

# **Alueellisen loissähköseurannan toteutus Fingrid Oyj:ssä**

Martin Storbjörk

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Informaatio- ja mediatekniikka
Tunnistenumero:	3617
Tekijä:	Martin Storbjörk
Työn nimi:	Alueellisen loissähköseurannan toteutus Fingrid Oyj:ssä
Työn ohjaaja (Arcada):	DI Kim Rancken
Toimeksiantaja:	Fingrid Oyj
Asiantuntijaohjaaja:	DI Kaija Niskala, DI Esa Pietarinen
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Vaihtosähköverkoissa jännitteen ja virran välinen vaihekulma vaihtelevat aiheuttaen ilmiön nimeltä loissähkö. Loissähkön siirto kantaverkossa vähentää johtojen ja sähköseuran primäärilaitteiden siirtokykyä sekä lisää niiden jännite- ja energiahäviöitä.</p> <p>Työssä tutustutaan loissähkön teoriaan sekä miten loissähköä tuotetaan ja kulutetaan. Työssä käsitellään loissähkön siirron vaikutuksia sähkönsiirtoverkon jännitteeseen ja häviöihin. Työssä tutkitaan miten uusia loissähköseuranta-alueita tulisi määritellä siten, että alueet olisivat häviöiden ja verkon käytön kannalta mahdollisimman järkeviä.</p> <p>Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj seuraa ja ohjaa asiakkaidensa loissähkön käyttöä loissähköseurantamallia käyttäen. Fingrid Oyj uudistaa loissähköseurantamallinsa vuonna 2012. Tässä työssä tarkastellaan uutta loissähköseurantamallia ja käydään läpi mitä muutoksia uusi malli tuo mukanaan etenkin sitä minkälaisia vaikutuksia uudella loissähköseurantamallilla on Fingridin asiakkaiden kannalta.</p> <p>Tutkimus loissähköseuranta-alueiden suunnittelusta osoittaa, että alueen koolla on suora vaikutus loissiiirrosta johtuviin häviöihin. Jos alue on liian suuri, on mahdollista että loissähköä siirretään pitkiä matkoja. Jos loissähköä siirretään pitkiä matkoja, niin loissiiirrosta johtuvat pätötehohäviöt ovat suuret.</p> <p>Tutkimus loissähköseurannan uudistuksen vaikutuksesta asiakkaan kannalta, osoittaa että kantaverkkoasiakkaat hyötyvät alueellisesta seurannasta. Uudistuksen myötä asiakkailla on mahdollisuus käyttää loissähköä entistä tehokkaammin, koska samaan seuranta-alueeseen kuuluvat asiakkaat voivat sopia keskenään loissähkön käytöstä.</p>	
Avainsanat:	kantaverkko, loisteho, loissähköikkuna, loissähköseuranta, siirtohäviö, Fingrid Oyj
Sivumäärä:	49
Kieli:	suomi
Hyväksymispäivämäärä:	16.12.2011

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Informations- och medieteknik
Identifikationsnummer:	3617
Författare:	Martin Storbjörk
Arbetets namn:	Alueellisen loissähköseurannan toteutus Fingrid Oyj:ssä
Handledare (Arcada):	DI Kim Rancken
Uppdragsgivare:	Fingrid Oyj
Experthandledare:	DI Kaija Niskala, DI Esa Pietarinen
<p>Sammandrag:</p> <p>I växelströmsnät varierar fasvinkeln mellan ström och spänning. På grund av detta uppstår ett fenomen som kallas reaktivström. Överföring av reaktivström i stamnätet minskar på ledningarnas överföringsförmåga och ökar på ledningarnas och transformatorernas spännings- och energiförluster. Stamnätsbolaget Fingrid Oyj uppföljer och styr sina kunders användning av reaktivström med hjälp av en uppföljningsmodell för användning av reaktivström. Fingrid Oyj förnyar sin uppföljningsmodell för användning av reaktivström år 2012.</p> <p>I detta arbete behandlas den nya uppföljningsmodellen för användning av reaktivström. I arbetet behandlas teorin bakom reaktivström och hur reaktivström produceras och konsumeras i stamnätet. Arbetet behandlar också hur överföring av reaktivström påverkar spänningen och förlusterna i stamnätet.</p> <p>I arbetet undersöks hur nya områden för uppföljning av reaktivström borde definieras, så att områdena är ur förlusternas och ur nätverkets synpunkt vettiga. I undersökningen utreds, med hjälp av ett modellexempel, hur mycket kostnader det uppstår i en typisk situation där reaktivström överförs. I arbetet undersöks även den förnyade reaktivströmsuppföljningens påverkningar ur stamnätskundernas synvinkel.</p> <p>Undersökningen om hur områden för uppföljning av reaktivström bör definieras, visar att områdets storlek har en direkt påverkan på hur mycket förluster det uppstår på grund av överföring av reaktivström. Om området är mycket stort är det möjligt att överföra reaktivström långa sträckor. Om man överför reaktivström långa sträckor uppstår det stora förluster.</p> <p>Undersökningen om hur den nya uppföljningsmodellen av reaktivström påverkar stamnätskunderna visar att kunderna gynnas av förnyelsen. I samband med förnyelsen får kunderna friare användning av reaktivström eftersom kunder som hör till samma uppföljningsområde får sinsemellan bestämma hur de använder reaktivström.</p>	
Nyckelord:	stamnät, reaktiveffekt, överföringsgräns för reaktiveffekt, reaktivströmsuppföljning, överföringsförluster, Fingrid Oyj
Sidantal:	49
Språk:	finska
Datum för godkännande:	16.12.2011

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Information and Media Technology
Identification number:	3617
Author:	Martin Storbjörk
Title:	Alueellisen loissähköseurannan toteutus Fingrid Oyj:ssä
Supervisor (Arcada):	M.Sc. Kim Rancken
Commissioned by:	Fingrid Oyj
Expert Supervisor:	M.Sc. Kaija Niskala, M.Sc. Esa Pietarinen
<p>Abstract:</p> <p>In an alternating current system the phase angle between current and voltage varies causing an effect called reactive power. Transfer of reactive power in an electrical grid reduces the transmission capability of power lines as well as increases the voltage- and energy losses in power lines and transformers. To ensure transmission capacity and efficient use of the power grid, transfer of reactive power in the grid should be kept to a minimum. The Finnish national grid company Fingrid Oyj, monitors and controls its clients use of reactive power with a monitoring model for reactive power usage. Fingrid Oyj is renewing its model for monitoring the usage of reactive power in 2012.</p> <p>This thesis is about the new model for monitoring the usage of reactive power. In this thesis the theory of reactive power is introduced. The production and consumption of reactive power is also explained. The thesis also deals with the effects of reactive power transfer on the main power grid.</p> <p>How new reactive power monitoring-areas should be defined, is studied in the thesis. The effects that the renewal has, from Fingrid's clients point of view, is also studied.</p> <p>The study of how new areas should be composed shows that the size of the area has a direct effect on how much energy losses is generated from transfer of reactive power. If the monitoring-area is large the distance that reactive power may be transferred is also great. The greater the distance that reactive power is transferred the grater the losses.</p> <p>The study of the effects of the renewal from Fingrid's client's point of view shows that the clients will benefit from the renewal of the monitoring model. Because of the renewal, clients will have the opportunity to use reactive power more freely.</p>	
Keywords:	main power grid, reactive power, reactive power transfer limit, monitoring of reactive power, transfer losses, Fingrid Oyj
Number of pages:	49
Language:	Finnish
Date of acceptance:	16.12.2011

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Fingrid oyj</b>	<b>12</b>
2.1	Kantaverkko	13
2.2	Energiaselvitys	15
2.2.1	<i>Energiamittaus</i>	15
<b>3</b>	<b>Loissähkön teoria</b>	<b>17</b>
3.1	Yleistä	17
3.1.1	<i>Loissähkön synty</i>	18
3.1.2	<i>Induktiivinen ja kapasitiivinen loisteho</i>	19
3.2	Loisteho kantaverkon kannalta	21
3.2.1	<i>Voimajohtojen tuottama ja kuluttama loisteho</i>	21
3.2.2	<i>Loistehon tuotanto ja kulutus kantaverkossa</i>	24
3.2.3	<i>Siirtohäviöt</i>	24
3.2.4	<i>Jännitteensäätö</i>	25
3.2.5	<i>Loistehoreservi</i>	26
3.2.6	<i>Loistehon otto ja anto kantaverkosta</i>	27
<b>4</b>	<b>Loissähkön toimitus ja seuranta</b>	<b>27</b>
4.1	Loissähköikkuna ja $Q_S$ -rajat	29
4.2	P/Q - diagrammi	30
4.3	Loissähkön raportointi LTJ-ekstranetissä	31
<b>5</b>	<b>Loissähköseurannan uudistus</b>	<b>32</b>
5.1	Vanha seurantamalli	33
5.2	Uusi seurantamalli	34
5.2.1	<i>Muutokset <math>Q_S</math> -rajojen laskentaperiaatteisiin</i>	36
<b>6</b>	<b>Loissähkön seuranta-alueiden määrittely</b>	<b>37</b>
6.1	Seuranta-alueiden suunnittelussa huomioitavaa	37
6.2	Tutkimus loissiirron aiheuttamista kuluista	38
6.2.1	<i>Tutkimusmenetelmä</i>	38
6.2.2	<i>Tutkimustulokset</i>	40
6.3	Uudet loisseuranta-alueet	40
<b>7</b>	<b>Tutkimus loissähkön seuranta-alueesta</b>	<b>41</b>
7.1	P/Q-diagrammien tarkastelu	42
7.1.1	<i>Seuranta-alueen P/Q-diagrammin tarkastelu</i>	42

7.1.2	<i>Asiakas A:n P/Q-diagrammin tarkastelu</i> .....	43
7.1.3	<i>Asiakas B:n P/Q-diagrammin tarkastelu</i> .....	44
7.1.4	<i>Asiakas C:n P/Q-diagrammin tarkastelu</i> .....	45
7.1.5	<i>Asiakas D:n P/Q-diagrammin tarkastelu</i> .....	45
7.1.6	<i>Asiakas E:n P/Q-diagrammin tarkastelu</i> .....	46
7.2	Päätelmät .....	47
<b>8</b>	<b>Yhteenveto ja johtopäätökset</b> .....	<b>48</b>
	<b>lähdeluettelo</b> .....	<b>50</b>

## Kuvaluettelo

Kuva 1. Fingridin perustehtävät, arvot ja visio .....	12
Kuva 2. Suomen Kantaverkko. /4/.....	14
Kuva 3. Mittaus ja tiedonsiirtoketju. /7/ .....	16
Kuva 4. Tehokolmio /11/ .....	17
Kuva 5. Virran ja jännitteen vaihe ero /12/ .....	18
Kuva 6. Induktiivinen loisteho .....	19
Kuva 7. Kapasitiivinen loisteho.....	20
Kuva 8. Virta ja jännite samassa vaiheessa.....	20
Kuva 9. Kolmivaihejohdon yksivaiheinen $\pi$ -kytkentä /10/.....	22
Kuva 10. Loissähköikkuna /19/ .....	28
Kuva 11. P/Q-diagrammi. /23/ .....	30
Kuva 12. Toimituspisteryhmä .....	33
Kuva 13. Loisseuranta-alue.....	34
Kuva 14. Esimerkki seuranta-alueen P/Q-diagrammista .....	35
Kuva 15. Esimerkki liittymispistekohtaisesta P/Q-diagrammista. ....	35
Kuva 16. Malliesimerkki loissähkösiirtoalueesta .....	39
Kuva 17. Malliesimerkinä käytetty seuranta-alue .....	41
Kuva 18. Seuranta-alueen P/Q-diagrammi.....	43
Kuva 19. Asiakas A:n P/Q-diagrammi .....	44
Kuva 20. Asiakas C:n P/Q-diagrammi.....	45
Kuva 21. Asiakas D:n P/Q-diagrammi .....	46
Kuva 22. Asiakas E:n P/Q-diagrammi.....	46

## Taulukot

Taulukko 1 /10/.....	23
----------------------	----

## Käytetyt lyhenteet ja merkinnät

EDIEL	lyhenne Electronic Data Interchange, ELectricity + sähkö- alan sanoma- ja tiedonvaihtoprotokolla
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
kv-asiakas	kantaverkkoasiakas
LTJ	laskutusmittaus- ja taseselvitysjärjestelmä
$\cos \varphi$	tehokerroin
I	virta
P	pätöteho
$P_1$	johdon luonnollinen teho
$P_h$	pätötehohäviö
$P_{h,lois}$	loissiirron aiheuttama pättötehohäviö
Q	loisteho
$Q_c$	varausloisteho
$Q_h$	johdon kuluttama loisteho
$Q_s$ -arvo	loissähköikkunan raja-arvo
R	resistanssi
S	näennäisteho
$S_N$	suurin generaattori
$\tan \varphi$	lois- ja pättötehon suhde
$t_k$	huipunkäyttöaika



U	jännite
$W_{\text{Otto}}$	ottoenergia
$W_{\text{Tuot}}$	nettotuotantoenergia
$\varphi$	vaihekulma
MWh	megawattitunti, pätöenergiamäärän yksikkö
MVarh	megavaritunti, loisenergiamäärän yksikkö
MVar	megavari, loistehon yksikkö
MW	megawatti, pätötehon yksikkö

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty Fingrid Oyj:lle. Opinnäytetyöni aiheen valitsin työpaikkani Fingrid Oyj:n kautta, jossa olen työskennellyt kesätyöntekijänä ja jossa olen suorittanut myös insinöörikoulutukseni liittyvät harjoittelut.

Tahdon antaa suuret kiitokset työn ohjaajille DI Kaija Niskalalle sekä DI Esa Pietariselle hyvästä ohjauksesta ja tuesta työn aikana. Haluan Kiittää myös työni valvojana ja tarkastajana toimineelle DI Kim Ranckenia kommentteista ja neuvoista.

Helsinki 20.12.2011

---

Martin Storbjörk

# 1 JOHDANTO

Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj vastaa kantaverkon käytön suunnittelusta ja valvonnasta, verkon ylläpidosta ja kehittämisestä sekä sähkömarkkinoiden edistämisestä. Yhtiö seuraa muun muassa kantaverkossa kulkevan sähköenergian, pätö- ja loissähkön määrää. Loissähkön siirrolla on suora vaikutus kantaverkon jännitteeseen ja häviöihin. Kantaverkon tehokkaan ja taloudellisen käytön varmistamiseksi sekä häviöiden minimoimiseksi Fingrid pyrkii ohjaamaan sopimuksellisesti asiakkaidensa loissähkön ottoa kantaverkosta ja syöttöä kantaverkkoon. Jos asiakas pysyy heille annettujen rajojen eli loissähköikkunan sisäpuolella, asiakasta ei laskuteta loissähkön käytöstä. Loissähköikkunan rajat on määritelty Fingridin ja kantaverkkoon liitetyn asiakkaan välisessä loissähkösopimuksessa.

Kantaverkkopalvelun nykyinen sopimuskausi on päättymässä (12/2011) ja uuden sopimuskauden myötä erillisiä loissähkösopimuksia ei enää tehdä vaan loissähkön käytön seuranta tulee osaksi kantaverkkosopimusta. Sopimuksien uudistumisen myötä myös loissähköseuranta uudistuu.

Tähän asti kantaverkkoasiakkaiden loissähkön käyttöä on seurattu asiakkaan liittymispisteiden muodostamissa ryhmissä. Uuden sopimuskauden alkaessa loissähkön käyttöä seurataan ensisijaisesti alueellisesti, mutta seuranta-alueelle määritettyjen loissähköikkunoiden rajojen ylittyessä loissähkön käyttöä seurataan myös asiakkaittain liittymispistekohtaisesti. Uudet seuranta-alueet koostuvat yhden tai useamman asiakkaan liittymispisteistä, mutta laskutus perustuu asiakkaan liittymispistekohtaiseen loissähkön käyttöön.

Tämän insinööriyön tarkoitus on tutkia, millä periaatteilla asiakkaiden liittymispisteistä tulisi muodostaa seuranta-alueita ja tutkia minkälaisia vaikutuksia uudella loissähkön seurantamallilla on Fingridin asiakkaiden kannalta. Työssä käsitellään myös loissähkön käytön rajojen laskentaa. Insinööriyössä aihetta tarkastellaan etupäässä asiakkaitten näkökulmasta.

## 2 FINGRID OYJ

Vuonna 1996 perustettiin yhtiö nimeltä Suomen Kantaverkko Oy. Yhtiön perustivat Imatran Voima Oy, Pohjolan Voima Oy sekä Suomen valtio. Yhtiön toimintaa pohjautuu sähkömarkkinalakiin jonka tarkoituksena on varmistaa edellytykset tehokkaasti toimiville sähkömarkkinoille. Yhtiön nimi muutettiin Fingrid Oy:ksi vuonna 1999. /2/

Fingrid Oy omistaa Suomen kantaverkon sekä kaikki merkittävät ulkomaanyhteydet Suomesta muihin Pohjoismaihin sekä Venäjälle. Yhtiö omistaa myös yli 100 sähköasemaa. Fingridin vastuulla ovat kantaverkon käytön suunnittelu ja valvonta sekä verkon ylläpito ja kehittäminen. Yhtiön perustehtäviä ovat voimajärjestelmän kehittäminen, sähkön toimintavarma siirto sekä sähkömarkkinoiden edistäminen. /1/

Fingridin asiakkaina ovat sähköntuottajia, sähkömarkkinatoimijoita, suurteollisuusyrityksiä sekä alue- ja jakeluverkonhaltioita. Yhtiön liikevaihto vuonna 2010 oli 456.3 milj. euroa. Tällä hetkellä (2011) Fingridin omistajia ovat Suomen valtio 53,1 %, Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen 19,9 %, Keskinäinen työeläkevakuutusyhtiö Varma 12,2 % ja muut institutionaaliset sijoittajat n. 15 %. /1/

Yhtiön arvot - avoimuus, tasapuolisuus, tehokkuus ja vastuullisuus - ovat Fingridissä yhtiön toiminnan ja työnteon perusta. Fingridin tavoitteena on olla kantaverkkotoiminnan esikuva ja yhtiö onkin kansainvälisissä kantaverkkoyhtiöiden vertailussa parhaimpien joukossa /3/. Kuvassa 1 on esitetty Fingridin perustehtävä, arvot ja visio.



