askelmaisella muutoksella nimellistaajuus → releen laukaisutaajuus - 0,05 Hz. Toiminta hitaassa taajuuden



muutoksessa testataan 0,1 Hz suuruisella askelmaisella muutoksella: releen laukaisutaajuus + 0,05 Hz → releen laukaisutaajuus - 0,05 Hz. Esimerkiksi jos asettelu on 48,50 Hz, niin muutos 1: 50,00 Hz → 48,45 Hz ja muutos 2: 48,55 Hz → 48,45 Hz.” /11, s. 7/

### **3.5 Raportointi**

Jakeluverkon haltijoiden on raportoitava vuosittain Fingridille alitaajuussuojauksen tilasta, raportointi suoritetaan Oma Fingridin kautta. Kulutuksen irtikytkemisen täytyminen tarkastetaan kaksi kertaa vuodessa määrättyinä hetkinä. Tarkastelussa sallitaan ±10 % vaihtelu määrätystä 30 % kulutuksen irtikytkennästä.

Fingrid sopii raportoinnin menettelystä niiden teollisuutta edustavien verkkokäyttäjien kanssa, jotka haluavat itse järjestää automaattisen alitaajuussuojauksen omaan verkkoonsa. /6, artikla 50/

## 4 TOTEUTUSVAIHTOEHDOT ALITAAJUUSSUOJAUKSELLE

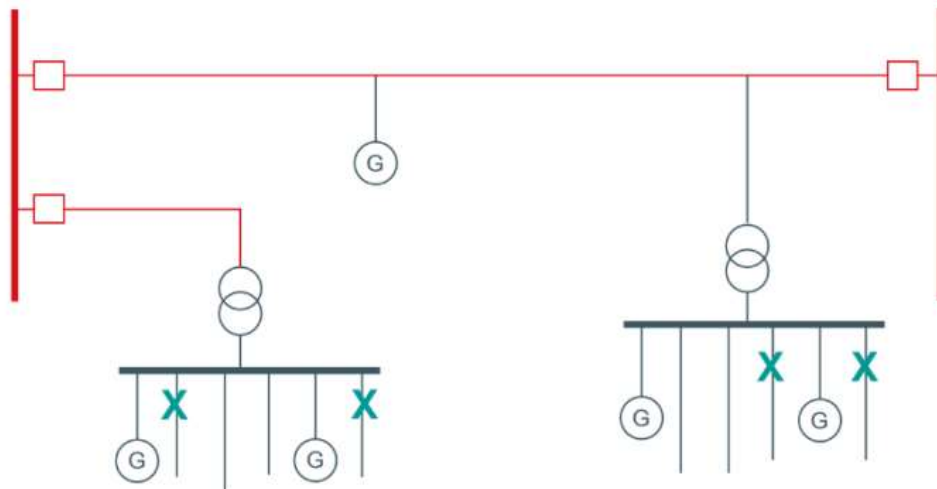
### 4.1 Toteutusvaihtoehdot

Automaattisen alitajuussuojauksen toteutusvaihtoehtoja on Fingridin sovellusohjeen mukaan kolmenlaisia.

1. Keskijännitejohdot, kappale 4.1.1
2. Jakeluverkon asemat, kappale 4.1.2
3. Suurjännitejohdot, kappale 4.1.3
4. Kantaverkkoyhtiön tarjoamat ratkaisut 4.1.4

#### 4.1.1 Keskijännitejohdot

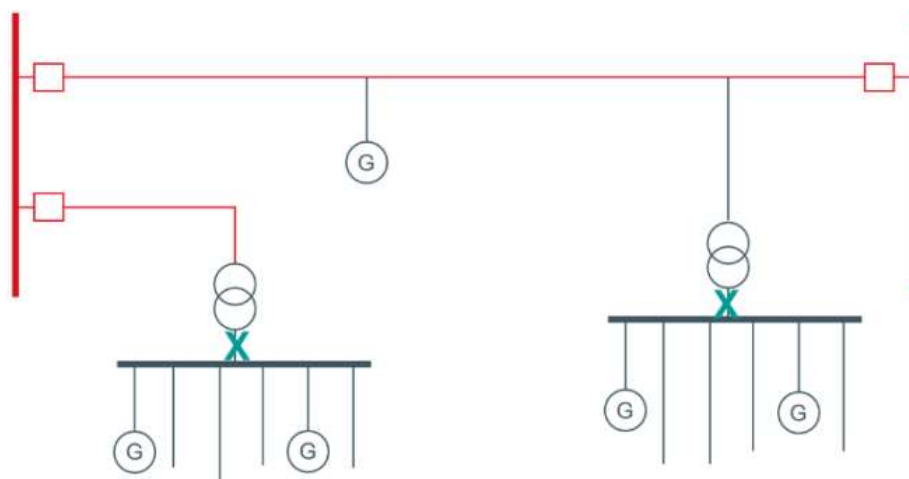
Kuvassa 8 alitajuussuojaus toteutetaan laukaisemalla sähköasemien keskijännitejohtoja. Tällä toteutustavalla saadaan tasainen ja monipuolinen kuormien pudotus. Soveltuu suurille sähköasemille, joissa on paljon kulutusta ja johtolähtöjä. Tällä toteutustavalla voidaan kuormien pudotus jakaa useammalle portaalle asemalla.



**Kuva 6.** Alitajuussuojauksen toteutus keskijännitejohdolla /1, s. 6/

### 4.1.2 Jakeluverkon asemat

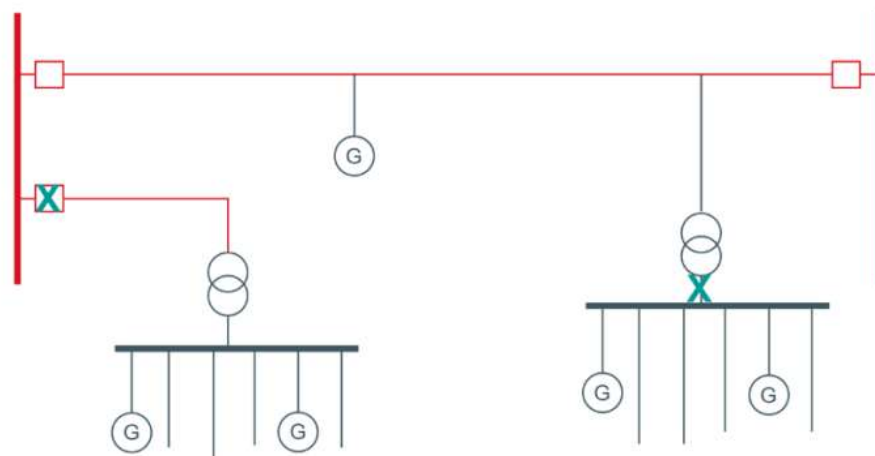
Kuvassa 9 alitaajuussuojaus toteutetaan laukaisemalla jakeluverkon sähköasemia. Laukaisu tapahtuu keskijännitekojeiston syöttökatkaisijalla. Tämä toteutustapa soveltuu pienille sähköasemille, joissa on pieni kulutus eikä kriittisiä kohteita ole.



