



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# SÄHKÖMARKKINOIDEN HYÖDYNTÄMINEN RIIKINVOIMALLA

TEKIJÄ: Janne Sisso

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Janne Sisso			
Työn nimi Sähkömarkkinoiden hyödyntäminen Riikinvoimalla			
Päiväys	10.4.2019	Sivumäärä/Liitteet	30/2
Ohjaaja Markku Huhtinen			
Toimeksiantaja Riikinvoima Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua nykyisiin sähkömarkkinoihin ja tutkia, mille markkinapaikoille Riikinvoiman ekovoimalaitoksen olisi mahdollista osallistua ja saada lisää tuottoa sähkömyynnistä. Aihetta pohjustettiin tutustumalla Suomen sähköjärjestelmään, sekä Riikinvoiman nykyiseen ja tulevaan säätötapaan, mikä helpotti ymmärtämään laitoksen asettamat rajat. Tämän jälkeen käytiin läpi eri markkinapaikkoja ja niiden ehtoja, joita verrattiin laitoksen asettamiin ehtoihin. Työn lopuksi tutustuttiin sähkömarkkinoiden tulevaisuuteen ja pohdittiin tulevia muutoksia Riikinvoiman kannalta.</p> <p>Työn tulokseksi saatiin, että yritys voisi nykyisellä säätötavalla osallistua säätösähkömarkkinoille kesäisin, kun kaukolämmön tarve on pieni. Yrityksen pyynnöstä laadittiin Excel-taulukko, jolla voidaan laskea kannattava alasäätötarjous sähkömarkkinoille osallistumista varten. Lisäksi selvisi, että Riikinvoiman kannattaa tulevaisuudessa siirtyä kattila seuraa turbiinia -säätötavan käyttöön. Se tuo yritykselle säästöä ja avaa mahdollisuuden osallistua yhä useammille markkipaikoille.</p> <p>Sähkömarkkinat ovat muuttuneet paljon viimeisen 10 vuoden aikana ja muutoksia koetaan paljon myös seuraavan kolmen vuoden aikana. Merkittävin muutos on säätösähkömarkkinoiden siirtyminen yhteispohjoismaisista Euroopan laajuisiksi, jolloin markkinoiden ehdot myös muuttuvat. Osa muutoksista edesauttaa Riikinvoimaa osallistumaan markkinoille ja tuo säätövaraa tarjousten jättämiseen. Esimerkiksi varttitaseen myötä tarjouksista voidaan tehdä kestoiltaan lyhyempiä ja niiden hinta voidaan laskea tarkemmin.</p>			
Avainsanat Fingrid, Reservi, Sähkömarkkinat, Säätösähkö, Säätötapa			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Janne Sisso			
Title of Thesis Utilization of electricity markets at Riikinvoima			
Date	10.4.2019	Pages/Appendices	30/2
Supervisor Markku Huhtinen			
Client Organisation /Partners Riikinvoima Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to get acquainted with the current electricity market and to examine which market places Riikinvoima eco power plant could participate and get more revenue from electricity sales. The topic was familiarized with the electrical network of Finland and with the present and upcoming control mode of Riikinvoima Oy in order to understand the limits set by the plant. After that, various market areas and their stipulations were compared to the terms of Riikinvoima power plant. Finally, the future of the electricity markets was studied and the effects of them for Riikinvoima were considered.</p> <p>As a result, it was found out that with current control mode the company could participate in the balancing power market in the summer when the demand for district heating is low. At the request of the company, an Excel spreadsheet was created that can calculate a profitable downward bid for electricity market participation. In addition, it became clear that transition to boiler follows turbine -control mode is advisable. It will bring savings for the company and extend the market area.</p> <p>The electricity market has changed a lot in the last 10 years, and more changes are yet to come in the next three years. The most significant change is the transition of the balancing power market from Nordic countries to European wide market, which will also change the market conditions. Some of the changes will make it easier for Riikinvoima to enter the market and provide a regulatory margin for the submission of bids. For example, with finer time resolution, bids can be made for a shorter period and the price of them can be calculated more accurately.</p>			
<p>Keywords Fingrid, Reserve, Electricity market, Balancing power, Control mode</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Riikinvoima.....	6
1.1.1	Yrityksen historia .....	6
1.1.2	Mankala-periaate .....	7
1.1.3	Laitoksen sähköntuotanto .....	7
1.2	Fingrid Oyj .....	9
1.3	Lyhenteet ja määritelmät.....	10
2	SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ .....	11
2.1	Kantaverkko .....	11
2.2	Jakeluverkot.....	12
3	RIIKINVOIMAN SÄÄTÖTAVAT .....	14
3.1	Turbiini seuraa kattilaa -säätötapa .....	14
3.2	Kattila seuraa turbiinia -säätötapa.....	15
4	NYKYISET SÄHKÖMARKKINAT .....	16
4.1	Taajusohjattu käyttö- ja häiriöreservi .....	17
4.1.1	Taajusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosimarkkinat.....	17
4.1.2	Taajusohjatun käyttö- ja häiriöreservin tuntimarkkinat .....	18
4.2	Automaattinen taajuudenhallintareservi.....	18
4.2.1	Automaattiseen taajuudenhallintaan osallistuminen .....	19
4.3	Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat .....	20
4.3.1	Säätösähkötarjouksen jättäminen.....	21
4.3.2	Sääkapasiteettitarjouksen jättämien .....	21
4.4	Elspot-markkinat.....	22
4.5	Elbas-markkinat .....	23
4.6	Tehoreservi .....	23
4.7	Tasesähkö.....	23
4.8	Yhteenveto reservimarkkinoille osallistumisesta .....	24
5	ALASSÄÄTÖTARJOUKSEN LASKENTA .....	25
6	SÄHKÖMARKKINOIDEN TULEVAISUUS .....	27
6.1	Varttitase .....	27
6.2	Uusi taseselvitysmalli .....	28