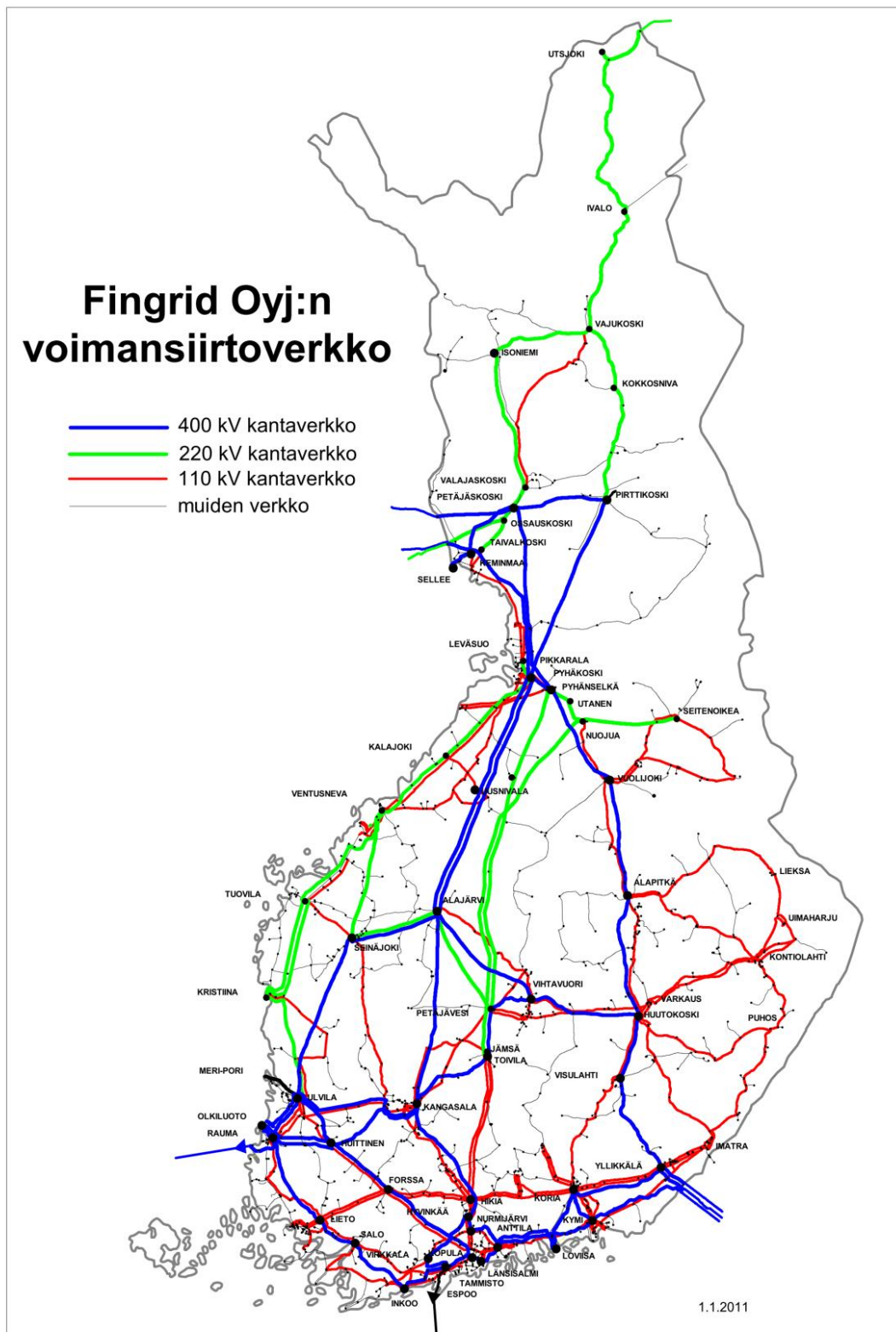
Kuva 1. Fingridin perustehtävät, arvot ja visio

## 2.1 Kantaverkko

Fingridin omistama kantaverkko (Kuva 2) on koko maan kattava suurjänniteverkko jonka kautta kulkee noin 75 prosenttia kaikesta Suomessa käytetystä sähköstä. Kantaverkkoon kuuluu noin 14000 kilometriä voimajohtoja. Fingrid rakentaa vuoteen 2020 mennessä lisäksi vielä lähes 3000 kilometriä uusia voimajohtoja. Kantaverkkoon kuuluvat myös valtion rajat ylittävät kantaverkkoyhtiöiden väliset yhteydet sekä yli sata sähköasemaa. /4/

Kantaverkkoon kuuluu noin 4100 km 400 kV:n, 2350 km 220 kV:n ja 7500 km 110 kV:n voimajohtoja. Fingrid omistaa noin puolet kaikista suomen 110 kV:n voimajohtoista, muut 110 kV:n voimajohtot kuuluvat alueverkkoihin. Voimajohtojen jännitteen suuruus riippuu siirrettävästä tehosta ja etäisyydestä; mitä suurempi teho ja pidempi etäisyys sitä korkeampi jännitetaso. Voimajohtot ovat rakennettu pääasiassa ilmaeristeisenä, eli voimajohtot ovat avojohtoja. /4/

Kantaverkkoa valvotaan ja ohjataan Fingridin valvomoista käytönvalvontajärjestelmän avulla. Järjestelmä välittää kantaverkosta mittaus-, tila- ja tapahtumatietoja Fingridin valvomoihin. Käytönvalvontajärjestelmän avulla voidaan myös kaukokäyttöisesti ohjata esimerkiksi jännitteensäätöön liittyviä laitteita.



Kuva 2. Suomen Kantaverkko. /4/

## 2.2 Energiaselvitys

Energiaselvitys on Fingridin Verkkopalvelu-toimintoon kuuluva yksikkö. Energiaselvityksikön tehtävät ovat energiamittausten hallinta, laskutustietojärjestelmän hallinta, häviölaskenta sekä kantaverkko- ja rajasiirtopalveluiden laskutus. Energiamittausten hallintaan kuuluu muun muassa energiamittareiden hankinta ja kunnossapito sekä mitaustietojen keruu laskutusmittaus- ja taseselvitysjärjestelmään (LTJ). Tietojärjestelmän hallintaan kuuluu tietokannan sopimustietojen, energiamittausten sekä laskentojen ja laskutustietojen ajan tasalla pitäminen. Häviölaskennalla tarkoitetaan kantaverkon sähkönsiirrossa syntyvien häviöiden laskenta. Kantaverkkolaskutus perustuu kantaverkkoasiakkaiden sähkön kulutukseen sekä sähkön siirtoon, joka määritetään erikseen kantaverkosta otolle ja kantaverkkoon annolle. /5 s.5/

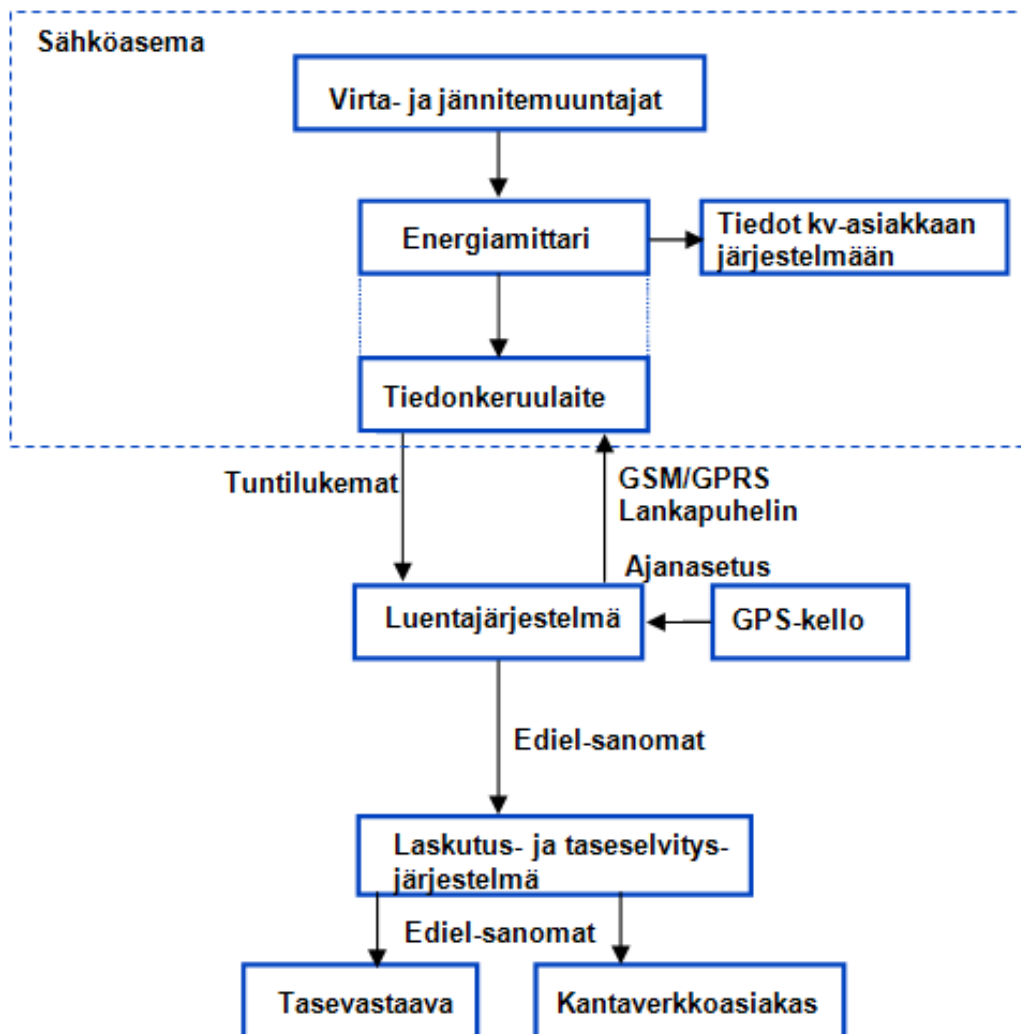
### 2.2.1 Energiamittaus

Fingrid on sähkömarkkinalain edellyttämänä vastuussa sähköenergiamittausten järjestämisestä, mittaustietojen keruusta ja tietojen välityksestä eri osapuolille. Energiamittaukset järjestetään kantaverkkoon liittyvän alue- tai jakeluverkon rajakohtaan, mikäli se on teknisesti mahdollista. Energiamittareilla seurataan kantaverkossa siirrettävän sähkön määrää eli miten paljon sähköä kantaverkkoon syötetään ja miten paljon sähköä siirretään kuluttajille. Mittareilla mitataan sekä pätöenergiaa että loisenergiaa, uusimmilla mittareilla pystytään myös mittaamaan sähkön laatua. Fingridin energiamittauksia on noin 1200 kpl ja ne sijaitsevat n. 520 sähköasemalla. Vuoteen 2013 mennessä Fingrid uusii kaikki vanhat energiamittarit joilla ei ole sisäänrakennettua tiedonkeruulaitetta. Energiamittauksia tehdään sähköenergian seuranta varten, laskutusta varten sekä sähkönsiirrosta johtuvien häviöiden laskentaa varten. Fingrid on verkonhaltijana mittausvastuussa kantaverkon mittausten osalta ja mittaustietoja toimitetaan myös sähkömarkkinaosapuolille, jotka ovat näihin tietoihin oikeutettuja. /6/

## Mittaustietojen keruu

Energiamittareista saatu mittaustieto kerätään kerran vuorokaudessa. Mittaustieto käsitellään tuntikeskitietona ja tiedot etäluetetaan joko GSM/GPRS- tai lankapuhelinyhteyden avulla. Mittaustiedot kerätään luentajärjestelmän tietokantaan. Luentajärjestelmästä mittaustiedot lähetetään Ediel-sanomina laskutus- ja taseselvitysjärjestelmään (LTJ) jatkokäsittelyä varten. LTJ:stä mittaustiedot lähetetään edelleen tietoihin oikeutetuille tasevastaaville ja kantaverkkoasiakkaille. Mittaus- ja tiedonsiirtoketju on esitetty kuvassa 3.

/7/



Kuva 3. Mittaus ja tiedonsiirtoketju. /7/

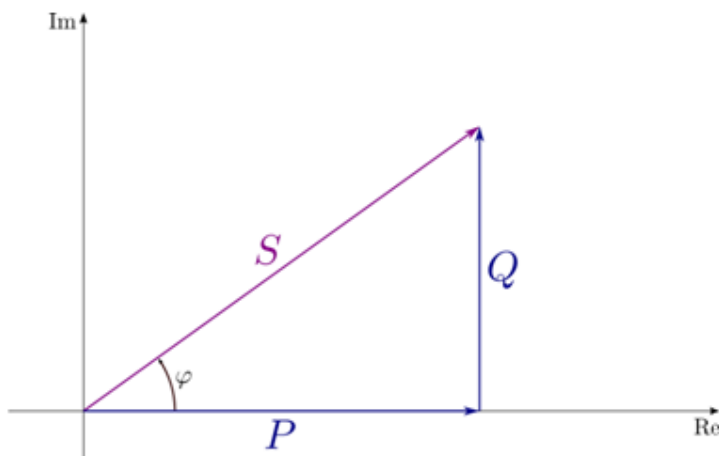


### 3 LOISSÄHKÖN TEORIA

#### 3.1 Yleistä

Sähköverkoissa ja johdoissa siirretään tehoa kahdessa eri muodoissa: pätö- ja loistehona. Pätö ja loisteho muodostavat yhdessä näennäistehon (kaava 1.1). Pätöteho on se toivottu teho jota voidaan käyttää työn tekemiseen, kuten esimerkiksi lämpöpatterin lämmittämiseen tai sähkömoottorin pyörittämiseen. Loisteho sen sijaan ei ole työtä tekevää tehoa mutta loisteho on kuitenkin välttämätön monien laitteiden kuten sähkömoottorien ja muuntajien toiminnan kannalta. Esimerkiksi oikosulkumoottorit käyttävät loistehoa moottorin magnetoimiseen. /8/

Näennäistehon, pätötehon ja loistehon suhdetta toisiinsa voidaan kuvata kompleksitasossa tehokolmiolla joka on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Tehokolmio /11/

Kuvasta näkee että pätöteho (P) ja loisteho (Q) ovat toisiinsa nähden  $90^\circ$  kulmassa ja näennäisteho (S) muodostuu tehokolmion hypotenuusasta. Loistehon suuruus riippuu vaihekulmasta ( $\varphi$ ).

Pätötehon tunnus on  $P$  ja yksikkö watti [W]. Loistehon tunnus on  $Q$  ja yksikkö vari [var]. Näennäistehon tunnus on  $S$  ja yksikkö voltiampeeri [VA]. Vaihekulman tunnus on kreikkalainen kirjain  $\varphi$  (phi). /9 s.27/

Pätö ja loisteho muodostavat yhdessä näennäistehon jota voidaan laskea kaavalla:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1.1)$$

Pätötehon suhdetta näennäistehoon kutsutaan tehokerroimeksi. Tehokerroin voidaan laskea kaavalla:

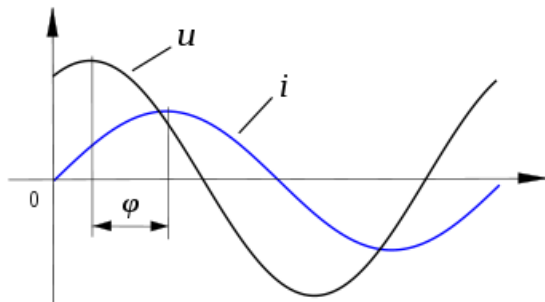
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1.2)$$

Vastaavasti loistehon suhdetta näennäistehoon kutsutaan loistehokerroimeksi:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (1.3)$$

### 3.1.1 Loissähkön synty

Vaihtosähköverkoissa jännitteen ja virran välinen vaihekulma vaihtelevat aiheuttaen ilmiön nimeltä loissähkö. Loissähköä syntyy kun vaihtovirtajärjestelmään on kytketty kuorma jonka reaktanssi poikkeaa nolasta, eli komponentti jossa on kapasitanssia tai induktanssia. Kapasitiivinen tai induktiivinen komponentti varastoi osan energiasta joko magneettikenttään (induktanssi) tai sähkökenttään (kapasitanssi) aiheuttaen vaihekulman jännitteen ja virran välille ja synnyttäen samalla loissähköä. Vaihekulmalla tarkoitetaan virran ja jännitteen keskinäistä vaihe eroa (kuva 5). /10/



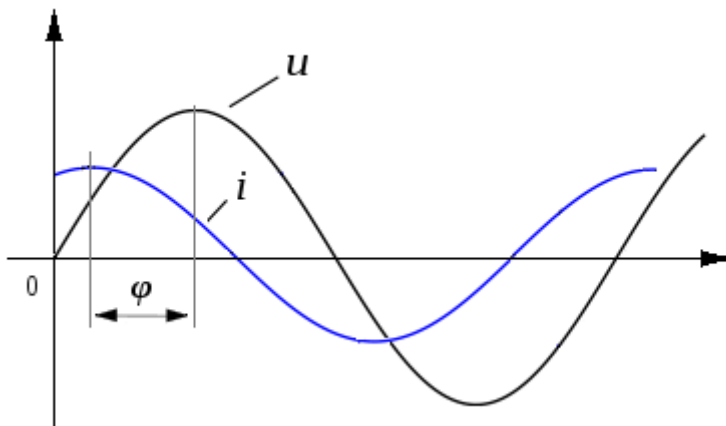
Kuva 5. Virran ja jännitteen vaihe ero /12/

Kuvassa 5. näkyy kuinka virta ( $i$ ) kulkee jännitteen ( $u$ ) jäljessä aiheuttaen vaihekulman ( $\varphi$ ) virran ja jännitteen välille. Vaihekulma vaihtelee kuorman tyypistä ja koosta riippuen.