**Kuva 7.** Alitaajuussuojauksen toteutus jakeluverkon asemilla /1, s. 6/

### 4.1.3 Suurjännitejohdot

Kuvassa 10 alitaajuussuojaus toteutetaan laukaisemalla jakeluverkon asemia ja säteittäisiä suurjännitejohtoja. Tätä toteutustapaa ei suositella käytettäväksi, mutta voidaan käyttää, mikäli muut vaihtoehdot eivät ole toteutettavissa.



**Kuva 8.** Alitaajuussuojauksen toteutus suurjännitejohdolla /1, s. 7/

#### 4.1.4 Kantaverkkoyhtiön tarjoamat ratkaisut

Fingrid voi jakeluverkkoyhtiön tai kantaverkkoon liittyvän teollisuusasiakkaan pyynnöstä asettaa alitaajuussuojauksen toiminnan kantaverkon säteittäisille siirtojohdoille, jotka syöttävät asiakasta. Mikäli samalla johdolla on useamman toimijan sähköasemia, pitää kaikkien toimijoiden tehdä yhteinen sopimus Fingridin kanssa johdon alitaajuussuojauksesta.

Tämä vaihtoehto on hyvin karkea, eikä ole suositeltava vaihtoehto. Käyttötavan hyväksyminen vaatii erillisen selvityksen käyttötavan valinnasta, sekä hyväksynnän Fingridiltä. /1, s. 3/

#### 4.1.5 Suositellut ratkaisut

Kajavelle suositellaan käytettäväksi ensisijaisesti 1. kohdan toimintatapaa, koska tällä saadaan kattava ja tasainen porrastus suojaukselle. Muutamalla pienellä maa-seudun sähköasemalla voidaan käyttää 2. toteutustapaa, jossa laukaistaan keskijännitekojeiston syöttökatkaisija. 3. ja 4. toteutustapaa ei sovelleta, koska laukaisut on järkevämpi toteuttaa sähköasema tasolla, sillä siihen on hyvät valmiudet.

## 4.2 Virhetoimintojen välttäminen

Verkossa tapahtuva ohimenevä vika, kuten kolmivaiheinen oikosulku lähellä sähköasemaa tai sähköaseman kiskossa tai maasulku voi aiheuttaa normaalista poikkeavaa taajuutta sähköaseman mittauksessa. Varsinkin kompensoidun verkon maasulussa voi vian alkuhetkellä muodostua normaalista verkon taajuudesta poikkeavia taajuuksia.

Nämä viat voivat laukaista alitaajuussuojauksen virheellisesti, koska taajuuden mittausta on herkkä jännitehäiriöille. Virhetoimintojen välttämiseksi alitaajuussuojauksen suojauslohkoon tuodaan tiedot keskijänniteverkon johtolähtöjen yli- ja maasulkuvirtasuojien havahtumisesta, joilla estetään alitaajuussuojan toiminta. Alijännitelukitukseksi Fingrid suosittelee  $0,4-0,6 * U_n$ . /1, s.7/

Alitaajuussuoja ei myöskään saa toimia siirtoverkon pikajälleenkytkentöjen jännitteettömänä aikana, esimerkiksi silloin kun voimalaitos jää ylläpitämään jännitettä johdolle, mutta taajuus poikkeaa nimellisestä. /5, s.38/

110 kV jännitteen mittaustietoa ei nähdä tarpeelliseksi tuoda alitaajuussuojan virhetoiminnan estämiseksi, koska 110 kV verkon puolella tapahtuvat oiko- ja maasulkuvioista johtuvat jännitteen muutokset toistuvat tehomuuntajan läpi KJ -verkossa tarpeeksi tarkasti, jolloin keskijännitepuolen alijännitelukitus tulee aktiiviseksi.

110 kV mittaustietoa voidaan myös tarvita tilanteessa, jossa johdon varrella oleva sähköntuotantolaitos voi jälleenkytkentätilanteessa syöttää johdolle vajaata taajuutta, jolloin alitaajuussuojaus voi tehdä virhelaukaisun. Tällainen tilanne on Kajaven osalta epätodennäköistä.

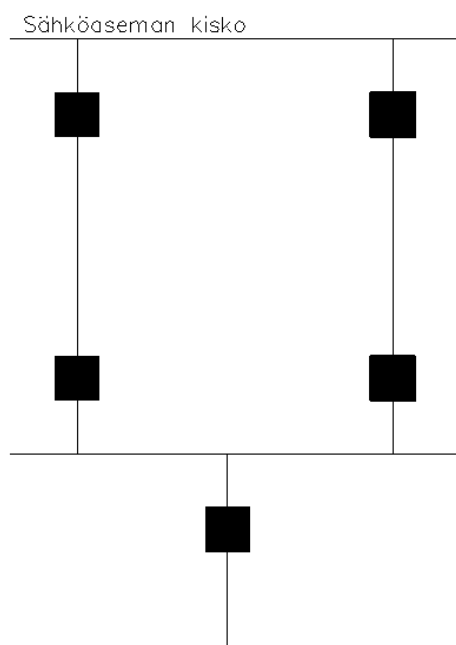
### 4.2.1 Ylitaajuuden välttäminen

Ylitaajuutta voidaan välttää helpommin kuin alitaajuutta, koska verkosta on helpompaa irrottaa tuotantoa kuin lisätä sitä. Voimalaitoksissa on ylitaajuussuojat, jotka irrottavat voimalaitoksen verkosta ylitaajuustilanteessa ja taajuus lähtee laskemaan. /8, s. 254/

Ylitaajuussuojaa ei tämän tutkimuksen perusteella nähdä tarpeelliseksi lisätä sähköasemille. Ylitaajuussuojaus vain kasvattaisi taajuutta, kun kuormaa pudotetaan jo ennestään ylitaajuisesta verkosta.