6.3	Uudet säätösähkömarkkinat.....	28
6.4	Uusi tasehallinta ja markkinapaikat Pohjoismaissa.....	28
7	TULOKSET .....	29
8	YHTEENVETO.....	30
	LÄHTEET .....	31
	LIITE 1: RIIKINVOIMAN RAMPPIKOE 6.7.2018	
	LIITE 2: RIIKINVOIMAN RAMPPIKOE 9.7.2018	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutustua nykyisiin sähkömarkkinoihin ja tutkia, mille markkina- paikoille Riikinvoiman olisi mahdollista ja kannattavaa osallistua. Kesäisin laitosta on mahdollista ajaa joustavammin, johtuen pienestä kaukolämmön tarpeesta, joten yrityksen kannattaa hakea lisätuot- toa osallistumalla sähkömarkkinoille. Ensin työssä tutustutaan Suomen sähköjärjestelmään yleisesti. Sen jälkeen käydään läpi Riikinvoiman säätötapa, jonka avulla voidaan tiedostaa laitoksen asettamat rajat ja osataan verrata niitä eri markkinapaikkojen ehtoihin. Kevään 2019 aikana oli tarkoitus suo- rittaa ramppikoe, jonka avulla oltaisiin nähty miten laitos reagoi nopeaan sähkötehon muutokseen ja missä ajassa. Mahdollisuutta tälle ramppikokeelle ei kuitenkaan tullut epäsuotuisan sään takia, joten uuden ramppikokeen sijaan käytettiin vanhoja kesän 2018 tuloksia. Tutkinnan lisäksi toteutetaan Excel-taulukko, jolla voidaan laskea nopeasti millä hinnalla tarjous kannattaa jättää sähkömarkki- noille. Lopuksi tutustutaan sähkömarkkinoiden tulevaisuuden näkymiin ja mietitään mahdollisten muutosten vaikutuksia Riikinvoiman kannalta.

### 1.1 Riikinvoima

Riikinvoiman ekovoimalaitos sijaitsee Leppävirralla ja polttaa 650 000 asukkaan jätteet, jotka kerä- tään 59 kunnan alueelta viidestä eri maakunnasta. Voimalaitos polttaa 145 000 tonnia jätettä vuo- dessa, tuottaen siitä 90 GWh sähköä valtakunnan verkkoon ja 180 GWh kaukolämpöä Varkauden kaupungille. Yrityksessä työskentelee 25 henkilöä ja liikevaihto on noin 15 miljoonaa euroa. (Riikin- voima Oy n.d.)