### 3.1.2 Induktiivinen ja kapasitiivinen loisteho

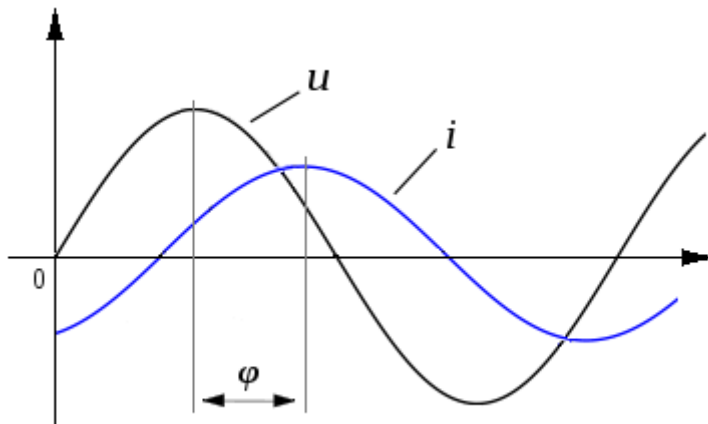
Induktiivisella loisteholla tarkoitetaan induktiivisesta kuormasta (esim. sähkömoottorista) johtuvaa loistehoa. Kapasitiivisella loisteholla tarkoitetaan taas kapasitiivisesta kuormasta (esim. kondensaattorista) johtuvaa loistehoa. Induktiivinen ja kapasitiivinen loisteho kumoavat tai toisin sanoin kompensoivat toisiaan.

Induktiivinen kuorma varastoi osan sen käyttämästä energiasta magneettikenttään. Tämän takia virran ja jännitteen välille syntyy viive. Eli virran ja jännitteen välille on syntynyt vaihekulma. Induktiivisessa loistehossa virta kulkee hieman jännitteen jäljessä  $1/11$ . Kuvassa 6. näkyy kuinka virta ( $i$ ) kulkee jännitteen ( $u$ ) perässä aiheuttaen induktiivista loistehoa.



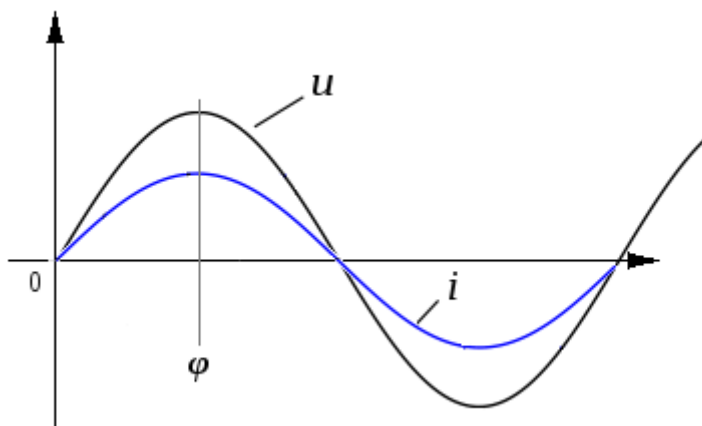
Kuva 6. Induktiivinen loisteho

Kapasitiivinen kuorma varastoi osan energiasta sähkökenttään synnyttäen vaihekulman virran ja jännitteen välille. Kapasitiivisella kuormalla on vaihekulmaan päinvastainen vaikutus kuin induktiivisella kuormalla, eli kapasitiivisessa loistehossa jännite kulkee virtaa hieman jäljessä /11/. Kuvassa 7. näkyy kuinka jännite ( $u$ ) kulkee virran ( $i$ ) perässä aiheuttaen kapasitiivista loistehoa.



Kuva 7. Kapasitiivinen loisteho

Jos induktiivisen kuorman (esim. sähkömoottorin) rinnalle kytketään kapasitiivinen kuorma (esim. kondensaattori) nämä kompensoivat toisiaan, eli kun induktiivinen kuorma siirtää vaihekulman yhteen suuntaan kapasitiivinen kuorma (kondensaattori) siirtää vaihekulman takaisin vastakkaiseen suuntaan. Kuvassa 8. näkyy miten sekä jännite että virta kulkevat samassa vaiheessa joten virran ja jännitteen välillä ei ole vaihekulmaa mikä tarkoittaa että loistehoa ei tuoteta eikä kuluteta.



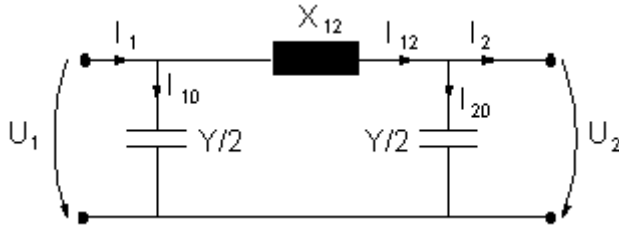
Kuva 8. Virta ja jännite samassa vaiheessa.

## **3.2 Loisteho kantaverkon kannalta**

Teho jota kantaverkossa siirretään, koostuu sekä pätö- että loistehosta. Muutokset pätötehon siirrossa näkyvät taajuuden heilahteluina. Muutokset loistehon siirrossa näkyvät puolestaan jännitevaihteluina. Sähköverkon stabiilisuuden kannalta voimajärjestelmän tehotasapainon ylläpitäminen on äärimmäisen tärkeää. Loistehon tarve kantaverkossa vaihtelee voimakkaasti vaikuttaen suoraan jännitetasoon ja jotta jännite pystytään pitämään halutulla tasolla, on suoritettava säätötoimenpiteitä. Tuottamalla loistehoa siirtojännitettä voidaan nostaa ja kuluttamalla loistehoa siirtojännitettä voidaan laskea. Mutta koska loisteho ja jännite ovat paikallisia suureita, loistehon tuotolla ja kulutuksella on pelkästään vaikutus siellä missä loistehon tuotanto tai kulutus tapahtuu /16 s.12/. Loistehon siirtoon kantaverkossa liittyy useita kustannusvaikutuksia. Loistehon siirto vähentää johtojen siirtokykyä sekä lisää johtojen ja muuntajien jännite- ja energiahäviöitä. Loistehon siirto johtaa myös verkon vahvistus- tai uusinvestointeihin kantaverkon siirtokapasiteetin varmistamiseksi /15/. Siirtoverkossa pyritäänkin siirtämään loistehoa mahdollisimman vähän. Kuormien ja siirron kuluttama loisteho on siis tuotettava mahdollisimman lähellä kulutusta. /17 s.10/

### **3.2.1 Voimajohtojen tuottama ja kuluttama loisteho**

Suurjänniteverkossa voimajohdot sekä tuottavat että kuluttavat loistehoa. Voimajohtojen tuottama loisteho kutsutaan varausloistehoksi. Voimajohdot tuottavat loistehoa käydessään aliluonnollisella teholla ja kuluttavat loistehoa käydessään ylliluonnollisella teholla. Voimajohtoja sanotaan käyvän aliluonnollisella teholla kun johtojen maakaapasitanssi tuottaa enemmän loistehoa kun johtojen induktiivinen reaktanssi kuluttaa. Vastaavasti voimajohdot käyvät ylliluonnollisella teholla kun johtojen induktiivinen reaktanssi kuluttaa enemmän loistehoa kun johtojen maakaapasitanssi tuottaa. Voimajohtojen käydessä luonnollisella teholla johtojen loistehon tuotanto ja kulutus kumoavat toisensa. Luonnollinen teho voidaan laskea kaavalla 2.5. /17 s.11-12/



Kuva 9. Kolmivaihejohdon yksivaiheinen  $\pi$ -kytkentä /10/.

Kuvan 9  $\pi$ -kytkentäiselle johdolle voidaan laskea sen tuottama ja kuluttama loisteho: /10/

Yksittäiselle johdolle on sen päistä syötettävä loistehot  $Q_1$  ja  $Q_2$ .

$$Q_1 = \frac{U_1^2}{X_{12}} - \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \cos \delta \quad (2.1)$$

$$Q_2 = \frac{U_2^2}{X_{12}} - \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \cos \delta \quad (2.2)$$

missä  $U_1$  on johdon alkupään jännite,  $U_2$  johdon loppupään jännite,  $X_{12}$  johdon reaktanssi ja  $\delta$  jännitteiden välinen kulmaero.

Johdon maakapasitanssin tuottama ns. varausloisteho  $Q_c$  voidaan laskea kaavalla:

$$Q_c = Q_{c1} + Q_{c2} = \frac{1}{2} Y(U_1^2 + U_2^2) \quad (2.3)$$

missä  $Y$  on johdon admittanssi.

Jos jännitteet johdon päissä ovat yhtä suuret, johdon kuluttama loisteho  $Q_h$  voidaan laskea kaavalla:

$$Q_h = 2 \frac{U^2}{X_{12}} (1 - \cos \delta) - YU^2 \quad (2.4)$$

Johtojen luonnollinen teho voidaan laskea kaavalla:

$$P_1 = \frac{U^2}{\sqrt{\frac{X}{Y}}} \quad (2.5)$$

missä U on johdon jännite, X johdon reaktanssi ja Y johdon admitanssi

Kuormitetussa johdossa loistehon tuottoa ei kovin helposti huomata mutta voidaan sanoa että siitä on enemmän hyötyä kuin haittaa koska jännitettä nostava vaikutus kompensoi loisteho- ja jännitehäviötä. Tyhjäkäyvässä ja säteittäisessä johdossa loistehoa on kuitenkin kulutettava, ettei jännite nousisi yli suurimman sallitun käyttöjännitteen. /17 s.12-13/

Taulukossa 1. on esitetty esimerkkejä eri voimajohtojen loistehon tuotannosta ja luonnollisesta tehosta. Miten paljon loistehoa voimajohdot tuottavat riippuu muun muassa voimajohtojen jännitteestä, rakenteesta, johdintyypistä sekä pituudesta. /10/

Taulukko 1 /10/

Jännite ja johdin	Loistehon tuotanto (Mvar/100 km)	Luonnollinen teho (MW)
400 kV 3-Finch	66	600
400 kV 2-Finch	57	525
220 kV 2-Hawk	19	170
220 kV Condor	14	121
110 kV 2-Duck	5	43
110 kV Duck	3	32
110 kV Hawk	3	32

Silmukoitua verkkoa on käytännössä mahdotonta käyttää siten että kaikki johdot olisivat luonnollisella teholla koko ajan muun muassa kuormituksen vaihtelun takia. /10/

### 3.2.2 Loistehon tuotanto ja kulutus kantaverkossa

Suomen kantaverkossa loistehoa tuotetaan pääasiassa generaattoreilla sekä verkkoon kytkettävillä rinnakkaiskondensaattoriparistoilla. Lisäksi voimajohdot tuottavat itse loistehoa toimiessaan aliluonnollisella teholla. Monet kantaverkkoon kytketyt laitteet kuluttavat loistehoa. Loistehoa voidaan kuluttaa esimerkiksi reaktoreilla tai alimagnetoimalla tahtigeneraattoreita. Voimajohdot kuluttavat loissähköä myös itse toimiessaan yliluonnollisella teholla. Loistehon tuotanto ja kulutus vaikuttaa kantaverkon jännitteeseen. Jos loistehoa tuotetaan enemmän kuin sitä kulutetaan, jännite nousee ja vastaavasti jos loistehoa kulutetaan enemmän kuin sitä tuotetaan, jännite laskee /17 s.10/.

### 3.2.3 Siirtohäviöt

Sähköä siirrettäessä syntyy aina häviöitä muun muassa johtojen resistanssista ja reaktanssista johtuen. Häviöt voidaan jakaa jännitehäviöihin, pätötehohäviöihin sekä loistehohäviöihin. Voimajohdon jännitteenalenema ( $U_h$ ) voidaan laskea kaavalla 3.1. /13 s.8/

$$U_h = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (3.1)$$

missä  $I$  on johdolla kulkeva virta,  $R$  on johdon resistanssi,  $X$  on johdon reaktanssi ja  $\varphi$  on virran ja jännitteen välinen vaihekulma.

Johtojen resistansseista johtuvaan jännitehäviöön ei juurikaan voida vaikuttaa. Sen sijaan loissiiirrosta johtuvaan jännitehäviöön voidaan vaikuttaa suoraan vähentämällä johdolla siirrettävän loissähkön määrää. /13 s.8/

Verkon tehokkaan käytön kannalta jännitehäviötä merkittävämpi seikka on pätö- ja loisvirtojen aiheuttamilla pätötehohäviöillä. Pätötehohäviöt ovat suoraan pois sähkön-siirtoverkossa siirrettävästä pätötehosta. Pätötehohäviöitä ( $P_h$ ) voidaan laskea kaavalla 3.2. /13 s.9/



$$P_h = \left( \frac{P^2}{U^2} + \frac{Q^2}{U^2} \right) R \quad (3.2)$$

missä P on johdolla siirtyvä pätöteho, Q on johdolla siirtyvä loisteho, U on voimajohdon jännite ja R on johdon resistanssi.

Pätötehohäviöitä voidaan vähentää välttämällä loistehon siirtoa verkossa. Loistehon siirron vähentämisellä on merkittävä vaikutus pätötehohäviöihin koska loissiirron pienentäminen vähentää häviöitä neliöllisesti. Tämä on yksi syy, miksi loistehon siirto tulisi välttää. Jännitteen vaikutus on myös neliöllinen joten pitämällä jännitettä mahdollisimman korkeana, vähennetään myös pätötehohäviötä. /13 s.9/

Voimajohtojen reaktanssissa syntyy myös loistehohäviöitä joita voidaan pienentää vähentämällä loistehon siirtoa ja nostamalla jännitettä. Johdolla syntyvät loistehohäviöt ( $Q_h$ ) voidaan laskea kaavalla 3.3. /13 s.9-10/

$$Q_h = \left( \frac{P^2}{U^2} + \frac{Q^2}{U^2} \right) X \quad (3.3)$$

missä P on johdolla siirtyvä pätöteho, Q on johdolla siirtyvä loisteho, U on voimajohdon jännite ja X on johdon reaktanssi.

Jännitesäädöllä ja loistehon ohjauksella on suuri vaikutus pätö- ja loistehohäviöihin. /13/

### 3.2.4 Jännitteensäätö

Jännitteen ja loistehon säädön avulla pidetään jännitteet kaikissa käyttötilanteissa sallituilla alueillaan. Jännitteensäädöllä pyritään torjumaan yli- ja alajännitteitä, ylläpitämään kantaverkon käyttövarmuutta ja ehkäisemään häiriöitä verkossa. Jännitteensäädöllä varmistetaan myös että sähkö on hyvälaatuinen. Säätämällä jännitettä voidaan myös parantaa taloudellisuutta pienentämällä häviöitä.

Jännitetasoa ylläpidetään huolehtimalla loistehotasapainosta. Jos loistehoa tuotetaan enemmän kuin sitä kulutetaan, jännite nousee. Vastaavasti jos loistehoa kulutetaan enemmän kuin sitä tuotetaan, jännite laskee. Niinpä jännitteet pidetään sallituissa rajoissa loistehon tuotantoa ja kulutusta ohjaamalla. /18/

Jännitteen sallitut vaihtelualueet ovat /18/ :

- 400 kV verkko: 380...420 kV
- 220 kV verkko: 215...245 kV
- 110 kV verkko: 105...123 kV

Jos jännite laskee tai nousee yli sallittujen raja-arvojen, käynnistetään toimenpiteitä jännitteen palauttamiseksi normaalialueelle. Jännitteensäätö suoritetaan tavallisesti rinnakkaisreaktoreilla ja -kondensaattoreilla, tahtigeneraattoreilla sekä muuntajien käämikytkimillä. Johtojen tuottama loisteho ja siitä johtuva jännitteen nousu kompensoidaan reaktoreilla. Vastaavasti johtojen kuluttama loisteho ja siitä johtuva jännitteen lasku kompensoidaan kondensaattoreilla. Verkon siirtokyvyn parantamiseen käytetään sarjakondensaattoreita. Eri jänniteportaiden välistä suhdetta ohjataan muuntajien käämi- ja väliottokytkimillä. Hitaiden loistehotasapainon muutoksien aiheuttamia jännitetason vaihteluita säädetään reaktoreilla ja kondensaattoreilla. Tahtigeneraattoreita käytetään nopeisiin jännitemuutoksien kompensoimiseen tuottamalla nopeasti loistehoa ja palauttamalla verkon loistehotasapainon. Tahtigeneraattoreita käytetään myös loistehoreservinä erilaisten häiriötilanteiden varalle juuri siksi että niiden jännitteensäätö on erittäin nopeaa. /18/

### **3.2.5 Loistehoreservi**

Loistehoreserviä tarvitaan kun sähköverkossa tapahtuu häiriö. Loistehoreservit auttavat palauttamaan verkon tilan häiriön jälkeen normaaliksi. Loistehoreservit sijaitsevat pyörivissä generaattoreissa, myös reaktorit ja kondensaattorit toimivat reservinä. Kantaverkkoon liittyneet nimellisteholtaan yli 10 MVA generaattorit ovat velvollisia ylläpitämään loistehoreserviä. Kantaverkon 400 kV:n verkkoon kytkettyjen generaattoreiden loistehokapasiteetti varataan kokonaan häiriöreserviksi, lukuun ottamatta kyseisen gene-

raattorimuuntajan sekä voimalaitoksen omakäytön kuluttamaa loissähköä. 220 kV:n ja 110 kV:n verkkoon liittyneistä generaattoreista varataan puolet loistehokapasiteetista häiriöreserveiksi. Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj vastaa loistehoreservien hankinnasta ja riittävydestä. Loistehoreservien ylläpito on tulevilla sopimusjaksolla osa kantaverkkosopimusta. /19/

### **3.2.6 Loistehon otto ja anto kantaverkosta**

Fingrid velvoittaa kantaverkkoonsa liittyneitä asiakkaitaan huolehtimaan alueensa loistehon tarpeesta. Kantaverkkoon liittyneet asiakkaat voivat ottaa tarvitsemansa loistehoa kantaverkosta tai hankkia loistehoa paikalliselta sähköntuottajalta tai tuottaa tarvitsemansa loisteho kompensoinnilla. Loistehon siirrosta johtuvan häviön takia onkin yleensä kokonaistaloudellisesti edullisinta tuottaa kulutuslaitteiden tarvitsema loisteho mahdollisimman lähellä kulutusta. /14/

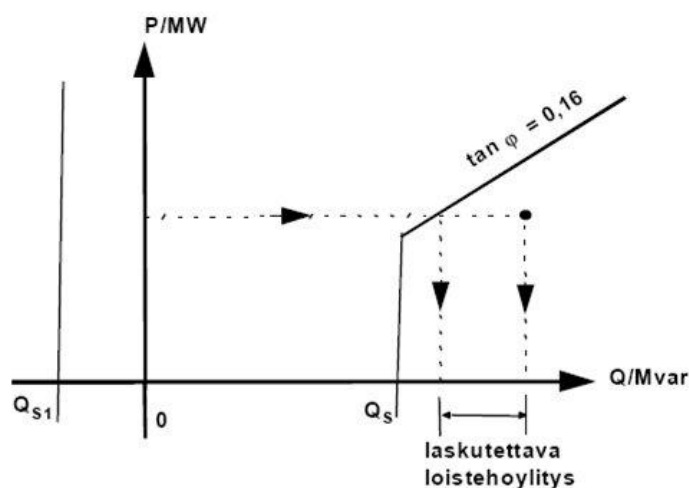
Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj pyrkii loissähköseurannan avulla ohjaamaan asiakkaitaan kompensoimaan loistehoa keski- ja pienjänniteverkossa ja vähentämään loistehon ottoa kantaverkosta. Nykyisen loissähkösopimuksen mukaan Fingridillä on oikeus laskuttaa asiakkaitaan liiallisesta loissähkön käytöstä. Fingridin ja kantaverkkoon liitetyn asiakkaan välisellä loissähkösopimuksessa määritellään ehdot, joilla Fingrid toimittaa ja vastaanottaa loissähköä asiakkaiden liittymispisteissä /10/. Vuoden 2012 alusta erillisiä loissähkösopimuksia ei enää tehdä vaan loissähkön käytön seuranta tulee osaksi kantaverkkosopimusta.