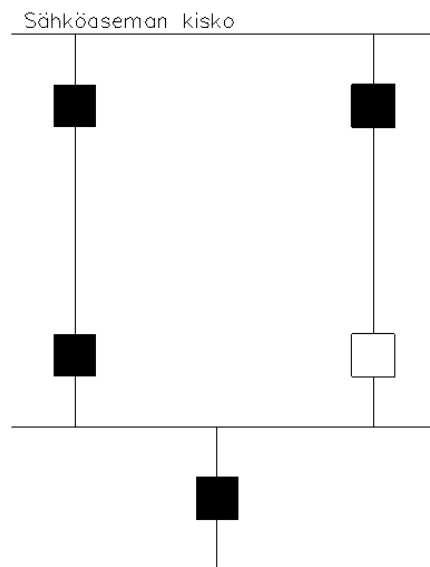
#### 4.2.2 Verkon stabiiliuden varmistaminen

Alitaajuuden heikentämän sähköverkon kannalta on tärkeää, että verkon stabiiliisuutta ei ennestään heikennetä mahdollisten rengasverkkojen katkaisemisella. Kajoavella ei normaalissa käyttötilanteessa ole yhtään rengasverkkoa (**Kuva 9.**), vaan kaikki johtolähdöt ovat säteittäisiä (**Kuva 10.**).



**Kuva 9.** Rengasverkko

Kuvan 9 rengasverkossa sähköaseman kaksi tai useampi johtolähtö ovat yhteydessä toisiinsa normaalissa käyttötilanteessa. Tällainen verkon kytkentä normaalissa käyttötilanteessa on keskijännitteellä nykyään harvinainen. Kantaverkossa tällainen kytkentä on yleinen.



**Kuva 10.** Säteittäinen verkko

Kuvan 10 säteittäisessä verkossa sähköaseman johtolähdöt eivät ole yhteydessä toisiinsa verkon puolella. KytKentä on yleinen keskijännitepuolella normaalissa käyttötilanteessa.

## **5 ALITAAJUUSSUOJAUKSEN TOTEUTUS KAJAVEN VERKOKOSSA**

### **5.1 Sähköasemien suojarleet**

Kajaven asemilla on kirjava suojarlepopulaatio. Vanhimmat suojarleet ovat ensimmäisen sukupolven elektronisia releitä, kuten ABB:n SPA -sarjan releet. Uusimmat releet ovat uusinta relekantaa, kuten ABB:n Relion -sarjan releet.

Suojarleitä on käytössä seuraavanlaisia:

- ABB SPA -sarja
- ABB 500 -sarja
- VAMP 50 -sarja
- VAMP 100 -sarja
- VAMP 200 -sarja
- VAMP 300 / Schneider Electric P3 -sarja
- ABB Relion -sarja.

Nykyisellään sähköasemalla on käytössä pääsääntöisesti seuraavanlaisia suojauslohkoja:

- ylivirtasuoja
- maasulkusuoja
- nollajännitesuoja
- yli- ja alijännitesuoja
- differentiaalisuoja.

### **5.2 Irtikytettävän kulutuksen valinta**

Kajave Oy:n kulutus jakaantuu keskimäärin koko vuoden keskikulutuksen mukaan 32 % Kajaanin kaupunki, 30 % taajamat ja 38 % maaseutu (Kajave 2020). Kulutuksen irtikytännän valinta portaissa valitaan kulutuskohteiden kuorman pudotuksen merkittävyyden ja irtikytännästä aiheutuvan haittavaikutuksen välillä.



Kajavelta saatujen johtolähtöjen tehojen perusteella tehdyn alustavan suunnitelman mukaan saatiin taulukon 5 mukainen ehdotus kulutuksen irtikytkennästä.

**Taulukko 5.** Kajaven taulukko irtikytkettävästä kulutuksesta

Porras	Tavoite		%	FG:n asiakas täyttää		
	f (Hz)	Kokonaistoiminta		% kulutuksesta		
		aika (s)		1.2 klo 8-9	1.7 klo 8-9	Koko vuosi
1	48,8	0,15	5	<b>13,2</b>	<b>3,6</b>	<b>5,5</b>
2	48,6	0,15	5	<b>8</b>	<b>3,5</b>	<b>4,8</b>
3	48,4	0,15	5	<b>7</b>	<b>3,1</b>	<b>4,6</b>
4	48,2	0,15	5	<b>8,7</b>	<b>3,1</b>	<b>4,8</b>
5	48	0,15	10	<b>9,5</b>	<b>6,8</b>	<b>9,5</b>

Kajave Oy:n 2020 syyskuussa tekemän laskelman mukaan tehot ovat Kajaven verkossa seuraavanlaiset:

- Koko vuoden keskiteho 78MW
- Tuntiteho 1.2 klo 8-9 131MW
- Tuntiteho 1.7 klo 8-9 68MW

Kajavelle ehdotetaan kuormien pudotuksen toteutusta taulukon 6 mukaisesti.

**Taulukko 6.** Laukaistavat kohteet

Porras	Laukaistavia kohteita	Laukaistava keskiteho (MW)
<b>1. 5%</b>	Maaseutujohtolähtöjä, pieniä maaseutuasemia	4,3
<b>2. 5%</b>	Merkittävämpiä maaseutujohtolähtöjä ja maaseutuasemia	3,8
<b>3. 5%</b>	Merkittävimmät maaseutujohtolähdöt	3,6
<b>4. 5%</b>	Taajamien asutusalueet, teollisuusalueet	3,8
<b>5. 10%</b>	Isommat maaseutuasemat, taajamat, kaupunkien asutusalueita	7,4

- Ensimmäisessä portaassa irtikytketään sellaisia maaseutujohtolähtöjä, jotka sisältävät enimmäkseen asutusta. Myös pieniä maaseudun sähköasemia irtikytketään.

- Toisessa portaassa jatketaan maaseutujohtolähtöjen irtikytkemistä ja irtikytetään myös lisää maaseutusähköasemia, sekä taajamien asutusalueita.
- Kolmannessa portaassa kytketään irti merkittäviä maaseutujohtolähtöjä sekä asemia ja taajamien johtolähtöjä.
- Neljännessä portaassa jatketaan merkittävien maaseutujohtolähtöjen irtikytetään, irtikytketään myös taajama-alueita sekä maaseudun asemia.
- Viidennen portaan kulutuksen irtikytkennät sisältävät isoja maaseutuaseimia, taajamia ja kaupunkien isoja asutusalueita.

Irtikytkettäviä johtolähtöjä on suunnitelman mukaan yhteensä 75 kpl, kun johtolähtöjä on kokonaisuudessaan Kajaven asemilla noin 200 kpl. Tämä tarkoittaa, että vain noin 37 % johtolähdöistä tulee ottaa alitaajuussuojauksen piiriin. Taulukossa 7 on esitetty laukaistavien johtolähtöjen lukumäärä kullakin laukaisuportaalla.