#### 1.1.1 Yrityksen historia

Riikinvoima Oy perustettiin joulukuussa 2012 ajatellen uutta jätelakia, joka astuisi voimaan vuonna 2016, sekä turvaamaan Varkauden Aluelämmön tuotanto. Seitsemän kunnallista jätehuoltoyhtiötä ja Varkauden Aluelämpö Oy perustivat Riikinvoiman Mankala-periaatteen mukaisesti, eli se palvelee omistajiaan omakustannusperiaatteella. Vuonna 2014 osakkaaksi liittyi vielä jätehuoltoyhtiö Eko- kymppi. (Miettinen 2018.)

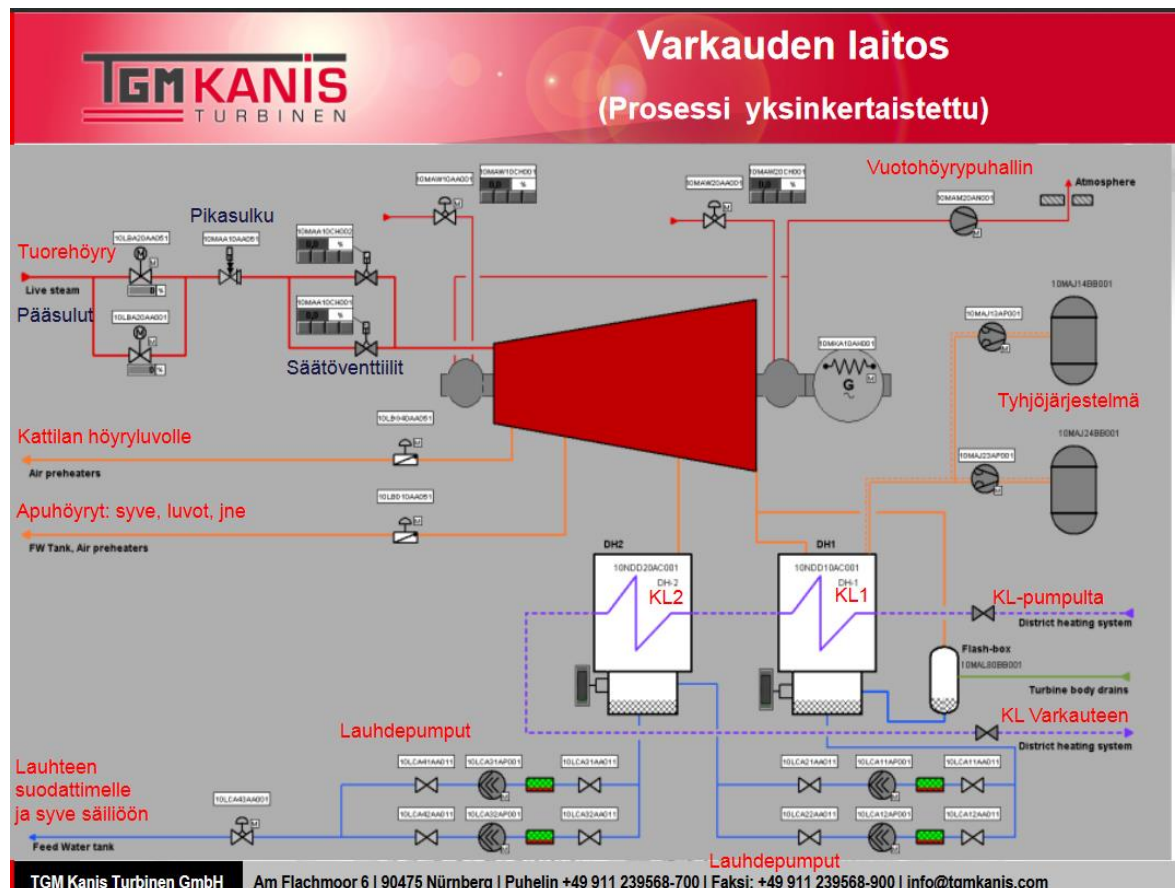
Kesäkuussa 2014 laitostoimittajaksi valittiin avaimet käteen periaatteella Andritz Oy. Raivaus- ja maansiirtotyöt aloitettiin lokakuussa 2014 ja rakennuslupa varmistui saman vuoden joulukuussa. Harjannostajaisia vietettiin jo lokakuussa 2015, jonka jälkeen alkoivat laiteasennukset ja rakennus- työmaalla työskenteli parhaimmillaan 400 työntekijää 15 eri maasta. Kaikki laiteasennukset saatiin valmiiksi kesäkuussa 2016 ja kattilan ensimmäinen jätetuli sytytettiin heinäkuussa. Elokuussa 2016 laitos liittyi osaksi jatkuvaa lämmön- ja sähköntuotantoa, jonka jälkeen laitoksen koepoltot ja ajot alkoivat. Voimalaitoksen tuotannollinen käyttö alkoi virallisesti huhtikuussa 2017. (Miettinen 2018.)