## **4 LOISSÄHKÖN TOIMITUS JA SEURANTA**

Fingrid seuraa energiamittausten avulla kantaverkossa siirrettävän loissähkön määrää. Kantaverkkoon liittyneet asiakkaat voivat ottaa kantaverkosta tai syöttää kantaverkkoon tietyn määrän loissähköä ilman erillistä korvausta. Kantaverkkoasiakkaille määritetään raja-arvoja (loissähköikkuna, Kuva 10) jonka sisällä asiakkaiden on pysyttävä toimitukseen loissähköä kantaverkosta ilman erillistä korvausta. Jos asiakkaiden loissähkön

toimitus ylittää loissähköikkunan, Fingridillä on oikeus laskuttaa asiakkaitaan loissähköikkunan ylittävältä osalta. Loissähköikkunoiden ylitysten syyt selvitetään kuitenkin ennen laskutusta, jos ylitys johtuu kantaverkon viasta tai häiriöstä, asiakasta ei laskuteta. Kantaverkkoasiakas ei myöskään tarvitse maksaa loissähkömaksuja lyhytaikaisista ja poikkeuksellisista loissähköikkunan ylityksistä. Poikkeustilanteeksi lasketaan esimerkiksi voimalaitoksen generaattorin käynnistys tai häiriön aiheuttama verkosta eroaminen, kantaverkon kannalta merkittävä teollisuusprosessin käynnistys tai alasajo sekä verkon poikkeuksellinen kytkentätilanne. Ehtona poikkeustilanteiden huomioimiselle on se, että ennalta tiedetyistä toimenpiteistä ilmoitetaan etukäteen ja häiriöistä ilmoitetaan Fingridille viipymättä häiriön jälkeen. Näissä tilanteissa on myös oltava selvät tekniset perusteet. Muulloin loissähkömaksua maksetaan loissähköikkunan ylittävältä osalta. Lasku muodostuu kahdesta osasta; kuukauden suurimmasta loissähköikkunan ylityksestä sekä laskutuskauden aikana loissähköikkunan ylittävästä kokonaisloisenergiasta. Loissähkön toimituksen ja loistehoreservin ylläpidon sovellusohjeessa (Liite 1) on yksityiskohtaisesti määritetty loissähkön hinnoittelun perusteet. /22/

Fingridin energiamittauksista saatu mittaustieto käytetään loissähkön toimituksesta annettujen raja-arvojen ylitysten seuraamiseen. Fingridin asiakkaat voivat myös itse seurata heidän käyttämänsä loissähkön määrää sekä raja-arvojen ylitysten määrää Fingridin LTJ- ekstrasnet palvelun kautta. /19/



Kuva 10. Loissähköikkuna /19/

## 4.1 Loissähköikkuna ja $Q_S$ -rajat

Loissähköä voidaan ottaa verkosta tai syöttää verkkoon ilman erillistä korvausta niin kauan kun loissähkön toimitus pysyy  $Q_S$ -arvojen eli loissähköikkunan puitteissa tai loissähkön otto on enintään 16 % pätötehosta (häviöiden takia optimaalisin arvo Jukka Toivosen tekemän diplomityön /13 s.52/ mukaan). Loissähköikkunan raja-arvot koostuvat loissähkön otolle määritetystä  $Q_S$  -arvosta sekä loissähkön syötölle määritetystä  $Q_{S1}$  -arvosta.  $Q_S$  -arvo lasketaan asiakkaan ottoenergian suhteena huipunkäyttöaikaan, johon lisätään asiakkaan nettotuotantoa tai suurinta generaattoria kuvaava termi.  $Q_{S1}$  -arvo lasketaan  $Q_S$  -arvosta.

$Q_S$  -arvo lasketaan kaavalla:

$$Q_S = W_{\text{Otto}} \times 0.16 / t_k + 0.025 \times W_{\text{Tuo}} / 5000 \quad (4.1)$$

Tai kaavalla:

$$Q_S = W_{\text{Otto}} \times 0.16 / t_k + 0.1 \times S_N \quad (4.2)$$

$Q_S$  -arvon kahdesta eri laskentakaavoista valitaan se joka antaa suurimman arvon, mikä on asiakkaan kannalta kannattavin vaihtoehto.

$Q_{S1}$  -arvo lasketaan kaavalla:

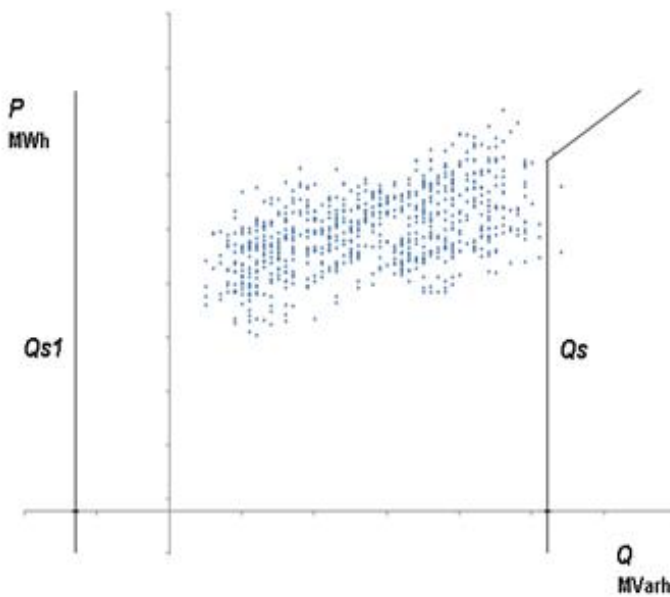
$$Q_{S1} = - 0.25 \times Q_S \quad (4.3)$$

Laskentakaavoissa  $W_{\text{Otto}}$  on asiakkaan verkosta ottama energia megawattitunteina.  $W_{\text{Otto}}$  ja  $W_{\text{Tuo}}$  lasketaan vuoden ajalta (1.10 - 30.9).  $t_k$  on huipunkäyttöaika tunteina. Huipunkäyttöaika vaihtelee teollisuusmuodosta riippuen; Prosessiteollisuuden huipunkäyttöajan arvoksi asetetaan 7000 tuntia, muulle teollisuudelle huipunkäyttöajan arvoksi asetetaan 6000 tuntia ja muulle kulutukselle huipunkäyttöajan arvoksi asetetaan 5000 tuntia.  $W_{\text{Tuo}}$  kuvaa asiakkaan nettotuotantoa megawattitunteina. Mikäli asiakkaalla ei ole yli 10 MVA generaattoria, oletetaan että asiakkaalla ei ole nettotuotantoa eli  $W_{\text{Tuo}} = 0$ .  $S_N$  kuvaa asiakkaan suurinta generaattoria (MVA), jos asiakkaalla ei ole yli 10 MVA generaattoria  $S_N = 0$ . Termi " $0.1 \times S_N$ " on kuitenkin enintään 30.0 Mvar. /20/

Laskennoissa käytetty ottoenergia ( $W_{\text{Ott}}$ ) ja nettotuotanto ( $W_{\text{Tuot}}$ ) ovat tietyn ajanjakson mittauslukemien perusteella laskettuja energioita. Arvioidut energiat ja  $Q_S$  -rajat tarkistetaan vuodesta 2012 eteenpäin vuosittain mittautustietojen perusteella. Laskennoista saadut raja-arvot on esitetty loissähköikkunassa (Kuva 10).

## 4.2 P/Q - diagrammi

Kantaverkosta otettu tai verkkoon syötetty loissähkö ja loissähkön toimitusrajojen ylitykset voidaan helposti seurata niin sanotusta P/Q-diagrammilta. P/Q- diagrammi on pistekaavio joka koostuu loismittautustiedoista. Kantaverkkoasiakkaiden loissähkön toimituksia mitataan asiakkaiden liittymispisteillä. P/Q-diagrammi esittää asiakkaan loisenergian käytön suhdetta pätöenergiaan. Mittaukset ovat tuntikeskitehoja. Kuvassa 11 näkyy esimerkki yhden asiakkaan P/Q -diagrammista. /21/



Kuva 11. P/Q-diagrammi. /23/

Kuvassa 11. jokainen sininen piste vastaa yhden tunnin (P,Q)-mittausparia.  $Q_S$  -raja tarkoittaa loissähkön ottoa kantaverkosta ja  $Q_{S1}$  -raja tarkoittaa loissähkön syöttöä kantaverkkoon. Kantaverkkoasiakkaat voivat seurata heidän omaa P/Q -diagrammia Fingridin LTJ- ekstranet palvelun kautta. /21/

### 4.3 Loissähkön raportointi LTJ-ekstranetissä

Laskutusmittaus- ja taseselvitysjärjestelmä (LTJ) on Fingrid Oyj:n käyttämä tietojärjestelmä. LTJ perustuu Process Vision Oy:n GENERIS - järjestelmään. LTJ:tä käytetään muun muassa mittausaikasarjojen vastaanottamiseen, lähettämiseen, hallintaan ja seuraamiseen, kantaverkon häviöiden laskentaan, johto- ja muuntohäviölaskentaan, sopimus- ja laskutustietojen hallintaan, laskutukseen sekä raportointiin. LTJ:ssä voidaan luoda automaattisesti toimivia tehtäviä kuten erilaisia laskentoja ja raportointeja. LTJ:n avulla voidaan myös tuoda mittautustietoja muista järjestelmistä ja viedä tietoja muihin järjestelmiin. LTJ:ssä voidaan luoda raportteja ja tuottaa aikasarjatietoja asiakkaita palvelevaa LTJ-Ekstranettiä varten. /5 s. 11-12/

LTJ-Ekstranet on Fingridin tarjoama ekstranet-palvelu josta löytyvät muun muassa kantaverkko-, rajasiirto- ja sähköverolaskutukseen sekä loistehon käytön seurantaan liittyvät aikasarjamuotoiset tiedot. Lisäksi palvelusta löytyy erilaisia raportointeja, kuten esimerkiksi energiaerittelyjä, loissähköseurannan P/Q-diagrammit sekä sopimuksien mittausliitteet. LTJ-ekstranet rakentuu erilaisista näytöistä sekä raporteista. /24/

LTJ-Ekstranet palvelu mukautuu jokaisen käyttäjän käyttäjäroolin mukaisesti, tuoden esiin ne näytöt ja raportit, joita käyttäjä oman roolinsa mukaisesti tarvitsee ja joihin on oikeutettu. Kantaverkkoasiakas pystyy esimerkiksi näkemään oman loisseuranta-alueensa P/Q- diagrammia sekä omia liittymispistekohtaisia P/Q-diagrammeja mutta asiakas ei pysty näkemään samassa loisseuranta-alueessa olevien toisien asiakkaiden liittymispistekohtaisia P/Q-diagrammeja. /24/

## 5 LOISSÄHKÖSEURANNAN UUDISTUS

Loissähköseuranta on tähän mennessä perustunut kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n ja kantaverkkoon liitettyjen asiakkaiden väliseen loissähkö Sopimukseen. Loissähköseurannan uudistuksen myötä erillisiä loissähkö Sopimuksia ei enää tehdä vaan loissähkön käytön seuranta tulee osaksi kantaverkkosopimusta.

Loissähkön seurannan tarkoitus on kantaverkon kannalta seurata kantaverkkoasiakkaiden loissähkön käyttöä sekä ohjata loissähkön käyttöä kantaverkossa sopimuksen mukaan. Kantaverkkoasiakkaiden loissähkön käyttöä seuraamalla Fingrid pyrkii vähentämään loissähkön siirrosta johtuvia jännitteenvaihteluita, minimoida loissähkön siirrosta johtuvaa häviötä sekä maksimoida kantaverkon siirtokapasiteettia.

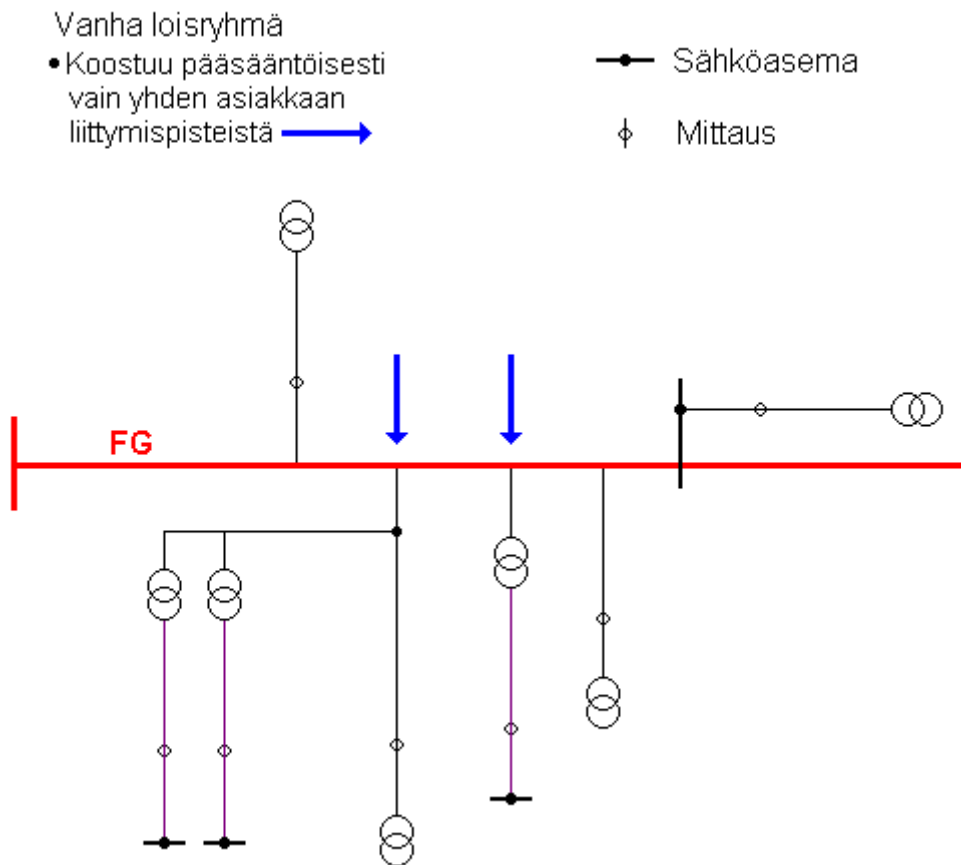
Fingridin tavoite loissähköseurannan uudistuksella on helpottaa ja selkeyttää loissähkön käyttöä sekä loissähkön käytön seuranta. Fingrid pyrkii myös uudistuksen avulla tarkentamaan loissähkön käytön seuranta. Uudessa seurantamallissa loissähkön käyttöä seurataan alueellisesti uusien seuranta-alueiden avulla. Kantaverkon tehokkaan käytön kannalta on tärkeää että seuranta-alue pysyy loissähkön toimitusrajojen eli loissähköikkunan sisällä. Kantaverkkoasiakkaat voivat uudistuksen myötä sopia loissähkön käytöstä keskenään niin kauan kuin seuranta-alue pysyy loissähköikkunan sisällä. Asiakkaiden liittymispistekohtainen loissähkön käyttö voi siis uudistuksen myötä ylittää käytön rajat, kunhan seuranta-alue pysyy loissähköikkunassa.