**Taulukko 7.** Laukaistavien johtolähtöjen lukumäärä

Porras	1.	2.	3.	4.	5.
Laukaistavia johtolähtöjä	18	10	13	17	17

Taulukon 8 kohteita sisältäviä johtolähtöjä ei suositella laukaistavan alitaajuussuojauksella, koska kohteet ovat yhteiskuntakriittisiä, ydinkeskustoja tai sisältävät merkittävää sähköntuotantoa.

**Taulukko 8.** Ei -laukaistavat kohteet

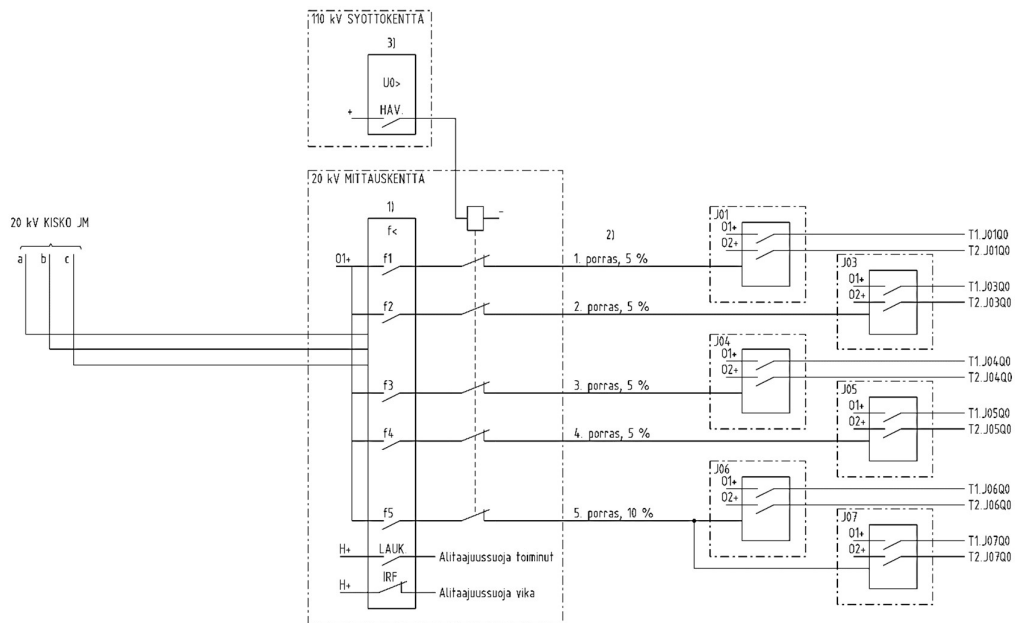
Johtolähtöjä kpl	Kulutuspaikka
1kpl	Sairaalat
5kpl	Terveyskeskukset
1kpl	Lentokentät
2kpl	Kaupunkien ydinkeskustat
1kpl	Puolustushallinnolliset alueet
5kpl	Sähköntuotantolaitokset

### 5.3 Perustiedot

Sähköasemien alitaajuussuojan toteutuksessa käytetään kahta vaihtoehtoa, riippuen millainen suojareleistys sähköasemalla on.

Vanhemmalla suojareleistyksellä käytetään suunnittelun lähtökohtana Fingridin sovellusohjeen mallikuvaa (**Kuva 11.**), jossa johdotetaan keskijännitekojeiston mitauskentän suojareleen laukaisukoskettimilta tarvittavien johtolähtöjen katkaisijoiden laukaisupiireihin. Uudemmassa suojareleistyksellä suojaus toteutetaan relekohtaisilla laukaisuilla, jossa releisiin, jotka otetaan alitaajuussuojauksen piiriin, asetellaan alitaajuussuojaukselle oma toimintalohko suojaukselle.

Suojausjärjestelmä tehdään valmiiksi vuoden 2021 aikana, mutta suojat asetellaan aluksi hälyttäväksi ja laukaisut otetaan käyttöön, kun järjestelmän pitää olla toiminnassa kokonaisuudessaan. Suoja asetetaan aluksi hälyttäväksi, jotta suojaus toimintaa voidaan tarkastella virhetoimintojen varalta. Virhetoimintojen ilmetessä suojausasetuksia voidaan vielä muuttaa tarvittaessa ennen lopullista käyttöönottoa.



**Kuva 11.** Suojauksen mallikuva sovellusohjeesta. /1, liite/

### 5.3.1 Toteutus mittauskentän releellä

Alitaajuussuojauksen toteuttaminen mittauskentän releellä on hyvä ja kustannustehokas vaihtoehto sellaisille sähköasemille, joilla on vielä käytössä vanhemman sukupolven suojareleet, esimerkiksi ABB:n SPA-sarjan releet. Vanhemmissa suojarleissa ei tavallisesti ole taajuussuojausta, eikä suojan lisääminen lähtökohtaisesti ole kannattavaa.

Kajavella on kaikilla vanhemman sukupolven asemilla uusittu kojeistojen mittauskenttien releet VAMP:n releiksi, joissa alitaajuussuojaus on olemassa. VAMP -releissä on mahdollista ottaa alitaajuussuojaukselle käyttöön maksimissaan neljä porrasta uudemmilla releillä, vanhemmilla kaksi porrasta. Kaksi porrasta saadaan UNDERFREQUENCY STAGE  $f<$  ja  $f<<$  suojauslohkosta ja kaksi porrasta lisää saadaan uudemmilla releillä FREQUENCY STAGE  $fX$  ja  $fXX$  portaista.