### 1.1.2 Mankala-periaate

Mankala-periaate on ainutlaatuinen omistajuusmuoto, jossa yrityksen on tarkoitus tuottaa omistajilleen kilpailukykyistä energiaa. Yrityksen omistajat vastaavat kaikista yrityksen kuluista oman omistusosuutensa perusteella. Yrityksen ei ole tarkoitus tuottaa voittoa omistajilleen, vaan se pyrkii pikemmin aina nollatulokseen. Mankala-malli syntyi Suomen metsäteollisuuden suuren energiantarpeen seurauksena, koska yrityksillä ei ollut varaa toteuttaa suuria voimalaitos investointeja yksinään. Nykyään Mankala-malli on hyvin tyypillinen järjestely Suomen sähköntuotannossa. Sopimuksen suurin hyöty saavutetaan, kun alhaisista tuotantokustannuksista saatavaa tuottoa kutsutaan muuksi tuloksi, josta yritysten ei tarvitse maksaa veroa. (Puikkonen 2010, 139-142.)

### 1.1.3 Laitoksen sähköntuotanto

Riikinvoiman ekovoimalaitos on vastapainevoimalaitos, eli se tuottaa sekä sähköä että lämpöä. Riikinvoimalla käytettävä turbiini on TGM Kaniksen valmistama 16 MW vastapaineturbiini. Turbiinille tuleva tuorehöyryn paine on 83 bar(a) ja lämpötila 496,8 °C. Turbiini on varustettu kolmella väliotolla, joilla lämmitetään mm. palamisilman esilämmittämiä ja syöttövesisäiliötä. Turbiinin nimelliskierrokset ovat 7500 kierrosta minuutissa, mikä on hyvin tyypillistä tämän kokoluokan turbiineissa, sillä korkealla kierrosnopeudella turbiinin halkaisija saadaan pienemmäksi menettämättä kehänopeutta. Turbiini on yhdistetty generaattoriin vaihteistolla, jonka voimansiirto on 5:1, eli generaattori pyörii 1500 kierrosta minuutissa. Käytettävä generaattori on teholtaan 15,9 MW ja sen on valmistanut Itävaltalainen Elin.

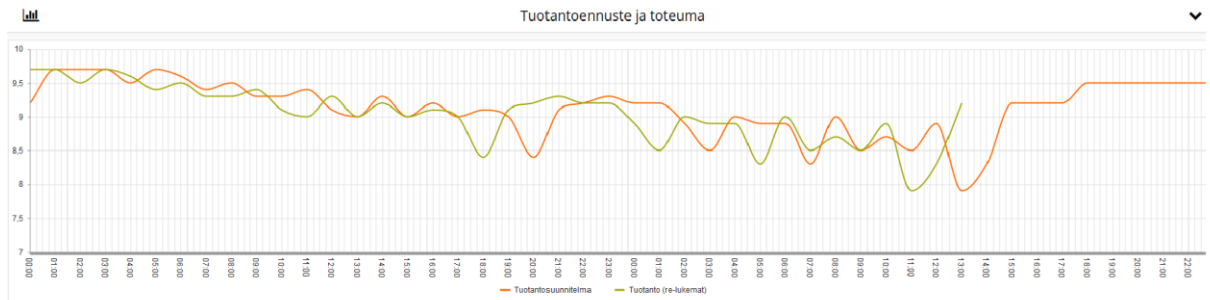


Kuva 1. Riikinvoiman kaukolämpöturbiinin prosessikaavio (Rüchl 2016, 29.)