Fingrid pyrkii uudistuksen avulla parantamaan loissähkön käytön seuranta ja ohjaamaan loissähkön kulutusta ja antoa alueellisesti optimaaliseen ja kokonaistaloudellisesti parempaan suuntaan. /21/



## 5.1 Vanha seurantamalli

Vanhassa seurantamallissa on seurattu pääsääntöisesti yhden asiakkaan loissähkön käyttöä tietyllä alueella. Loissähkön käyttöä seurattiin ryhmittäin niin kutsutuissa toimituspisteryhmissä. Toimituspisteryhmä koostui pääsääntöisesti yhden asiakkaan liittymispisteistä. Toimituspisteryhmä on esitetty kuvassa 12. /21/



Kuva 12. Toimituspisteryhmä

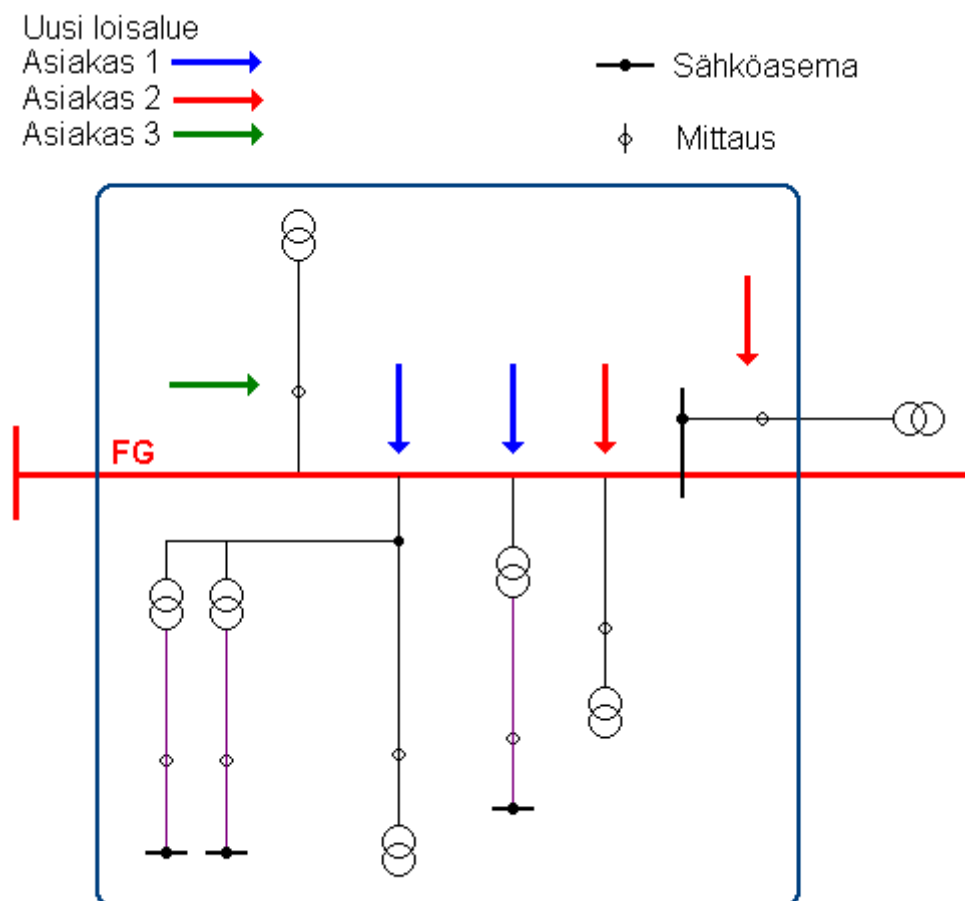
Kuvassa on esitetty osan Fingridin verkosta. Kuvan keskellä oleva punainen viiva esittää Fingridin johtoa, johon on liitetty eri asiakkaita. Toimipisteryhmään kuuluvia liittymispisteitä on merkitty sinisillä nuolilla.

Asiakkaiden loissähkön käyttöä seurattiin käytännössä P/Q-diagrammilla (kuva 11). P/Q -diagrammissa yksi piste vastasi yhden tunnin (P,Q)-mittausparia. Mittauspari koostui vuorostaan toimituspisteryhmän kaikista loismittauksista, eli kaikkien toimituspisteryhmään kuuluvien liittymispisteiden yhteen lasketuista loissähkön otto- ja anto-

mittauksista. Ongelmana tällä menettelyllä oli että P/Q-diagrammilta ei pystytty seuraamaan liittymispistekohtaisesti missä loissähköikkunan rajojen ylitys tapahtui. Kanta-verkkoasiakkaille raportoitiin loissähkön käytöstä toimituspisteryhmittäin Fingridin LTJ-ekstranet palvelun kautta.

## 5.2 Uusi seurantamalli

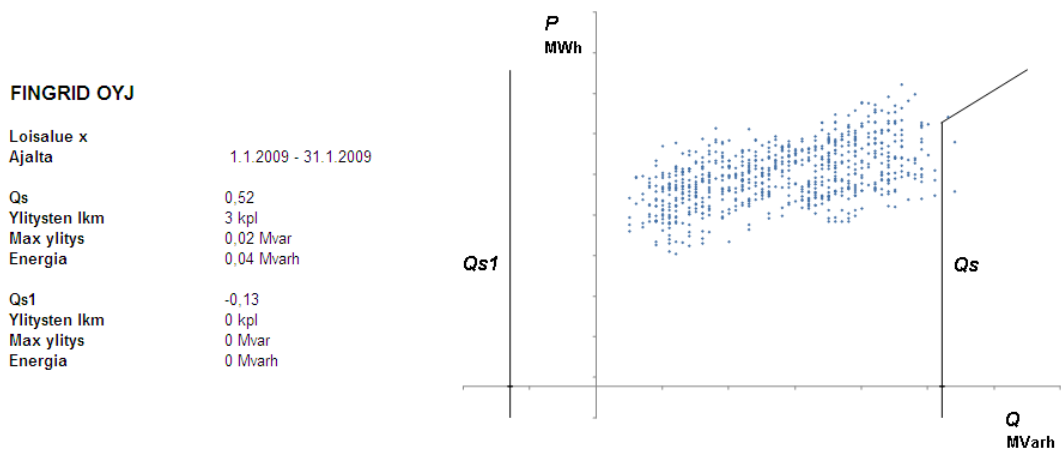
Myös uudessa loissähkön seurantamallissa loissähkön käyttöä seurataan alueellisesti, mutta jos loissähkön toimitusrajat, eli loissähköikkunaa ylitetään, ylityksiä tarkastellaan liittymispistekohtaisesti. Näin saadaan tarkempaa tietoa loissähkön käytöstä. Vanhat asiakaskohtaiset toimituspisteryhmät korvataan seuranta-alueilla, jossa voi olla osallisena useita eri asiakkaita. Kuvassa 13 on esitetty uusi loissähkön seuranta-alue. /21/



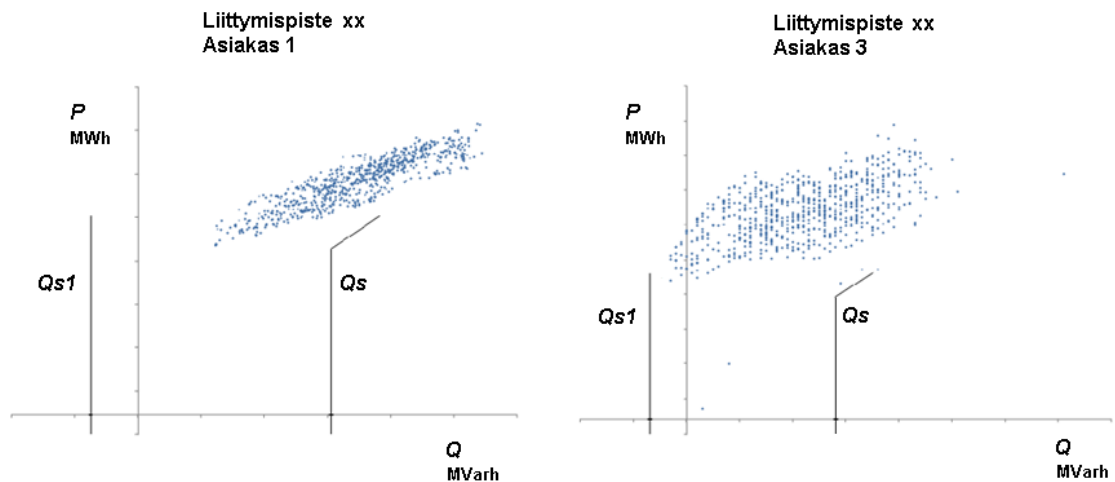
Kuva 13. Loisseuranta-alue

Kuvassa on esitetty osan Fingridin verkosta. Kuvan keskellä oleva punainen viiva esittää Fingridin voimajohtoa johon on liitetty eri asiakkaita. Uuteen loissähkön seuranta-alueeseen kuuluvat kaikki liittymispisteet, jotka ovat sinisen laatikon sisällä. Seuranta-alueen eri asiakkaiden liittymispisteet on merkitty sinisillä, punaisilla ja vihreillä nuolilla.

Käytännössä loissähkön käyttöä seurataan P/Q-diagrammilla. Ensisijaisesti tarkastellaan koko loisseuranta-alue P/Q-diagrammilta (kuva 14). Mikäli loisseuranta-alueen loissähkön otto tai anto ylittää loissähköikkunan, ylityksen aiheuttajaa etsitään tarkastamalla liittymispistekohtaiset P/Q-diagrammit (kuva 15). Jokaiselle liittymispisteelle määritetään omat  $Q_s$  -rajat. /21/



Kuva 14. Esimerkki seuranta-alueen P/Q-diagrammista



Kuva 15. Esimerkki liittymispistekohtaisesta P/Q-diagrammista.

Samalla loisialueella sijaitsevat asiakkaat voivat siis ylittää liittymispistekohtaiset loisrajat, jos seuranta-alueen loissähkön käyttö pysyy sallituissa rajoissa. Koska uusissa loisseuranta-alueissa voi olla useampia asiakkaita, asiakkailla on mahdollisuus sopia keskenään loissähkön käytöstä ja kompensoinnista. Mikäli asiakkaita laskutetaan liiallisesta loissähkön käytöstä, laskutus perustuu asiakkaan liittymiskohtaisen loissähkön käyttöön. Asiakkaita ei siis laskuteta toisen asiakkaan liiallisesta loissähkön käytöstä. /21/

Kantaverkkoasiakkaat voivat seurata oman loisseuranta-alueen loissähkön käyttöä sekä asiakkaiden liittymispistekohtaiset loissähkön käyttöä P/Q-diagrammilta Fingridin LTJ-ekstranet palvelun kautta. Asiakkaat eivät kuitenkaan pysty seuraamaan samassa seuranta-alueessa olevien muiden asiakkaiden liittymispistekohtaista P/Q-diagrammia. /21/

### **5.2.1 Muutokset $Q_S$ -rajojen laskentaperiaatteisiin.**

$Q_S$  -rajat lasketaan kohdassa 4.1 (loissähköikkuna ja  $Q_S$  -rajat) mainittujen laskentakaavojen mukaan. Laskentakaavoihin ei tule uudistuksen mukaan muutoksia.  $Q_S$  -rajat lasketaan suurin piirtein samalla tavalla kuin ennen uudistusta mutta joitakin muutoksia tulee uusiin laskentaperiaatteisiin. Uutta laskentaperiaatteissa on se että liittymispisteille ei määritetä vähimmäisrajaa loissähkön otolle eikä kaapeleita ja pitkiä avojohtoja oteta huomioon  $Q_S$  -rajoja määriteltäessä. Uutta on myös se että  $Q_S$  -rajat lasketaan vuosittain ja että uudet rajat tulevat voimaan aina vuoden alusta.

Uusille seuranta-alueille laskentaperiaatteet ovat pitkälti samat kuin liittymispisteille, mutta koska seuranta-alueet koostuvat monista liittymispisteistä seuranta-alueen nettotuotanto- sekä pätö- ja loisenergiat lasketaan alueen kaikkien liittymispisteiden vastavien energioiden summina. Uuden seuranta-mallin laskennoissa ei huomioida varayhteyksiä, joten jos varayhteyksiä käytetään, P/Q-diagrammi ei vastaa todellista tilannetta. /21/

## 6 LOISSÄHKÖN SEURANTA-ALUEIDEN MÄÄRITTELY

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia kuinka uusia loissähköseuranta-alueita tulisi määritellä siten, että alueet olisivat häviöiden ja verkon kannalta mahdollisimman järkeviä sekä tutkia minkälaisia vaikutuksia uudella loissähkön seurantamallilla on Fingridin asiakkaiden kannalta. Tässä luvussa tutkitaan mitä pitäisi huomioida seuranta-alueiden suunnittelussa. Luvussa 7 tutkitaan mitä vaikutusta uudella loissähköseurannan mallilla on asiakkaiden kannalta.

### 6.1 Seuranta-alueiden suunnittelussa huomioitavaa

Kun loissähköä siirretään sähköverkossa, syntyy pätötehohäviöitä. Loissiiirrosta johtuva pätötehohäviö voidaan likimääräisesti laskea kaavalla 6.1.

$$P_{h,lois} = \left(\frac{Q}{U}\right)^2 \cdot R \quad (6.1)$$

Jossa  $Q$  on siirrettävä loisteho,  $U$  on johdossa oleva jännite ja  $R$  on johdon resistanssi.

Kaavasta voidaan todeta että loissiiirron pienentäminen vähentää loistehon aiheuttamia pätötehohäviöitä neliöllisesti. Myös johdon resistanssilla on vaikutus häviöiden suuruuteen; mitä suurempi resistanssi sitä suuremmat häviöt. Johtojen resistanssi vaihtelee johtotyypistä riippuen sekä johtojen pituudesta riippuen. Mitä pidempi johto sitä suurempi resistanssi johdossa on. Loissähkön siirron aiheuttamien pätötehohäviöiden takia loissähkön siirtäminen pitkiä matkoja ei ole kannattavaa. Kannattavuuden kannalta on tärkeää että seuranta-alueen häviöt ovat mahdollisimman pienet seuranta-alueen pysyessä niille annetuissa loissähkön käytön rajoissa eli loissähköikkunassa.

Uudessa loissähkön seurantamallissa, seuranta-alueeseen kuuluvat asiakkaat voivat sopia loissähkön käytöstä keskenään. Tämän takia on mahdollista että loissähköä siirretään seuranta-alueen yhdestä laidasta toiseen laitaan. Jos seuranta-alue on iso, niin loissähköä voidaan siirtää pitkiä matkoja mikä taas johtaisi siihen että kyseisessä seuranta-

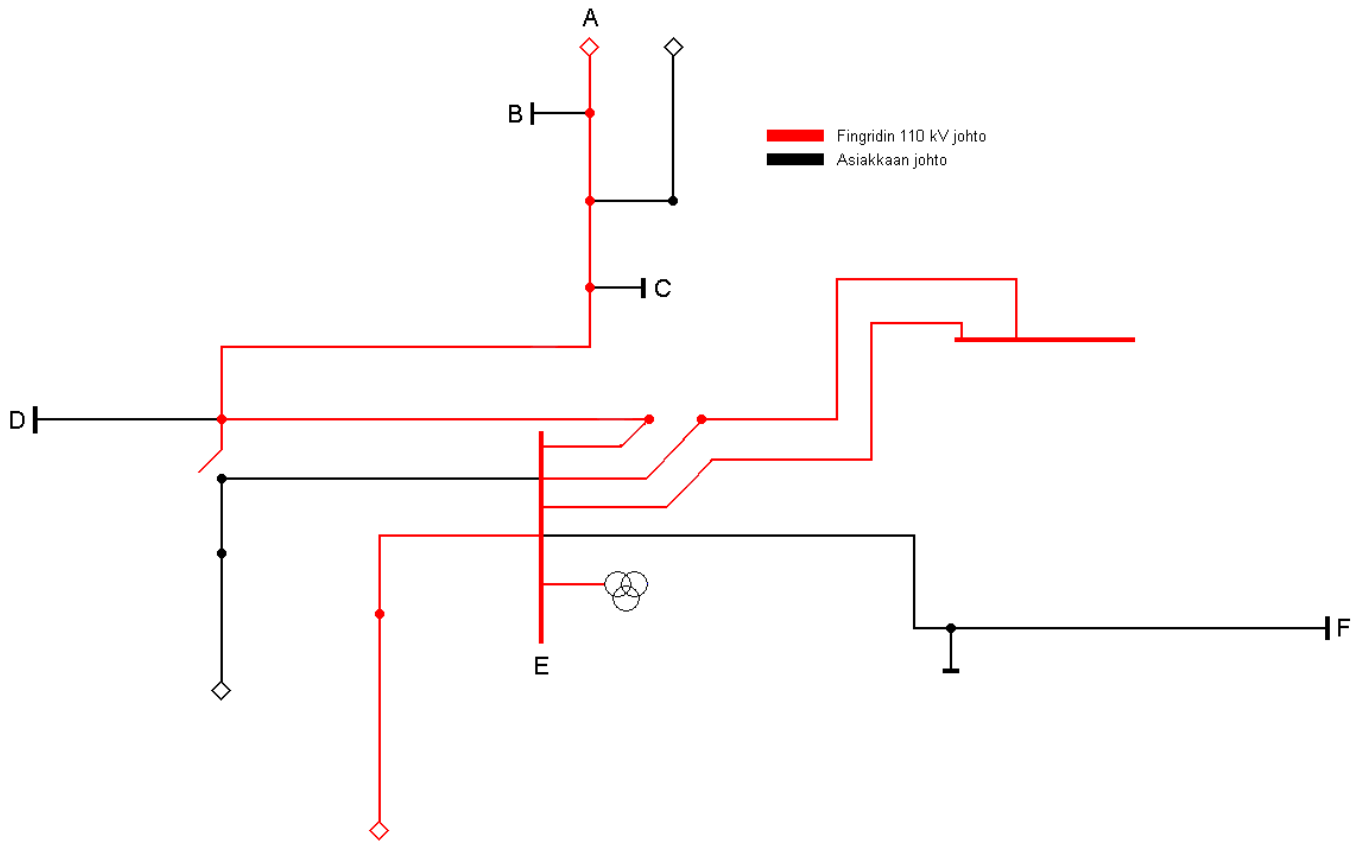
alueessa syntyisi paljon loissiirron aiheuttamaa pätötehohäviöitä. Koska uudessa seuranta-alueissa loissähkön käyttöä seurataan ensisijaisesti alueellisesti, on mahdollista että seuranta-alue pysyy alueen loissähköikkunan sisällä vaikka loissähköä siirrettäisiin pitkiä matkoja. Tätä ei loissähkön seurannassa välttämättä huomata. Tämän takia alueen koon on huomioitava suunnitellessa uusia loissähkön seuranta-alueita. Seuranta-alueita kannattaa suunnitella siten että alueen eri asiakkaiden liittymispisteet olisivat sähköisesti mahdollisimman lähellä toisiaan.