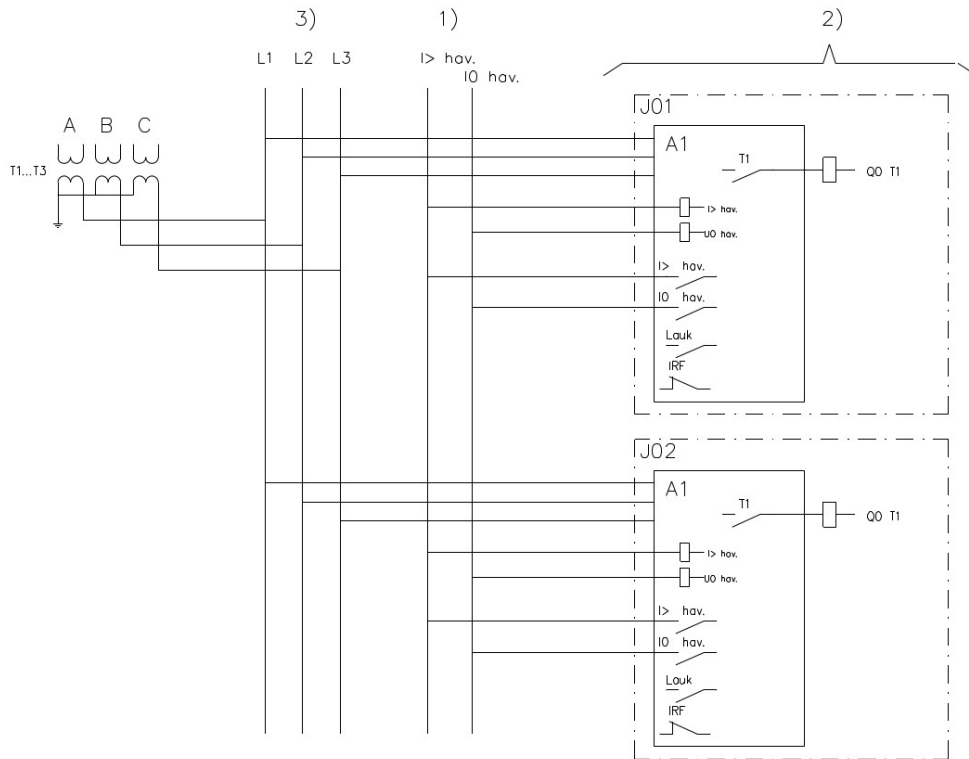
Alitaajuussuojaus tarvitsee 4.2 kappaleen mukaisesti lukitukset verkossa tapahtuvista maasulku- ja oikosulkuvioista. Nämä lukitukset saadaan releiden maasulku- ja ylivirta havahtumisista, jotka yleensä ovat vietyinä jo valmiiksi kiertokaapelointina kootusti hälytyskeskukselle. Jos kiertokaapelointia ei ole valmiiksi, sellainen pitää lisätä lukituksia varten. Alijännitelukitus asetetaan suoraan mittauskentän suojausasetteluista ja asetteluarvona käytetään  $0,4 \cdot U_n$ .

Alitaajuussuojan toimiminen sekä itsevalvonnan hälytys on tuotava SCADAlle.

Kuvassa 12 on esitetty mallikuva laukaisujen toteutuksesta mittauskentän jännitereleellä.



Kuvassa 13 on esitetty mallikuva laukaisujen toteutuksesta johtolähtösuoja-  
jareleillä.



- 1) Johtolähtöjen ylivirta- ja maasulkuvahatumiset kerätään kiertokaapelointiin alijännitesuojan lukitusta varten
- 2) Lähtöjen laukaisuportaat asetellaan verkkoyhtiön määräysten mukaisesti
- 3) Kiskoännitteen mittaus tuodaan releille kiertokaapeloinnin kautta

**Kuva 13.** Laukaisut johtolähtöjen releillä

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

### 6.1 Yhteenveto

Opinnäytetyössä perehdyttiin alitaajuusilmiöön sekä sähköjakeluverkon stabiiliisuuteen. Alitaajuutta voidaan ehkäistä monilla erilaisilla tavoilla, mutta viimeisenä vaihtoehtona turvaudutaan alitaajuussuojaukseen, jota tässä työssä tutkitaan.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä yhteistyönä Kajave Oy:n kanssa tutkielma alitaajuussuojan toteutuksesta ja laatia siitä dokumentti, jonka pohjalta Kajave Oy voi toteuttaa alitaajuussuojauksen sähköasemillensa.

Työssä saatiin aikaan selkeä dokumentti, joka on koostettu useasta eri aiheen lähteestä niin, että dokumentissa käsitellään alitaajuuden syntyminen, ehkäiseminen sekä korjaaminen alitaajuussuojauksella. Dokumentti toimii ohjeena Kajavelle alitaajuussuojan toteutuksessa heidän omaan sähköverkkoonsa. Opinnäytetyötä voivat myös hyödyntää muutkin sähköjakeluverkkoyhtiöt omalta osaltaan soveltaen Kajavelle tehtyä ohjetta.

Alitaajuussuojauksen ongelmaksi paljastui nopea 150 ms kokonaistoiminta-aika, joka aiheuttaa ongelmia varsinkin vanhoilla reletyypeillä. Myös haastatteluissa kävi ilmi, että toiminta-aika voisi olla hieman pidempi, jotta suojauksen luotettavuutta virhelaukaisuiden osalta voitaisiin parantaa.

### 6.2 Jatkotutkimusaiheet

#### 6.2.1 Suojauksen jatkokehittäminen

Alitaajuussuojauksen jatkokehitykseen haastattelin kahden relevalmistajan asiantuntijaa. Asiantuntijat antoivat seuraavanlaisia näkemyksiä suojauksen kehittämiseksi.

Ensimmäisessä haastattelussa, relevalmistajan asiantuntija kertoi, että Schneider Electric on kehittämässä mahdollisuutta, että käyttäjän ei itse tarvitsisi tehdä laukaisun lukituksia virhelaukaisujen estämiseksi. Suojareleen suojausfunktiota kehitetään ja relettä tehdään älykkäämmäksi, jotta rele osaa itse päätellä, milloin on kyse

tuotantovajeen aiheuttamasta alitaajuudesta ja milloin vian aiheuttamasta alitaajuudesta. /9/

Toisessa haastattelussa relevalmistajan asiantuntija kommentoi haastattelussa kysymykseen suojauksen tulevaisuuden kehittämistä ABB:llä seuraavanlaisesti:

”Ainakin mikä vaatii kehittämistä, on lisääntyvän hajautetun voimantuotannon otaminen mukaan enemmän tähän taajuussuojauks-asiaa. Nythän suomessa tässä asiassa pyritään paljon FG:n antamien rajojen kanssa kantaverkossa kuten myös jakeluosalle. Esimerkiksi kantaverkkoyhtiö Fingrid Oy:n (FG) edellyttämä 150 ms kokonaistoiminta-aika perustuu käytännössä kantaverkon toiminnan asettamiin vaatimuksiin. Olisi kuitenkin ehkä hyödyllistä tutkia voisiko annettu toimintanopeus vaatimus 150 ms olla joku muu jakeluverkon sovelluksissa. Varsinkin vanhemman teknologian tuotteissa vaaditun toiminta-ajan 150 ms saavuttaminen voi olla haastavaa ilman merkittäviä satsauksia suojaukseen.” /14/

Myös eri järjestelmien ja sähköasemien välinen tiedonsiirto tehopulan varalta voisi olla yksi vaihtoehto suojauksen kehittämiseksi. Esimerkiksi kantaverkkoyhtiö antaa suoraan indikoinnin tehopulatilanteesta, jolloin alitaajuussuojaukset aktivoituvat.