Sähköä pyritään tuottamaan jatkuvasti mahdollisimman paljon riippumatta vuodenajasta, mutta kattilan säätötavasta johtuen tuotettu sähköteho vaihtelee. Tuotetun sähkön määrään vaikuttavat laitoksen omakäyttöteho, polttoaineen lämpöarvo, päivittäinen puhtaanapito ja höyrynuohous. Omakäyttöteho kasvaa noin puolella megawatilla, kun jätteenkäsittelylaitos otetaan käyttöön. Jätteenkäsittelylaitosta käytetään normaalisti arkisin 07:00 – 22:00, sekä tarpeen mukaan myös viikonloppuisin. Polttoaineen lämpöarvo vaihtelee jatkuvasti, mutta suurin ero on kesällä ja talvella. Tämä johtuu siitä, että monet jäteyhtiöt varastoivat jätettä ulkona ja varsinkin talvella jätteen kosteuspiitoisuus nousee, joka laskee jätteen lämpöarvoa. Päivittäisellä puhtaanapidolla tarkoitetaan kahden polttoainesyöttölinjan puhdistusta. Puhdistuksella varmistetaan tasainen polttoaineensyöttö ja tukosten ehkäisy, jotka aiheuttaisivat heilahtelua palamisprosessissa. Puhdistuksen aikana kattilankuormia on laskettava, koska yksi linja ei riitä täydellä teholla ajoon, jolloin myös sähköteho laskee hieman. Lisäksi kattilaa tulee aina välillä nuohota höyryllä, mikä tarkoittaa, että turbiinille menevän höyryn määrä vähenee ja näin ollen sähköteho laskee.

Nykyisellä säätötavalla ainoa nopea tapa säätää tuotettua sähkötehoa on laskea kattilan kuormatehoa suoraan 54 MW:sta 38 MW:iin, jolloin tuotettu sähköteho putoaa noin 5 MW. Tämä on testattu kesällä 2018 kahdella ramppikokeella, jolloin säädössä kesti 12-13 minuuttia. Laitostoimittajan takuu päättyy 6.4.2019, jonka jälkeen on mahdollista ajaa turbiinia tehosäädöllä, sekä kattilaa liukuvalla paineella. Tämä taas mahdollistaa sähköntuotannon täsmälleen ennusteen mukaan ja nopeammat sähkötehon muutokset.

Riikinvoiman sähkönmyynnin eteenpäin Fingridille hoitaa tällä hetkellä Gasum Oy. Riikinvoiman tarvitsee ainoastaan päivittää tuotantoennuste jokaiselle tunnille ja Gasum Oy vastaa taseesta. Nykyisellä kattilan ja turbiinin säätötavalla sähköntuotannon tarkka ennustaminen on hyvin vaikeaa, johtuen vaihtelevasta höyrymäärästä turbiinille sekä vaihtelevasta omakäyttötehosta. Ongelma on tällä hetkellä ratkaistu automaattisella ennusteella, joka tekee arvion tuotettavan tunnin sähköstä aina edellisen tunnin tuotannon perusteella. Kuten alla olevasta kuvasta nähdään, tämä automaattinen ennustus on hyvä silloin, kun sähköverkkoon tuotettu teho ei vaihtele suuresti. Ongelmia tuottavat kuitenkin jo 0,5 MW tehon vaihtelut tunnin sisällä. Seuraavasti kuvaajasta nähdään, että kello 17:00 ja 18:00 välillä tuotanto on tippunut 0,5 MW ja seuraavalla tunnilla noussut takaisin ennalleen. Automaattinen ennuste on tullut tunnin perässä ja ennustanut ensin 0,5 MW suurempaa tuotantoa ja sitten 0,5 MW pienempää tuotantoa. Näistä ennustetun ja todellisen tuotannon eroavaisuuksista Riikinvoima joutuu maksamaan, koska Gasum joutuu hankkimaan tuottamatta jätetyn sähkön jostain muualta ja ylituotetun sähkön se joutuu puolestaan myymään pois.



Kuva 2. Sähkön tuotantoennuste ja toteuma (Sisso, 2019.)