## **6.2 Tutkimus loissiirron aiheuttamista kuluista**

Tässä luvussa on tutkittu loissähkön siirron aiheuttamia pätötehohäviöitä sekä loissiirrosta johtuvia kuluja kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:lle. Tutkimus on tehty loissähkön seuranta-alueiden suunnittelua varten. Tutkimus loissiirron aiheuttamista kuluista on rajattu niin että kuluja on laskettu pelkästään loissiirrosta johtuvien pätötehohäviöiden perusteella. Tutkimuksessa ei ole huomioitu esimerkiksi loissiirrosta johtuvia jännitehäviöitä, joilla on myös vaikutuksia loissiirtokustannuksiin.

### **6.2.1 Tutkimusmenetelmä**

Tutkimuksessa on käytetty malliesimerkkiä. Malliesimerkkinä on käytetty tyypillinen alue jossa loissähköä siirretään kantaverkkoon liitetystä asiakkaalta toiseen. Kuvassa 16 on esitetty malliesimerkkinä käytetty alue.



Kuva 16. Malliesimerkki loissähkösiirtoalueesta

Kuvassa on esitetty osa Fingridin verkkoa johon on liitetty kantaverkkoasiakkaita. Kuvassa punaisella (110 kV) sekä sinisellä (400 kV) merkityt johdot ovat Fingridin omistamia johtoja ja mustalla merkityt johdot ovat asiakkaan omistamia johtoja. Malliesimerkissä käytettyihin johtoihin on myös merkitty johdon pituus sekä johtotyyppi. Asiakkaiden nimet on korvattu kirjaimilla A-F.

Tutkimuksessa on tutkittu miten paljon pätötehohäviöitä syntyisi sekä mikä olisi häviöitten kulut jos asiakas F:n käyttämä loisteho siirrettäisiin 66.2 km, Fingridin johtoja pitkin, asiakas A:lta kiskolle E johon asiakas F on liitetty. Tutkimuksessa on tutkittu loissiirron aiheuttamia pätötehohäviöitä ja loissiirrosta johtuvat kulut helmikuulle 2011.

Asiakas A:n ja kisko E:n välillä kulkevaan johtoon on myös liitetty asiakkaat B, C ja D joten niiden kuluttama tai tuottama loissähkö on myös otettu huomioon laskennoissa. Laskennoissa käytetty asiakas A:lta siirrettävä loisteho on saatu lisäämällä asiakas C:n

ja D:n kuluttama loisteho sekä vähentämällä asiakas B:n tuottama loisteho asiakas F:n kuluttamasta loistehosta. Tutkimuksessa on käytetty helmikuun 2011 loismittaustietoja. Mittaustiedot ovat tuntikeskitehoja.

Loissähkön siirron aiheuttamat pätötehohäviöt voidaan laskea luvussa 6.1 esitettyä kaavaa (kaava 6.1) käyttäen. Häviöt lasketaan erikseen eri johto-osuuksille johto-osuuksien eri resistanssien sekä johto-osuuksissa kulkevan loistehon vaihtelun takia. Eri johto-osuuksien häviöt lasketaan tämän jälkeen yhteen, jotta saadaan loissiirron aiheuttamat häviöt koko johdolle. Loissiirron aiheuttamien pätötehohäviöitten kustannukset lasketaan kertomalla helmikuun tunneittaiset häviöt sähköpörssi Nord Pool Spotin Elspot-tuotteen vastaavien tuntien sähköhinnalla helmikuulle 2011.

### **6.2.2 Tutkimustulokset**

Jos helmikuussa 2011 olisi siirretty asiakas F:n kuluttama loisteho 66,2 km asiakas A:lta kiskoon E, johon asiakas F on liitetty, loissiirrosta johtuvat pätötehohäviöt eivät aiheuttaisi merkittäviä kuluja kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:lle.

On kuitenkin syytä huomioida että jos siirrettävä matka pidentyisi ja siirrettävä loissähkön määrä nousisi, myös siirrosta johtuvat kulut kasvaisivat nopeasti. Jos esimerkiksi siirrettävä loisteho kaksinkertaistuu, häviöistä johtuvat kulut nelinkertaistuvat. Jos sekä siirrettävä matka että siirrettävä loisteho kaksinkertaistuvat, häviöstä johtuvat kulut ovat jo kahdeksan kertaa suuremmat.

### **6.3 Uudet loisseuranta-alueet**

Tämän insinööriyön ohella on uusia loisseuranta-alueita suunniteltu ja tehty. Kaikki loissähköseurannassa olevat kantaverkkoasiakkaat ja niiden liittymispisteet on jaettu 78 eri seuranta-alueille. Seuranta-alueet suunniteltiin ensinnäkin vanhojen loistoimituspisteryhmien perusteella, joten uudet seuranta-alueet ovat pitkälti samat kuten vanhat ryhmät. Uusissa loisseuranta-alueissa voi kuitenkin olla osallisena useita eri asiakkaita jo-

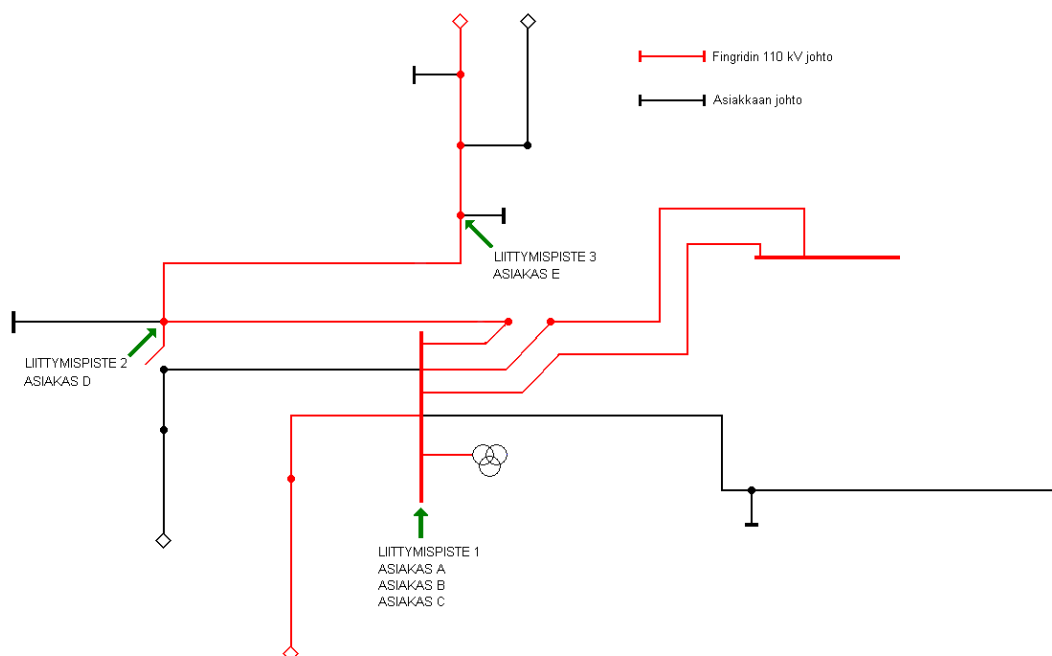


ten uusia loisseuranta-alueita suunniteltiin siten että liittymispisteet jotka ovat sähköisesti lähellä toisiaan, yhdistettiin yhdeksi alueeksi. Seuranta-alueet rajattiin sekä vanhojen toimituspisteryhmien rajauksien perusteella että seuranta-alueen koon perusteella; Seuranta-alue ei saa olla liian suuri häviökustannuksien takia. Fingridin aluekaavioita käytettiin apuvälineenä uusien seuranta-alueiden suunnittelussa.

## 7 TUTKIMUS LOISSÄHKÖN SEURANTA-ALUEESTA

Toinen tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia mitä vaikutuksia loissähköseurannan uudistuksella on Fingridin asiakkaiden kannalta. Tässä luvussa tarkastellaan yhtä loissähkön seuranta-aluetta ja tutkitaan mitä vaikutusta loissähköseurannan uudistuksella on seuranta-alueeseen kuuluville asiakkaille käytännössä. Tutkimus tehdään tarkastelemalla seuranta-alueen P/Q-diagrammeja.

Tutkittavaksi valittu kohde on tyypillinen malliesimerkki uudesta loissähköseuranta-alueesta. Kuvassa 17 on esitetty osa Fingridin verkkoa johon malliesimerkkinä käytetty seuranta-alue kuuluu.



Kuva 17. Malliesimerkkinä käytetty seuranta-alue

Kuvassa 17 on esitetty malliesimerkkinä käytetyn seuranta-alueen liittymispisteet. Malliesimerkkinä käytettyyn seuranta-alueeseen kuuluu viisi asiakasta (asiakas A-E) ja alueessa on kolme liittymispistettä (liittymispiste 1-3). Tutkimuksessa on käytetty mittaus-tietoja helmikuulta 2011.

## **7.1 P/Q-diagrammien tarkastelu**

Malliesimerkkinä käytettyä seuranta-aluetta on tarkasteltu tarkastamalla seuranta-alueen P/Q-diagrammeja. Tutkimuksessa on ensin tarkasteltu seuranta-alueen P/Q-diagrammia. Tämän jälkeen on tarkasteltu seuranta-alueen asiakaskohtaiset P/Q-diagrammit.

Uudistuneessa loissähköseurannassa loissähkön mittausten määrä lisääntyy. Aiemmin kantaverkkoon suoraan liittyneiden voimalaitosten loissähkön käyttöä ei ole seurattu loismittausten perusteella vaan välillisesti jännitteen säädön kautta. Uudessa alueellisessa seurantamallissa tarvitaan loismittaukset myös voimalaitosten osalta. Loismittauksia puuttuu myös junasyöttöasemilta.

Loismittauksien puutteellisuus vaikuttaa P/Q-diagrammien pisteiden sijaintiin diagrammin vaaka- eli Q-akselilla. Loissähkömittauksia ryhdytään keräämään 2012 vuoden alusta niiden energiamittareiden osalta, joissa on loismittauksiin valmius. Vuoteen 2013 mennessä Fingrid uusii kaikki energiamittarinsa ja uudistuksen myötä Fingrid asentaa loismittaukset myös niille asiakkaille joilta loismittauksia puuttuu.

### **7.1.1 Seuranta-alueen P/Q-diagrammin tarkastelu**

Seuranta-alueen P/Q-diagrammin tarkastelu osoittaa että seuranta-alue pysyy varsin hyvin alueen loissähköikkunan sisällä. Seuranta-alue on ylittänyt loissähkön käytön rajan pelkästään kerran helmikuussa 2011. Ylitys tapahtui  $Q_S$  -rajan puolella eli joku seuranta-alueen asiakas on ottanut liian paljon loissähköä kantaverkosta. Seuranta-alueen P/Q-diagrammi on esitetty kuvassa 18.

## FINGRID OYJ

### SEURANTA-ALUE X

Ajalta

1.2.2011 - 28.2.2011

Qs

---

Ylitysten lkm

1 kpl

Max ylitys

--- Mvar

Energia

--- Mvarh

Qs1

---

Ylitysten lkm

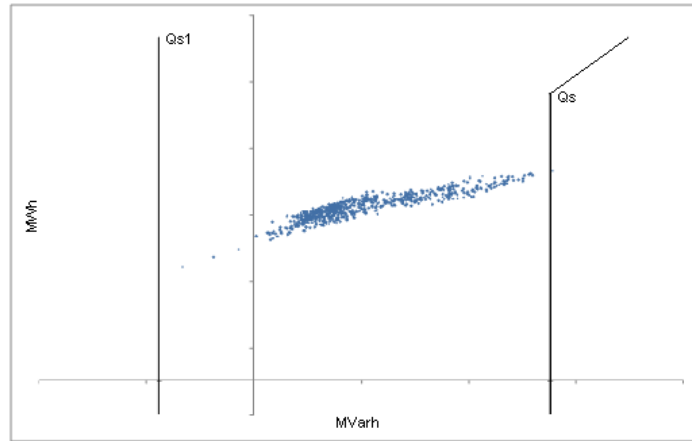
0 kpl

Max ylitys

0 Mvar

Energia

0 Mvarh



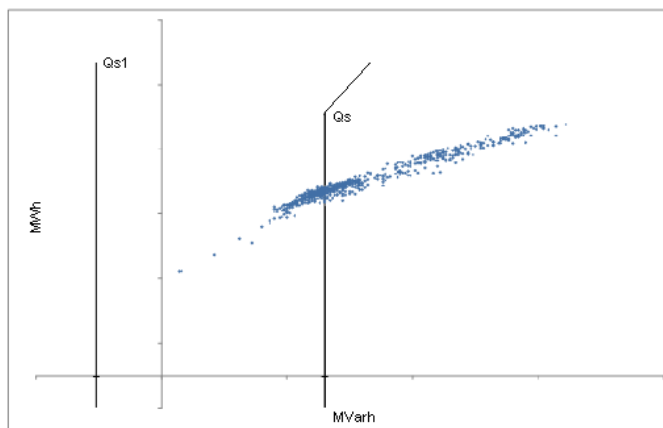
Kuva 18. Seuranta-alueen P/Q-diagrammi

Tässä tapauksessa loissähkön käytön rajojen ylitys on niin vähäistä että ylitys ei aiheuta Fingridille merkittäviä lisäkustannuksia helmikuussa 2011. Ylityksen syyn löytämiseksi on tarkistettava loisialueen asiakaskohtaiset P/Q-diagrammit.

### 7.1.2 Asiakas A:n P/Q-diagrammin tarkastelu

Asiakas A:n P/Q-diagrammin tarkastelu osoittaa että asiakkaalla on paljon loissähköikunan ylityksiä helmikuussa 2011. Asiakkaalla on ylityksiä pelkästään  $Q_s$ -rajan puolella eli asiakas ottaa liian paljon loissähköä kantaverkosta. Asiakas A:n P/Q-diagrammi on esitetty kuvassa 19.

<b>FINGRID OYJ</b>	
Seuranta-alue	SEURANTA-ALUE X
<b>ASIAKAS A</b>	
<b>LIITTYMISPISTE 1</b>	
Ajalta	1.2.2011 - 28.2.2011
<b>Qs</b>	---
Yliitysten lkm	656 kpl
Max ylitys	---
Energia	---
	Mvar
	Mvarh
<b>Qs1</b>	---
Yliitysten lkm	0 kpl
Max ylitys	0,00 Mvar
Energia	0,00 Mvarh



Kuva 19. Asiakas A:n P/Q-diagrammi

Tässä tapauksessa asiakkaan liiallinen loissähkön käyttö ei aiheuta Fingridille huomattavia lisäkustannuksia koska seuranta-alue johon asiakas kuuluu, pysyy yhtä ylitystä lukuun ottamatta loissähkön käytön rajoissa. Asiakas A on kuitenkin todennäköisesti seuranta-alueen  $Q_s$  -rajan ylityksen aiheuttaja.

Asiakas A:n ei helmikuun 2011 mittaustietojen perusteella tarvitse tässä vaiheessa ryhtyä kompensointi-toimenpiteisiin koska seuranta-alueella, johon asiakas A kuuluu, ei ole merkittäviä loissähkön käytön rajojen ylityksiä.

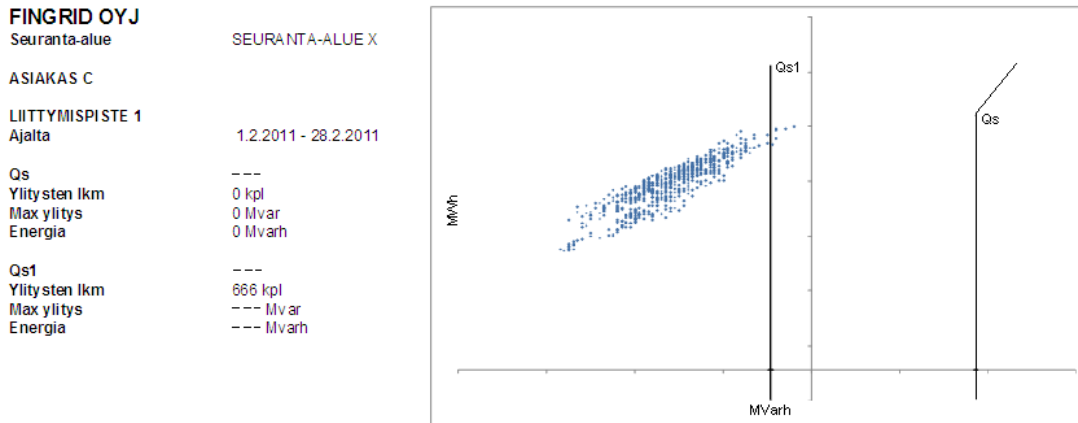
Tässä tapauksessa loissähköseurannan uudistuksella on asiakkaalle hyötyä; Uudistuneen loissähköseurannan myötä samaan seuranta-alueeseen kuuluvat asiakkaat voivat sopia keskenään loissähkön käytöstä. Tämän takia asiakkaat voivat ylittää omia loissähkön käytön rajoja kunhan seuranta-alue pysyy rajojen sisällä.