## **6.2.2 Jänniteensäädön mahdollisuudet**

Keskijänniteverkon jänniteensäädöllä voidaan myös muuttaa sähkönkulutusta, koska suurin osa kuormasta reagoi jännitteen muutokseen tehon kulutuksen osalta.

Jännitteen laskeminen vaikuttaa verkon kulutukseen laskevasti ja kulutusta voidaan laskea noin 2-4 % verran laskemalla keskijänniteverkon jännitettä. Jännitteen säätö vaikuttaa myös loistehon kulutukseen, joka puolestaan vaikuttaa jännitteen suuruuteen muuntajan yläjännitepuolella. /3/

Vaikka jänniteensäädön mahdollisuutta ei tässä työssä hyödynnetä, se on mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe tehopulan kannalta. Lisää aiheesta voi lukea Anssi Vanhatalon diplomityöstä ”Jänniteensäädön mahdollisuudet kysyntäjoustossa”. /3/



Jatkotutkimusaiheena jännitteensäädön mahdollisuuksia voisi tutkia Kajaven verkon kuorman jänniteriippuvuutta sekä millaisia teknisiä toimenpiteitä automaattinen jännitteensäätö vaatisi.

### **6.2.3 Saarekeajo**

Kajaven Ylä-Kainuuta on mahdollista ajaa saarekkeessa Ämmäkosken voimalaitoksen avulla, mutta ajo ei onnistu tällä hetkellä automaattisesti. Ylä-Kainuuta on suunnitellusti ajettu kolme viikkoa saarekkeessa Ämmäkosken voimalaitoksella sähkönsiirtoveron huoltotöiden takia.

Saarekeajon mahdollisuutta voisi ehkä hyödyntää suuremmallakin alueella Kainuuta, koska alueella on useita suurehkoja voimalaitoksia, jotka voisivat mahdollistaa tiettyjen alueiden saarekeajon tehopula -tilanteessa.

## LÄHTEET

- /1/ Alitaajuussuojauksen-sovellusohje-5.8.2019 FINGRID.
- /2/ frequency-based-emergency-disconnection-policy-review-for-the-nordic-region-v1.0
- /3/ Vanhatalo, A. 2019. Diplomityö. Jännitteensäädön mahdollisuudet kysyntäjoustossa.
- /4/ Fingrid OYJ:n yleiset liittymisehdot YLE2017
- /5/ Fingrid ajankohtaispäivä 11.9.2019 materiaali
- /6/ Network code on Electricity Emergency and Restoration, COMMISSION REGULATION EU 2017/2196
- /7/ Emergency and Restoration verkkosääntö –vaatimukset ja toimeenpano Suomessa, Fingrid
- /8/ Elovaara, J. Haarla, L. 2011. Sähköverkot I. 1. painos. Helsinki. Otatieto.
- /9/ Hirsimäki, J. 2020. Sovellusasiantuntija, relesuojaus Schneider Electric Oy. Haastattelu 13.7.2020.
- /10/ Tietoa Loiste -konsernista <https://www.loiste.fi/tietoa-loisteesta/loiste-konserni>
- /11/ NC ER implementointia koskevia kysymyksiä ja vastauksia. Fingridin muistio 10.3.2020
- /12/ Fingrid Oyj:n ehdotus asetuksen (EU) 2017/2196 sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskevasta verkkosäännöstä 43 artiklan 2 kohdan mukaiseksi testisuunnitelmaksi. 18.12.2019
- /13/ Fingrid. 2020. Reservimarkkinat. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/>
- /14/ Vedenjuoksu, T. 2020. Myyntipäällikkö Electrification - Distribution Solutions. ABB Oy. Haastattelu, sähköposti 14.9.2020.

**LIITE 1**

Fingrid Oyj

**Alitaajuudesta tapahtuvan  
kulutuksen irtikytkennän toteutus  
Suomessa**

Sovellusohje

5.8.2019

**Sisällysluettelo**

<b>1</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Alitaajuudesta tapahtuva kulutuksen irtikytkentä .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Taajuusportaiden toteutus .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Irtoavan kulutuksen ilmoittaminen .....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Suojan kokonaistoiminta-aika.....</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Kulutuksen valinta ja seuranta .....</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>Yksityiskohtaiset ohjeet jakeluverkoille .....</b>	<b>5</b>
<b>8</b>	<b>Toteutusvaihtoehdot.....</b>	<b>5</b>

## 1 Johdanto

Euroopan Komission sähköjärjestelmän hätätilaa ja käytönpalautusta koskevasta verkkosäännöstä antaman asetuksen (Network code on Electricity Emergency and Restoration, COMMISSION REGULATION (EU) 2017/2196), Sähköjärjestelmän hätätilaa ja käytönpalautusta koskeva verkkosääntö) mukaisesti Fingrid Oyj:n ja jakeluverkkoyhtiöiden on yhdessä luotava alitaajuussuojaus.

Automaattinen alitaajuussuojausjärjestelmä eli automaattinen kulutuksen irtikytkemisjärjestelmä toimii vakavassa häiriössä, kun kullakin hetkellä ylläpidettävä häiriöreservi ei riitä syntyneen tuotantovajauksen kattamiseen, jolloin voimajärjestelmän taajuus laskee edelleen. Jotta järjestelmä selviytyisi tällaisista häiriöistä mahdollisimman hyvin, pohjoismaisten järjestelmävastaavien verkko-organisaatioiden kesken on sovittu kulutuksen automaattisen irtikytkennän ylläpitämisestä.

## 2 Alitaajuudesta tapahtuva kulutuksen irtikytkentä

30 % kaikesta Suomen kulutuksesta varustetaan alitaajuussuojilla, joka kytkee tarvittaessa automaattisesti kulutusta irti. Taajuusportaat on esitetty taulukossa 1. Tarkemmin kohdassa 7.

**Taulukko 1.** Kulutuksen automaattisen alitaajuudesta tapahtuvan irtikytkennän asettelut ja Fingridin asiakkaan vuosittain raportoimat tiedot.

	Tavoite		FG:n asiakas täyttää			
	f (Hz)	Kokonaistoiminta-	%	% kulutuksesta		
Porras		aika(s)	kulutuksesta	1.2 klo 8-9	1.7 klo 8-9	Koko vuosi
1	48,8	0,15	5			
2	48,6	0,15	5			
3	48,4	0,15	5			
4	48,2	0,15	5			
5	48	0,15	10			

Jakeluverkonhaltijat veloitetaan valitsemaan toimintatavan, jolla ne toteuttavat kulutuksen irtikytkennän omassa sähköverkossaan.