## 1.2 Fingrid Oyj

Fingrid Oyj on vuonna 1996 perustettu suomalainen julkinen osakeyhtiö, joka vastaa sähkön siirrosta Suomen runkoverkossa, sekä runkoverkon käytön suunnittelusta, valvonnasta, ylläpidosta ja kehittämisestä. Fingridin pääkonttori sijaitsee Helsingissä, jonka lisäksi yrityksellä on toimipaikat Hämeenlinnassa, Oulussa, Petäjävedellä, Rovaniemellä ja Varkaudessa. Yrityksen palveluksessa työskentelee reilut 350 henkilöä ja yrityksen liikevaihto oli 672 miljoonaa euroa vuonna 2017. (Fingrid Oyj n.d, Avaintiedot.)

Fingrid vastaa kantaverkkohaltijana Suomen sähköjärjestelmän teknisestä toimivuudesta ja käyttövarmuudesta. Järjestelmävastuuna Fingrid huolehtii valtakunnalliseen tasevastuuseen kuuluvista tehtävistä ja valtakunnallisista taseselvityksistä sähkömarkkinaosapuolten kannalta tarkoituksenmukaisella, tasapuolisella ja syrjimättömällä tavalla. Valtakunnallisia tasevastuu tehtäviä ovat jatkuvan sähköntuotannon ja kulutuksen hetkellisen tasapainon ylläpito kantaverkossa, eli taajuuden pitäminen nimellisarvossa 50 Hz. Valtakunnallisella taseselvityksellä tarkoitetaan sähkötaseen selvitystä omalla vastualueellaan ja oman vastualueen tasevastaavien sähkötaseiden selvittämistä. (Fingrid Oyj N.d, Suomen sähköjärjestelmä.)

Fingrid kuuluu vuonna 2008 perustettuun eurooppalaiseen kantaverkkoyhtiöiden keskusjärjestöön ENTSO-E:hen ja näin ollen sen tulee osallistua järjestön toimintaan, eurooppalaisten markkina- ja käyttökoodien laadintaan, sekä verkkosuunnitteluun. Fingrid tarjoaa sopimusasiakkailleen, eli sähköntuottajille, verkkoyhtiöille ja teollisuudelle, erilaisia palveluita. Näitä ovat kantaverkko-, rajasiirto- ja tasepalvelut. (Fingrid Oyj n.d, Esittely.)

## 1.3 Lyhenteet ja määritelmät

ACE (Area Control Error)	alueen ohjausvirhe
aFRR (automatic Frequency Restoration Reserve)	automaattinen taajuudenhallintareservi
Aggregoija	Toimija, joka vastaa usean energiantuottajan puolesta alkuperätakuiden hakemisesta, tilinpidosta ja tähän liittyvästä hallinnoinnista
Elektroninen aktivointi	Vaksi-extranetin kautta tai xml-sanomalähetyksillä tehtävä tilaus sähkötehon muutoksesta
CHP (Combined Heat and Power)	kaukolämmön ja sähkön yhteistuotanto
DCS (Distributed Control System)	hajautettu ohjausjärjestelmä
ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity)	Euroopan järjestelmävastaavien kantaverkkoyhtiöiden yhdistys
FCR-D (Frequency Containment Reserve for Disturbances)	automaattisesti taajuusohjattu häiriöreservi
FCR-N (Frequency Containment Reserve for Normal operation)	taajuusohjattu käyttöreservi
GIS (Gas Insulated Switchgear)	kaasueristeinen kojeisto
MARI (Manually Activated Reserves Initiative)	manuaalisesti aktivoitavat reservit
mFRR (manual Frequency Restoration Reserve)	yhteispohjoismaiset säätösähkömarkkinat
MW	megawatti
PICASSO (Platform for the International Coordination of Automated Frequency Restoration and Stable System Operation)	alusta kansainväliselle automaattiselle taajuudenhallinnalle ja vakaalle järjestelmän toiminnalle
Tasevastaava	yritys, jolla on tasehallintasopimus kantaverkko-yhtiön kanssa ja joka on omasta tai jonkun muun puolesta tasevastuussa tuottajana, kuluttajana tai sähkön myyjänä

## 2 SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Suomen sähköjärjestelmä on voimalaitosten, kantaverkon, jakeluverkkojen ja sähkön kuluttajien muodostama kokonaisuus. Se on osa Pohjoismaista sähköjärjestelmää yhdessä Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan järjestelmien kanssa. Pohjoismainen sähköjärjestelmä on yhdistetty Venäjän ja Baltian voimajärjestelmään Suomesta Venäjälle ja Viroon kulkevalla tasasähköyhteydellä. Pohjoismainen järjestelmä on liitetty tasasähköyhteyksillä myös Keski-Euroopan sähköjärjestelmään. (Fingrid Oyj n.d, Suomen sähköjärjestelmä.)