### 7.1.3 Asiakas B:n P/Q-diagrammin tarkastelu

Asiakas B on yksi niistä asiakkaista joilta puuttuu loismittauksia tällä hetkellä (marraskuu 2011). Tiedetään kuitenkin että asiakas B syöttää loissähköä kantaverkkoon joten voidaan olettaa että seuranta-alue pysyisi vielä paremmin loissähkön käytön rajoissa jos asiakas B:n loissähkön käyttö huomioitaisiin seuranta-alueen P/Q-diagrammissa.

### 7.1.4 Asiakas C:n P/Q-diagrammin tarkastelu

Asiakas C:n P/Q-diagrammin tarkastelu osoittaa että asiakkaalla on paljon loissähkön käytön rajojen ylitystä  $Q_{S1}$  -rajan eli loissähkön syötön puolella. Asiakkaalla ei ole ylityksiä  $Q_S$  -rajan eli oton puolella helmikuussa 2011. Asiakas C:n P/Q-diagrammi on esitetty kuvassa 20.



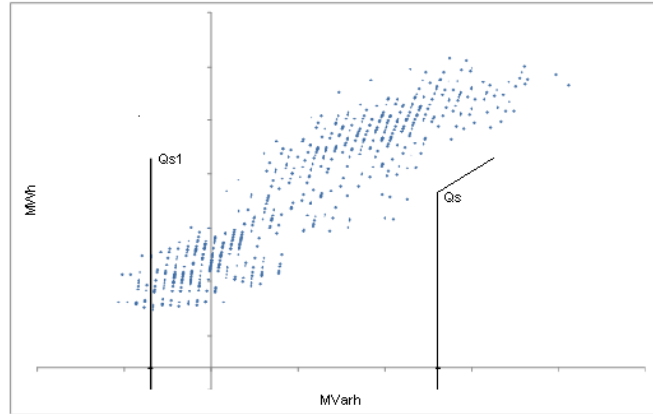
Kuva 20. Asiakas C:n P/Q-diagrammi

Tässä tapauksessa asiakas C:n  $Q_{S1}$  -rajan ylityksellä on myönteinen vaikutus seuranta-alueen P/Q-diagrammiin koska asiakas C:n loissähkön syöttö kantaverkkoon kompensoi osittain asiakas A:n loissähkön ottoa kantaverkosta. Tässäkin tapauksessa loissähköseurannan uudistuksella on asiakkaille hyötyä koska asiakas voi ylittää heille määritellyn  $Q_{S1}$  -rajan ilman seurauksia, kunhan seuranta-alue pysyy loissähkön käytön rajojen sisällä.

### 7.1.5 Asiakas D:n P/Q-diagrammin tarkastelu

Asiakas D:n P/Q-diagrammin tarkastelu osoittaa että asiakas pysyy enimmäkseen rajojen sisällä mutta joitakin ylityksiä on  $Q_{S1}$  -rajan eli loissähkön syötön puolella. Asiakkaalla ei ole ylityksiä loissähkön oton puolella. Asiakas A:n P/Q-diagrammi on esitetty kuvassa 21.

<b>FINGRID OYJ</b>	
Seuranta-alue	SEURANTA-ALUE X
<b>ASIAKAS D</b>	
LIITTYMISPISTE 2	
Ajalta	1.2.2011 - 28.2.2011
Qs	---
Ylitysten lkm	0 kpl
Max ylitys	0 Mvar
Energia	0 Mvarh
Qs1	---
Ylitysten lkm	52 kpl
Max ylitys	--- Mvar
Energia	--- Mvarh



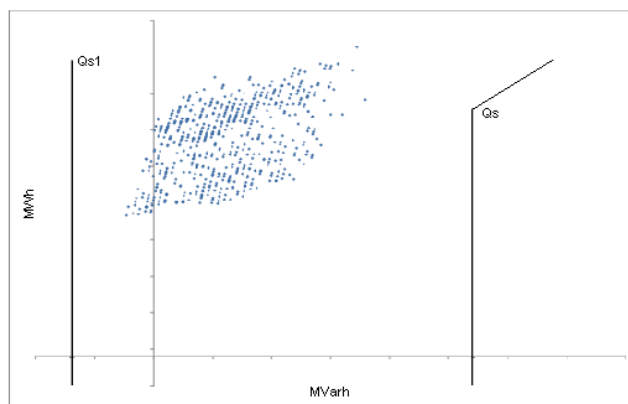
Kuva 21. Asiakas D:n P/Q-diagrammi

Vanhassa loissähkön seurantomallissa  $Q_S$  -raja oli vähintään 2,5 Mvar mutta loissähköseurannan uudistuksen myötä loissähkön oton vähimmäisraja poistettiin. Tästä syystä asiakkaan loissähköikkuna pienentyi huomattavasti loissähköseurannan uudistuksen myötä. Asiakkaan loissähkön liiallinen anto verkkoon ei kuitenkaan johda seurauksiin koska asiakkaan seuranta-alue pysyy rajojen sisäpuolella.

### 7.1.6 Asiakas E:n P/Q-diagrammin tarkastelu

Asiakas E:n P/Q-diagrammin tarkastelu osoittaa että asiakas pysyy hyvin alueen loissähköikkunan sisällä. Asiakkaalla ei ollut yhtään loissähkön käytön rajojen ylitystä helmikuussa 2011. Asiakas E:n P/Q-diagrammi on esitetty kuvassa 22.

<b>FINGRID OYJ</b>	
Seuranta-alue	SEURANTA-ALUE X
<b>ASIAKAS E</b>	
LIITTYMISPISTE 3	
Ajalta	1.2.2011 - 28.2.2011
Qs	---
Ylitysten lkm	0 kpl
Max ylitys	0 Mvar
Energia	0 Mvarh
Qs1	---
Ylitysten lkm	0 kpl
Max ylitys	0,00 Mvar
Energia	0,00 Mvarh



Kuva 22. Asiakas E:n P/Q-diagrammi

Tässä tapauksessa asiakkaan loissähkön käyttö on ollut esimerkillinen ja asiakas on pyssynyt loissähkön käytön rajojen sisäpuolella koko helmikuun 2011 ajan. Tässä tapauksessa asiakasta ei laskutettaisi vaikka asiakkaan seuranta-alue ylittäisikin selvästi alueen loissähkön käytön rajoja.

## 7.2 Päätelmät

Loissähköseurannan uudistuksen myötä asiakkaat voivat sopia loissähkön käytöstä keskenään. Seuranta-alueen asiakkaita ei laskuteta liiallisesta loissähkön käytöstä jos seuranta-alue pysyy alueen loissähköikkunan sisällä.

P/Q-diagrammien tarkastelu osoittaa, että esimerkeissä tarkastelluista asiakkaista suurin osa ei pysy niille määritettyjen loissähkön käytön rajojen sisällä liittymispisteissään. Asiakkaiden koko seuranta-alue pysyy kuitenkin loissähköikkunan sisällä.

Tutkimuksen perusteella voidaan siis toteaa, että loissähköseurannan uudistuksella on Fingridin asiakkaille enemmän hyötyä kuin haittaa, koska asiakkaat voivat ylittää niille määritettyjä loissähköikkunoita ilman seuraamuksia kunhan seuranta-alue pysyy loissähköikkunan sisällä.

Loissähköseurannan uudistuksen myötä loissähkön oton vähimmäisraja poistettiin käytöstä, koska liittymispistekohtaisena 2,5 MVarin raja olisi ollut liian suuri. Tämä pienentää joidenkin asiakkaiden loissähkön käytön rajoja. Tutkimuksessa käytetyille asiakkaille tästä ei kuitenkin ollut mitään haittaa.

## 8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tutustuttiin loissähkön teoriaan, miten loissähköä tuotetaan ja kulutetaan kantaverkossa sekä loissähkön siirron vaikutuksista sähkönsiirtoverkkoon. Työssä selvitettiin miten loissähköseuranta on tähän menneessä toteutettu Fingrid Oyj:ssä sekä minkälaisia muutoksia loissähköseurannan uudistus tuo mukanaan.

Työssä tutkittiin miten paljon loissähkön siirrosta johtuvia pätötehohäviöitä syntyy tyyppillisessä loissähkösiirtotilanteessa. Tutkimuksessa havaittiin, että häviöt eivät aiheuta Fingridille merkittäviä kuluja niin kauan kun loissähköä ei siirretä liian pitkiä matkoja tai liian paljon.

Työssä pohdittiin myös miten uusia loissähkön seuranta-alueita tulisi määritellä siten, että alueet olisivat häviöiden ja verkon käytön kannalta mahdollisimman järkeviä. Pohdinta osoitti, että määritellessä uusia loissähkön seuranta-alueita on tärkeää ottaa huomioon seuranta-alueen koko. Mitä suurempi seuranta-alue sitä pidempi matka loissähköä on mahdollista siirtää. Mitä pidempi matka loissähköä siirretään, sitä suuremmat ovat loissierrosta johtuvat pätötehohäviöt. Tämän insinööriyön ohella määriteltiin 78 seuranta-alueita.

Työssä tutkittiin myös minkälaisia vaikutuksia loissähköseurannan uudistuksella on Fingridin asiakkaiden kannalta. Tutkimuksessa tultiin siihen lopputulokseen, että alueellisesta loissähköseurannasta on asiakkaille hyötyä. Asiakkaat voivat uudistuksen myötä keskenään sopia loissähkön käytöstä ja sitä mukaan asiakkaat voivat ylittää heille määritetyn loissähköikkunan ilman seuraamuksia kunhan asiakkaiden seuranta-alue pysyy loissähköikkunassa. Uudistuksen myötä kantaverkkoasiakkaat saavat myös tarkempaa tietoa omasta loissähkön käytöstään, koska asiakkaat eivät näe pelkästään seuranta-alueen P/Q-diagrammia vaan myös heidän omaa liittymispistekohtaista P/Q-diagrammia.

Fingridin kannalta uusi loissähkön seurantamalli on selkeämpi ja tarkoituksenmukaisempi kuin vanha seurantamalli. Kantaverkon tehokkaan käytön kannalta on tärkeää, että seuranta-alue pysyy loissähköikkunan sisällä. Tätä on uudessa seurantamallissa hel-



pompi seurata. Uudella seurantamallilla Fingrid saa myös entistä tarkempaa tietoa kantaverkossa liikkuvasta loissähköstä.

Kirjoittaessani tätä insinööriä kaikkien asiakkaiden liittymispisteissä ei ollut vielä loisenergiamittauksia mikä vaikeutti tutkimuksen tekoa. Mittaustietojen puutteellisuu-  
della oli myös jonkin verran vaikutuksia tutkimustuloksiin. Parin seuraavan vuoden ai-  
kana, kun uusi loissähkön seurantamalli on ollut käytössä jonkin aikaa ja kaikki lois-  
energiamittaukset ovat saatavilla, seuranta tarkentuu halutulle tasolle. Aiheesta voisi  
tulevaisuudessa tehdä asiakaskyselyn, jossa kysytään asiakkaiden mielipidettä alueelli-  
sesta loissähköseurannasta.

## LÄHDELUETTELO

- /1/ Fingrid Oyj - Yritysinfo. Fingrid Oyj:n kotisivut. [Viitattu: 2. syyskuuta 2011]. Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/yritysinfo/>
- /2/ Wikipedia - Fingrid. [Viitattu: 6. syyskuuta 2011]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Fingrid>
- /3/ Fingrid Oyj - Valot päällä valtakunnassa. Fingridin intranet. [Viitattu: 6. syyskuuta 2011]. Saatavissa: Intranet yrityksen sisäisessä käytössä.
- /4/ Fingrid Oyj - Suomen sähköjärjestelmä. Fingrid Oyj:n kotisivut. [Viitattu 7. syyskuuta 2011] Saatavissa: [http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/yritysinfo/suomen\\_sahkojarjestelma/](http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/yritysinfo/suomen_sahkojarjestelma/)
- /5/ Pietarinen, Esa. (2010) - Sähköenergian mittausaikasarjojen ja häviötaseiden tilastollinen analyysi. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- /6/ Fingrid Oyj. Nuutinen, Pertti. (2010) - Energiamittaukset. Fingridin kantaverkkowiki. [Viitattu 12. syyskuuta 2011]. Saatavissa: Kantaverkkowiki yrityksen sisäisessä käytössä.
- /7/ Fingrid Oyj. Nuutinen, Pertti. (2010) - Energiamittaustietojen keruu. Fingridin kantaverkkowiki. [Viitattu 12. syyskuuta 2011]. Saatavissa: Kantaverkkowiki yrityksen sisäisessä käytössä.
- /8/ ABB - Faskompensering. ABB i Sverige. [Viitattu: 20. syyskuuta 2011]. Saatavissa: <http://www.abb.se/cawp/seabb361/fa9589bd479cdd40c125739a0035d0f7.aspx>
- /9/ Hämäläinen, Petri. (2008) - Loistehon tuottaminen painehiomon tahtimoottoreilla. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- /10/ Fingrid Oyj. Itäpää, Aila. (2010) - Jännite ja loisteho. Fingridin kantaverkkowiki. [Viitattu 15. syyskuuta 2011]. Saatavissa: Kantaverkkowiki yrityksen sisäisessä käytössä.
- /11/ Wikipedia - AC power. [Viitattu: 20. syyskuuta 2011]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Reactive\\_power#Real.2C\\_reactive.2C\\_and\\_apparent\\_powers](http://en.wikipedia.org/wiki/Reactive_power#Real.2C_reactive.2C_and_apparent_powers)
- /12/ Wikipedia - Växelström. [Viitattu: 20. syyskuuta 2011]. Saatavissa: [http://sv.wikipedia.org/wiki/Skenbar\\_effekt#Effekt\\_i\\_v.C3.A4xelstr.C3.B6mskretsar](http://sv.wikipedia.org/wiki/Skenbar_effekt#Effekt_i_v.C3.A4xelstr.C3.B6mskretsar)
- /13/ Toivonen, Jukka. (1993) - Loissähkön aiheuttamat kustannukset siirto- ja jakeluverkossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

- /14/ Tampereen Sähköverkko Oy. (2010) - Loistehon hinnoittelu ja kompensointi. [Viitattu 19. syyskuuta 2011] Saatavissa: [http://www.tampereensahkolaitos.fi/NR/rdonlyres/B4C52258-7DAF-4BC7-8EEC-B06DFEDAF911/0/TSV\\_loisteho\\_ohje\\_20101117.pdf](http://www.tampereensahkolaitos.fi/NR/rdonlyres/B4C52258-7DAF-4BC7-8EEC-B06DFEDAF911/0/TSV_loisteho_ohje_20101117.pdf)
- /15/ Energiamarkkinavirasto. (2001) - Lausunto Dnro 228/63/2001. Lausunto sähkön tuottajan toimittamasta loissähköstä sähköverkonhaltijalle. [Viitattu 19. syyskuuta 2011] Saatavissa: [http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Lausunto\\_228-63-2001.pdf](http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Lausunto_228-63-2001.pdf)
- /16/ Manner, Mikko. (2008) - Jännitteensäädön toiminnan ja sen kehittämisen vaikutukset kantaverkon häviöihin. Kandidaatintyö. Lappeenranta University of Technology.
- /17/ Outinen, Elina. (2004) - Rinnakkaiskondensaattorien optimaalinen mitoitus ja käyttö kantaverkossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- /18/ Itäpää, Aila. (2010) - Jännitteensäätö. Fingridin kantaverkkowiki. [Viitattu 4. lokakuuta 2011]. Saatavissa: Kantaverkkowiki yrityksen sisäisessä käytössä.
- /19/ Kuusinen, Kimmo. (2010) - Loissähkön toimitus ja seuranta. Fingrid Oyj:n kotisivut. [Viitattu: 23. syyskuuta 2011]. Saatavissa: [http://www.fingrid.fi/attachments/fi/toimikunnat/kayttotoimikunta/02\\_2010/loissahko.pdf](http://www.fingrid.fi/attachments/fi/toimikunnat/kayttotoimikunta/02_2010/loissahko.pdf)
- /20/ Fingrid Oyj - Loissähkö sopimusten laatimisperusteet ja soveltamisohje (2006). Fingrid Oyj:n kotisivut. [Viitattu: 23. syyskuuta 2011]. Saatavissa: [http://www.fingrid.fi/attachments/fi/palvelut/kantaverkkopalvelut/loissahkon\\_toimitus/loissahkosopimusten\\_laatimisperusteet\\_ja\\_soveltamisohje.pdf](http://www.fingrid.fi/attachments/fi/palvelut/kantaverkkopalvelut/loissahkon_toimitus/loissahkosopimusten_laatimisperusteet_ja_soveltamisohje.pdf)
- /21/ Fingrid Oyj - Loissähkö seurannan uudistus / KVS2012 (2011). Fingrid Oyj:n sisäinen asiakirja.
- /22/ Fingrid Oyj - Loissähkön toimituksen ja loistehonreservinylläpidon sovellusohje (2011). Fingridin soveltamisohje.
- /23/ Fingrid Oyj - Kantaverkkosopimus 2012-2015 (2011). Fingrid Oyj:n sisäinen asiakirja.
- /24/ Fingrid Oyj - Tervetuloa LTJ-ekstranettiin. LTJ-Ekstranet. [Viitattu: 9. joulukuuta 2011]. Fingrid Oyj:n tarjoama ekstranet palvelu.

# LIITTEET

- Liite 1. Loissähkön toimituksen ja loistehoreservin ylläpidon sovellusohje  
1.1.2012

## LOISSÄHKÖN TOIMITUKSEN JA LOISTEHORESERVIN YLLÄPITO

### 1 Johdanto

Tätä ohjetta sovelletaan kantaverkosta Asiakkaalle luovutettavan loissähkön toimituksissa, toimitusten seurannassa ja loissähkön toimitusrajojen laskennassa.