Jakeluverkkoyhtiön pyynnöstä Fingrid voi laukaista automaattisesti kantaverkkotasolla asiakkaiden säteittäisiä johtoja, jotka syöttävät kyseistä jakeluverkkoa. Mikäli tällaisen säteittäisen johdon varrella on liittynyt useamman eri toimijan asemia, kaikkien kyseisten toimijoiden tulee yhteisestä sopimuksesta pyytää Fingridiä ottamaan johto mukaan alitaajuussuojaan. Fingrid ei laukaista asiakkaan säteittäisjohtoa, jonka varrella olevista toimijoista yksi tai useampi haluaa toteuttaa suojan omassa verkossaan.

Alitaajuussuojan ei tule laukaista silmukoidun kantaverkon runkojohtoja, koska tämä heikentää voimajärjestelmän stabiiliutta ja käyttövarmuutta.

Mikäli kulutusta irrotettaessa irtoaa myös tuotantoa, on laskettava irtoava nettoteho. Irtoavan nettotehon määrän on oltava taulukon 1 mukainen.

# FINGRID

19.6.2019

4 (7)

Kantaverkkoon liittynyt teollisuusasiakas sen sijaan on usein kytketty kantaverkkoon siten, että Fingrid kykenee laukaisemaan teollisuuskulutusta selektiivisesti kantaverkkotasolla. Teollisuusasiakkaalla annetaan kuitenkin mahdollisuus valita itse, mitkä osat kulutuksesta se varustaa alitaajuuslaukaisulla, kunhan 30 % kulutuksesta saadaan suojan piiriin.

Mikäli teollisuudesta 30 % laukaistaan kantaverkkotasolla, laukaisu kohdistuu muutamiin suuriin kulutuskohteisiin. Ja vaikka teollisuusyritys valitsisi itse laukaisemansa kuormat, niiden kappalemäärä jää huomattavasti pienemmäksi kuin jakeluverkkokuormien määrä. Tästä syystä teollisuuskulutuksesta ei ole aina mahdollista jakaa tasaisesti taulukon 1 esittämällä tavalla, vaan taajuusportaita voi olla vähemmän kuin viisi asiakasta kohti.

Teollisuusasiakas esittää Fingridille, aikooko se toteuttaa alitaajuuslaukaisun itse ja millaisiin osiin laukaistava kulutus esitetään jaettavaksi. Fingrid määrittelee tällä perusteella lopulliset taajuusasettelut ja ilmoittaa ne asiakkaalle.

Jos kantaverkon kytkinlaitokseen liittynyt teollisuusasiakas haluaa jättää Fingridin tehtäväksi alitaajuuslaukaisun toteuttamisen, Fingrid hankkii ja asettelee alitaajuussuojat kunkin asiakkaan tapauksessa niin, että alitaajuussuojauksen piirissä olevan kulutuksen määrä on koko maassa keskimäärin 30 % kokonaiskulutuksesta.

## 3 Taajuusportaiden toteutus

### Vaihtoehto 1

Suurilla jakeluverkkoyhtiöillä on monia sähkösemia. Yhdellä asemalla ei tarvitse toteuttaa kaikkia taulukossa 1 määriteltyjä taajuusportaita, vaan suoja voidaan hajauttaa eri asemille jakeluverkonhaltijan haluamalla tavalla. Yksittäisellä sähköasemalla saa olla 0-5 taajuusporrasta, kunhan koko jakeluverkon alueella mukaan lukien jakeluverkkoon liittyneet toiset jakeluverkot kulutusta laukeaa taulukon 1 mukaiset osuudet kokonaiskulutuksesta.

### Vaihtoehto 2

Pienillä jakeluverkkoyhtiöillä on vain vähän asemia, jolloin saattaa olla vaikeaa toteuttaa kaikkia taulukon 1 taajuusportaita. Tällöinkin on suositeltavaa, että hajautetaan suoja niin monelle portaalle kuin mahdollista. Aloitetaan ylimmästä taajuusportaasta (asettelu 48.8 Hz) ja laajennetaan asteittain alempiin taajuusasetteluihin. Alempia taajuusportaita otetaan käyttöön vasta, kun ylimmässä taajuusportaassa on vähintään 5 % kulutuksesta. Ääritapauksessa on vain yksi taajuusporras (asettelulla 48.8 Hz), joka laukaisee vähintään 30 % ko. jakeluverkon kokonaiskulutuksesta.

## 4 Irtoavan kulutuksen ilmoittaminen

Kaikki jakeluverkkoyhtiöt, nekin, joiden verkot eivät liity suoraan Fingridin verkkoon, ilmoittavat laukeavat kulutukset suoraan FG:lle. Alueverkkoyhtiöt ilmoittaa vain muut kuin jakeluverkkokulutukset. Tällä vältetään saman kulutuksen ilmoittaminen kahdesti.

## 5 Suojan kokonaistoiminta-aika

Suojan taajuusfunktiolla on oma toiminta-aikansa, mahdollisella logiikalla ja laukaisunsiirrolla omansa sekä katkaisijalla omansa. Näistä koostuva suojauksen kokonaistoiminta-aika saa olla enintään 150 ms siitä, kun taajuus alittaa asettelun.

# FINGRID

19.6.2019

5 (7)

## 6 Kulutuksen valinta ja seuranta

Kunkin alitaajuussuojan portaan laukaistavaksi valitaan sellainen määrä kulutusta, että niiden yhteenlaskettu vuosenergia on mahdollisimman tarkasti taulukon 1 mukainen osuus asiakkaan keskitehosta (kokonaisvuosienergiasta). Tämä jälkeen tarkistetaan, mitkä ovat eri portaiden kulutuksen prosenttiosuudet kokonaiskulutuksesta jäljempänä mainittujen tuntien aikana. Jos 1. portaan kulutus on molempien tuntien aikana keskimäärin vähintään 5 % kokonaiskulutuksesta ja kaikkien portaiden yhteenlaskettu kulutus on 20-40 % kokonaiskulutuksesta, niin laukaistavan kulutuksen valinta on määrän suhteen sopiva. Mikäli 1. portaan kulutus on alle 5 % kokonaiskulutuksesta tai kaikkien portaiden summakulutus on pienempi kuin 20 % tai suurempi kuin 40 % kokonaiskulutuksesta, niin kulutuksen valintaa on muutettava, kunnes ehdot täyttyvät.

Asetuksen artiklan 50 kohdat 1 ja 2 määräävät, että jakeluverkonhaltijoiden on raportoitava vuosittain siirtoverkonhaltijalle kulutusta alitaajuudesta irtikytkevän suojan tilasta. Fingrid sopii samasta menettelystä niiden teollisuutta edustavien verkonkäyttäjien kanssa, jotka haluavat itse valita laukaistavan kulutuksen.

Jotta eri jakeluverkoista ja teollisuudesta raportoidut tehomittaukset voidaan parhaiten yhdistää, Fingrid edellyttää että sille raportoidaan seuraavat tehot taulukon 1 muodossa:

Alitaajuussuojan piirissä olevan kulutuksen vuosikeskiarvo, sekä tuntikeskitehot klo 8-9 helmikuun 1. päivänä ja heinäkuun 1. päivänä.

Fingrid saa tarvittavat mittaustiedot omista järjestelmistään alitaajuussuojan piiriin kuuluvien kantaverkkotasolla laukaistavien asiakkaiden säteittäisjohtojen osalta.

## 7 Ohjeet ja suositukset jakeluverkkoyhtiöille

Alitaajuussuojaan on mahdollista hyödyntää samoja kohteita kuin kunkin verkkoyhtiön ole-massa olevassa tehonrajoitussuunnitelmassa. Ensimmäiseen laukaisuportaaseen (48,8 Hz) valitaan vähiten tärkeä kulutus.

Alitaajuussuojan toteuttamisen kustannuksista vastaa sen toteuttava taho. Kantaverkossa Fingrid, jakeluverkossa jakeluverkonhaltija. Vaatimus johtuu lainsäädännöstä, joten se olisi siten perusteltua huomioida Energiaviraston valvontamallissa, mutta päätösvalta asiassa on virastolla.

Virhelaukaisuja tulee pyrkiä välttämään huolellisella suunnittelulla. Alitaajuussuojaus ei saa toimia sellaisissa ohimenevissä vika- tai poikkeustilanteissa, joissa ei ole kyse todellisesta järjestelmätason tehonvajaustilanteesta. Tällaisia tilanteita ovat mm. oikosulkujen ja maasulkujen aiheuttamat ohimenevät jännitekuopat ja muutostilanteet, jälleenkytkentöjen jännitteettömät väliaikatilanteet sekä muut kytkentätalanteet.

Alitaajuussuojan toiminta on estettävä alijännitetilanteessa eli esimerkiksi vian ja automaattisen jälleenkytkennän jännitteettömän väliajan aikana. Suositeltava alijännitelukituksen asettelualue on  $0,4-0,6 \cdot U_n$ . Nopeat jännitevaihtelut aiheuttavat virhettä taajuuden mittaukseen, jolloin on vaarana alitaajuussuojan aiheeton laukaisu.

# FINGRID

19.6.2019

6 (7)

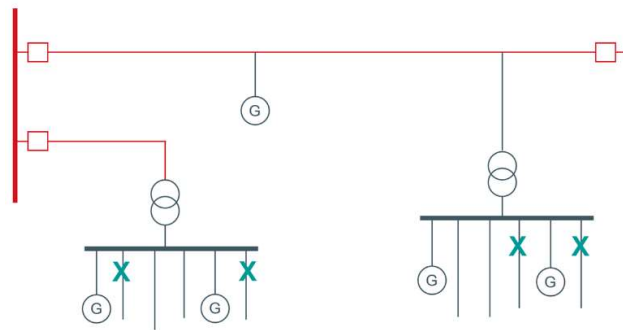
Tapauskohtaisesti voi olla tarpeen käyttää myös nolajännitelukitusta. Suojauksen eroon-kytkemällä alueella olevat hajautetut voimalaitokset saattavat pitää yllä jännitettä jälleenytkennän jännitteettömäksi tarkoitettuna väliaikana samalla kun taajuus alenee. Kyseiseen tilanteeseen liittyy maasulkutapauksissa myös nolajännitteen nousu, jolloin turha alitaajuussuojaustoiminta voidaan estää nolajännitteen esiintyessä.

Alitaajuussuojan toimittua palautuskytkennät tehdään manuaalisesti Fingridin kantaverkkokeskuksen luvalla.

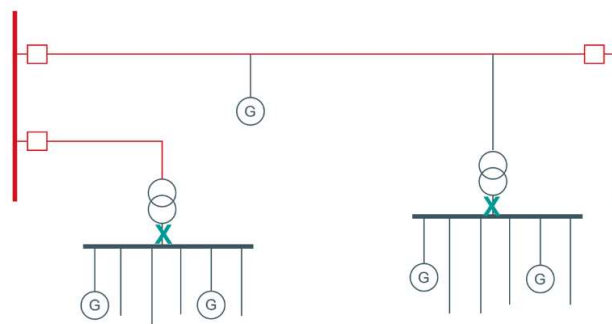
## 8 Toteutusvaihtoehdot

Jakeluverkkoyhtiöt voivat rakentaa suojan laukaisemaan yksittäisiä keskijännitejohtoja, ko-

konaisia jakeluverkon asemia tai säteittäisiä 110 kV johtoja. Nämä vaihtoehdot on esitetty alla kuvina, joissa 'X' tarkoittaa alitaajuussuojauksella ohjattavaa kohdetta.



**Kuva 1.** Alitaajuussuojan toteutus keskijännitejohtoilla.



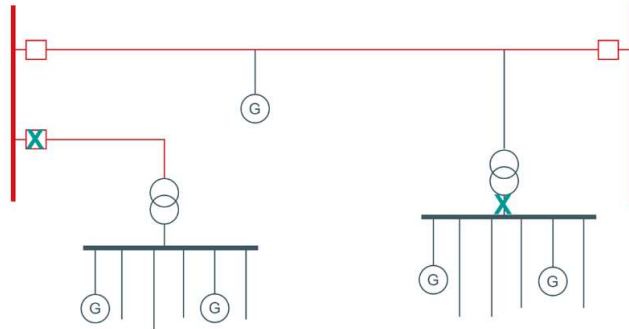
**Kuva 2.** Alitaajuussuoja, jossa laukaistaan jakeluverkon asemia.



# FINGRID

19.6.2019

7 (7)



**Kuva 3.** Alitaajuussuoja, jossa laukaistaan jakeluverkon asemia ja 110 kV säteittäisiä johtoja.

Liitteessä S22440L2 on esitetty kaksi esimerkinomaista mallikuvaa toteutuksen suunnittelun lähtökohdaksi. Kukaan toimija luonnollisesti vastaa omista käytännön ratkaisuistaan.

## LIITE 2