Niiltä osin kuin tässä soveltamisohjeessa esitetyt toimenpiteet koskevat Asiakkaan verkkoon suoraan tai välillisesti liittynyttä generaattoria tai verkkoa, Asiakas sopii sovellusohjeen mukaisista toimenpiteistä generaattorin omistajan tai verkon haltijan kanssa.

Tässä sovellusohjeessa on määritelty generaattoreiden loistehoreservien ylläpitoa koskevat vaatimukset.

### 2 Loissähkön toimituksen perusteet

#### 2.1 Loissähkön toimituspiste

Loissähkön toimituspiste on liittymispiste. Fingrid muodostaa Asiakkaan tai asiakkaiden liittymispisteistä loissähkön seuranta-alueita, joissa liittymispisteet ovat sähköverkon kannalta lähellä toisiaan. Kohdassa 4 määritellään loissähkön seuranta-alueiden laskentaperusteet.

Asiakkaalla on oikeus sopimuksen seurantaan tarvittaviin mittaustietoihin. Fingrid raportoi loissähkön määristä ekstranet-palvelussaan.

#### 2.2 Liittymispisteen loissähkön otto- ja antorajat

Liittymispisteen loissähkön ottoraja  $Q_S$

Liittymispisteen loissähkön ottoraja (Mvar) lasketaan kahdella eri kaavalla, joista ottorajaksi valitaan laskennan perusteella suurempi arvo:

$$Q_S = W_{\text{Otto}} \cdot 0,16 / t_k + 0,025 \cdot W_{\text{Tuot}} / 5000, \text{ tai}$$

$$Q_S = W_{\text{Otto}} \cdot 0,16 / t_k + 0,1 \cdot S_N$$

missä

$W_{\text{Otto}}$  = liittymispisteen ottoenergia (MWh)

$W_{\text{Tuot}}$  = voimalaitoksen nettotuotanto (MWh) liittymispisteessä

- jos enintään 10 MVA generaattori =>  $W_{\text{Tuot}} = 0$

Huipun käyttöaika  $t_k = 7000$  h (prosessiteollisuus)

Huipun käyttöaika  $t_k = 6000$  h (muu teollisuus)

Huipun käyttöaika  $t_k = 5000$  h (muu kulutus)

$S_N$  = liittymispisteen suurin generaattori (MVA)

- jos enintään 10 MVA generaattori =>  $S_N = 0$
- $0,1 \cdot S_N$  on kuitenkin enintään 30,0 Mvar

Liittymispisteen loissähkön antoraja  $Q_{S1}$

Liittymispisteen loissähkön antoraja (Mvar) lasketaan kaavalla:

$$Q_{S1} = - 0,25 \cdot Q_S$$

Voimalaitoksen nettotuotanto määritetään vähentämällä bruttotuotannosta kauppaja teollisuusministeriön 11. huhtikuuta 2003 antaman asetuksen nro 309 tai sitä korvaavan mukainen omakäyttöenergia. Asiakas toimittaa Fingridin pyynnöstä nettotuotannon määrittämisessä käytetyt omakäyttöenergian mittaus- ja laskentaperusteet.

Liittymispisteen toimitusraajat seuraavalle vuodelle tarkistetaan vuosittain marraskuun loppuun mennessä mittaustietojen perusteella. Toimitusraajat määritellään edellisen vuoden lokakuun 1. päivän ja kuluvan vuoden syyskuun 30. päivän välisen ajanjakson päätötehon mittauslukemien perusteella.

Jos Asiakkaan liittymispisteen takana tapahtuu tarkastelujaksolla merkittäviä muutoksia päätöskätkön käytössä tai otetaan käyttöön uusi voimalaitos tai olemassa oleva voimalaitos poistuu, muutosten vaikutus arvioidaan ja kantaverkkosopimuksen liitteen 1 tiedot tarkistetaan välittömästi muutoksen tapahduttua vastaamaan muuttunutta tilannetta. Tarkistetut arvot tulevat voimaan tarkistushetkeä seuraavan kalenterikuukauden alusta.

Jos junasyöttöasemien päätö- ja loissätkön kulutus on seuranta-alueen mittauksissa mukana, junasyöttöasemilla olevat suodatinkondensaattorit otetaan sopimuksessa huomioon siten, että  $Q_{S1}$  - arvosta vähennetään seuranta-alueella olevien junasyöttöasemien suodatinkondensaattoreiden nimellinen loistehoarvo. Jos junasyöttöasemilla olevien suodatinkondensaattoreiden loissätkön tuotanto on otettu huomioon kantaverkkosopimuksen liitteen 1  $Q_{S1}$  - arvoissa, junasyöttöasemien haltijalla on tällöin kantaverkkosopimuksen maksuista vapaa oikeus pitää verkossa näitä sätkön laadun kannalta tarpeellisia suodatinkondensaattoreita asemillaan.

### **3 Poikkeustilanteet loissätkön käytössä**

#### **3.1 Voimalaitosten loissätkö**

Generaattorin käynnistykseen sekä häiriöstä tai viasta johtuvan verkosta eroamisen aiheuttamista lyhytaikaisista loissätköikkunan ylityksistä ei peritä loissätkömaksuja kyseisessä liittymispisteessä. Lyhyeksi ylitykseksi katsotaan lauhde- ja vastapainovoimalaitoksille enintään viiden tunnin käynnistysaika ja kaasuturpiini- ja vesivoimalaitoksille enintään yhden tunnin käynnistysaika. Ylityksen johtuessa generaattorin irtoamisesta verkosta häiriön tai vian seurauksena, katsotaan lyhyeksi ylitykseksi kaksi tuntia. Maksuttomuuden edellytyksenä on, että generaattorin käynnistyksestä on tehty ennakkoilmoitus Fingridille, ja että viasta ja häiriöstä on ilmoitettu Fingridille viipymättä jälkikäteen.

Jotta generaattoreiden loistehoreservit tukisivat voimalaitosten ja verkon vikojen aikana tarkoituksenmukaisella tavalla järjestelmän jännitettä, liittymispisteessä ei peritä loissätkömaksuja  $Q_{S1}$  - arvoa suuremmasta loissätkön verkkoon syötöstä ( $|Q| > |Q_{S1}|$ ), ellei loissätkön syöttö ole pysyväisluonteista.  $Q_{S1}$  - arvoa suuremman loissätkön syöttäminen verkkoon katsotaan pysyväisluonteiseksi silloin, kun se on tapahtunut useammin kuin 30 tuntina kalenterikuukaudessa.

#### **3.2 Kulutuksen loissätkö**

Kantaverkkotoiminnassa laajuudeltaan merkittävän Asiakkaan prosessin käynnistykseen ja alasajon sekä vastaavanlaisiin vaikutuksiin johtavan häiriön ajalta loissätköikkunan ylityksestä ei peritä loissätkömaksuja kyseisessä liittymispisteessä. Maksuttomuuden aika yhtä tapahtumaa kohden on ilman eri sopimista enintään kaksi tuntia. Maksuttomuuden edellytys on, että Asiakas ilmoittaa Fingridille käynnistyksestä ja alasajosta etukäteen sekä häiriötilanteista viipymättä jälkikäteen. Ilmoitukset tehdään Fingridin ekstranet-palvelun kautta.

Asiakkaan verkkoon suoraan tai välillisesti liitetyn vähintään 0,5 Mvar kondensaattori-pariston tai sitä syöttävän säteittäisen verkon vian jälkeisissä korjaustilanteissa vähennetään Asiakkaan esityksestä kyseisen liittymispisteen loissähkön otosta puuttuvan kondensaattorin nimellinen loistehon arvo kohtuullisen korjauksen keston aikana. Kohtuulliseksi korjausajaksi katsotaan enintään kolme vuorokautta yhtä tapahtumaa kohden.

#### 4 Loissähkön käytön seuranta ja maksujen laskenta

Asiakkaan tai asiakkaiden liittymispisteistä muodostetut loissähkön seuranta-alueet ovat loissähkön käytön valvontaa varten. Seuranta-alueen loissähkörajat lasketaan soveltaen kohdan 2.2. kaavoja. Seuranta-alueen pätösähkön ottoenergiaa  $W_{\text{otto}}$  laskettaessa, seuranta-alueeseen kuuluvien liittymispisteiden otto- ja antomittausten lukemat lasketaan tunneittain etumerkkeineen yhteen. Huipun käyttöaika  $t_k$  määritellään seuranta-alueen määrävän kulutuslajin mukaisesti ja  $S_N$  on seuranta-alueen suurin generaattori (MVA).

Seuranta-alueen loissähkörajojen ylityessä tai yksittäisen liittymispisteen loissähkörajan verkon käyttöä häiritsevistä ylityksistä neuvotellaan loissähkön käytöstä ylityksen aiheuttaneen liittymispisteen haltijan kanssa. Mikäli neuvottelut eivät johda loissähkön hallittuun käyttöön, Fingridillä on oikeus laskuttaa ylityksen aiheuttanutta liittymispisteen haltijaa.

Loissähköikkuna määrittää liittymispistekohtaisesti kantaverkosta ilman erillistä korvausta toimitetun ja vastaanotetun loissähkön määrän. Loissähkön toimituksen katsotaan tapahtuvan loissähköikkunan puitteissa silloin, kun loissähkön otto kanta-verkosta ja syöttö kantaverkkoon tapahtuu kohdan 2.2 mukaisesti määritettyjen  $Q_S$  -arvojen rajoissa tai loissähkön otto on enintään 16 % otetusta pätötehosta.

Jos loissähkön otto- tai antoteho ylittää loissähköikkunan, ylityksen syy selvitetään ennen mahdollista laskutusta. Ikkunan ylityksistä ei laskuteta, jos ylitys aiheutuu kantaverkon viasta tai häiriöstä. Jos Asiakkaalla on ollut liittymispisteessä loissähköikkunan ylityksiä yhteensä enintään kymmenenä (10) tuntina kuukaudessa eikä loissähkön otto- tai antoteho ylitä kaksinkertaisesti toimitusrajaa, niin tältä kuukaudelta ei peritä ylityksistä loissähkömaksuja.

Voimalaitosten tai verkon poikkeuksellisissa ja lyhytaikaisissa erikoistilanteissa, erikseen sovittaessa, loissähköä voidaan tilapäisesti toimittaa tai vastaanottaa ilman loissähköikkunan ylityksistä perittäviä maksuja enemmänkin kuin loissähkösopimuksessa on mainittu, jos siihen on painavia perusteita ja verkon tai voimalaitoksen käyttötilanne sen sallii, eikä siitä aiheudu kantaverkossa merkittäviä kustannuksia.

##### Loissähkön otto ( $Q > 0$ )

Jos  $P \leq Q_S / 0,16$  ja  $Q > Q_S$  niin loistehomaksu on  $(Q - Q_S) \cdot 3\,000 \text{ €/ Mvar}$

Jos  $P > Q_S / 0,16$  ja  $Q/P > 0,16$  niin loistehomaksu on  $(Q - 0,16 \cdot P) \cdot 3\,000 \text{ €/ Mvar}$

Loistehomaksu määräytyy kuukauden suurimman ylityksen mukaan.

Loisenergiamaksu = loissähköikkunan ylittävällä alueella laskutuskauden aikana toimitettu loisenergia (Mvarh)  $\cdot 10 \text{ €/ Mvarh}$ .

Loissähkön anto ( $Q < 0$ )

Jos  $|Q| > |Q_{S1}|$  niin loistehomaksu on  $(|Q| - |Q_{S1}|) \cdot 3\,000 \text{ €/Mvar}$

Loistehomaksu määräytyy kuukauden suurimman ylityksen mukaan.

Loisenergiamaksu = loissähköikkunan ylittävällä alueella laskutuskauden aikana vastaanotettu loisenergia (Mvarh)  $\cdot 10 \text{ €/Mvarh}$ .

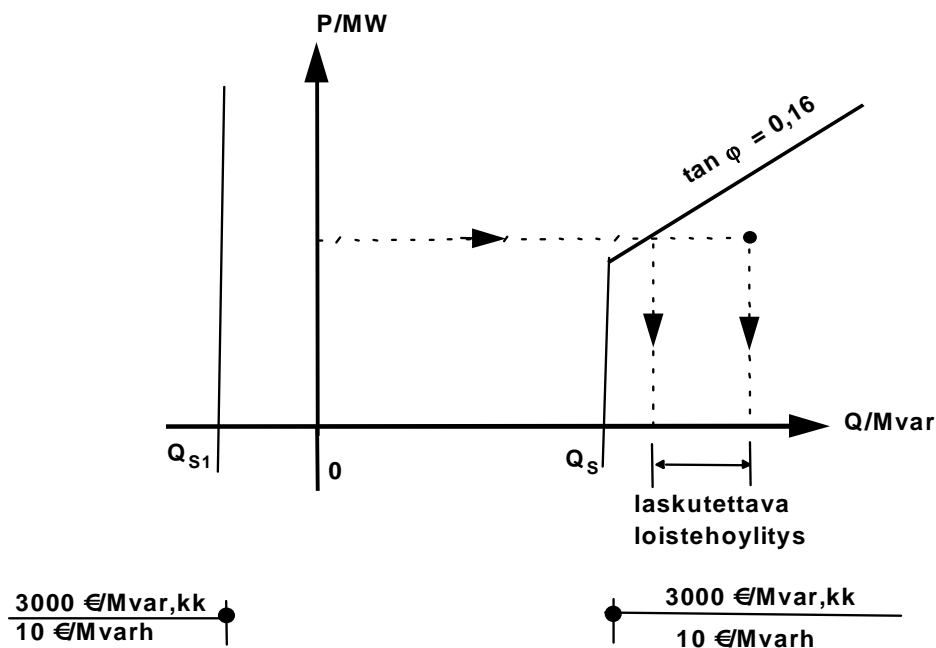
$$Q = Q_M - Q_h$$

$Q_M$  = liittymispisteen mitattu tarkastelutunnin loistehon keskiteho

$Q_h$  = muuntajien ja haarajohtojen lasketut loistehohäviöt liittymispisteessä. Otetaan huomioon, jos mittaus alajännitepuolella. Induktiivinen loisteho käsitellään positiivisena ja kapasitiivinen loisteho negatiivisena

$P$  = liittymispisteen mitattu tarkastelutunnin pätötehon keskiteho.

Alla olevassa kuvassa on esitetty liittymispisteen loissähköikkunan periaate ja loissähkön käytön ylityksestä suoritettavat maksut.

**5****Loistehoreservit****5.1****Generaattoreiden säätötapa**

Teholtaan yli 10 MVA generaattoreissa tulee normaalisti käyttää vakiojännitesäätöä, jotta generaattoreiden loistehoreservit tukisivat voimalaitosten ja verkon vikojen aikana tarkoituksenmukaisella tavalla järjestelmän jännitettä. Jos Asiakas tai Asiakkaan verkkoon liittynyt kolmas osapuoli haluaa käyttää generaattoreissa muuta säätötapaa, ratkaisusta ja säätöominaisuuksista tulee sopia erikseen Fingridin kanssa.



## 5.2 Generaattoreille asetettavat reservivaatimukset

Nimellisjännitteeltään 400 kV kantaverkkoon generaattorimuuntajan kautta liitetyn generaattorin loissähkön tuotanto- ja sisäänottokyky tulee generaattorin verkossa ollessa varata loistehoreserviksi kokonaan lukuun ottamatta generaattorimuuntajan sekä voimalaitoksen omakäytön kuluttamaa loissähköä.

Muissa yli 10 MVA generaattoreissa tulee generaattorin verkossa ollessa varata loistehoreserviksi puolet generaattorin loissähkön tuotantokyvystä sekä sisäänottokyvystä mitattuna generaattorijännitetasolla. Generaattorin loissähkön tuotantokyky ja sisäänottokyky lasketaan generaattorin nimellisteholla ja nimellisjännitteellä. Jos generaattorin  $\cos \varphi < 0,9$  (ind.) loissähkön tuotantokyky lasketaan  $\cos \varphi = 0,9$  mukaan.

## 5.3 Aktivoituneen reservin ylläpitäminen

Häiriön seurauksena tapahtuvaa jännitteen muutoksen aktivoimaa loistehoreserviä ei saa säätää pois ilman Fingridin lupaa.

## 5.4 Jännitetuki vika-, häiriö- ja huoltotilanteissa

Yli 10 MVA generaattorit ovat verkossa ollessaan velvollisia tukemaan loistehoreservein järjestelmän jännitettä voimalaitosten ja verkon vika- ja häiriötilanteissa sekä erikseen sovittaessa lyhytaikaisesti myös voimalaitosten ja verkon korjaus- ja huoltotilanteissa. Yli 10 MVA generaattorit ovat velvollisia noudattamaan Fingridin mahdollisesti antamaa jännitteen tai loistehon ohjearvoa.

## 5.5 Reservien ylläpidon seuraaminen

Loistehoreservien ylläpidon valvonnasta vastaa Fingrid. Asiakas toimittaa Fingridille seurantaan varten tarvittavat generaattoreiden mittaus- ja tilatiedot. Loistehoreservien valvonnassa käytettävät mittaukset ovat käytönvalvontamittauksia. Mittaus- ja tilatiedoista ja niiden toimitustavasta sovitaan erikseen.

## 6 Loissähkön mittaukset

Kantaverkkosopimuksen liitteessä 1 on määritelty loissähkön mittauspisteet. Mikäli todetaan, että loissähkön mittauslaitteistosta aiheutunut mittausvirhe on keskimäärin suurempi kuin  $\pm 5\%$ , virheestä kärsineellä Sopimusosapuolella on oikeus vaatia oikaisua.

Jos loissähkömittausta ei ole liittymispisteessä käytettävissä, mittaukset voidaan erikseen sovittaessa korvata laskennallisilla mittauksilla.

## 7 Tasasähköyhteyksien loisteho

Tasasähköyhteyden (HVDC) tai vastaavan liittyessä verkkoon Fingrid ja kantaverkkoon liittyjä sopivat loissähkön toimittamisesta sekä loistehoreserveistä tapauskohtaisesti erikseen.