Kantaverkon johdot on yleensä rakennettu johtorenkaiksi ja silmukkuverkoiksi, jolloin verkon käyttövarmuus paranee ja verkon häviöt ovat pienemmät verrattuna säteittäisverkkoon. Pienjänniteverkot ovat maaseudulla lähes aina säteittäisiä kustannussyiden takia. Kaupungeissa pienjänniteverkot on yleensä rakennettu rengasverkkoon, mutta niitä käytetään säteittäisesti. Kanta- ja jakeluverkossa 3-vaiheinen vaihtosähköjärjestelmä on yleisin, koska se on edullinen muuntamisessa ja moottorikäyttöissä, eikä paluu johdinta tarvita. Vaihtosähkön taajuus Euroopassa on 50 Hz. (Elovaara 2011a, 57.)

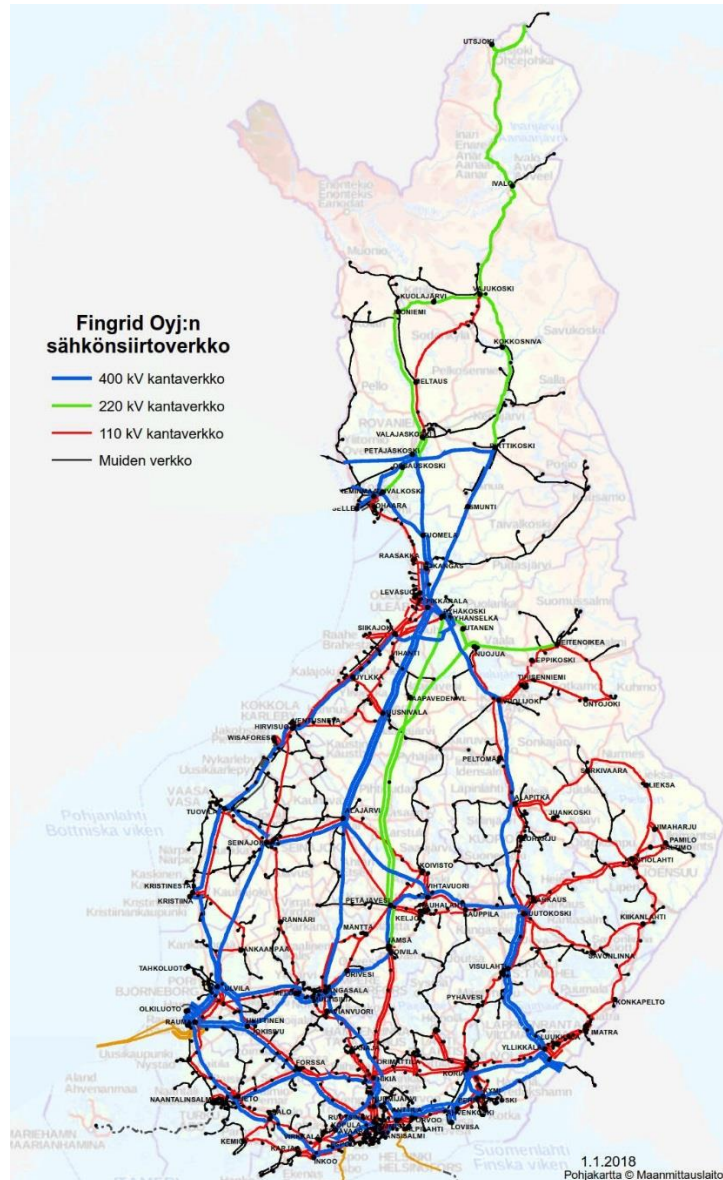
### 2.1 Kantaverkko

Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, josta Suomessa vastaa Fingrid. Runkoverkko koostuu 116 sähköasemasta, sekä 400, 220 ja 110 kilovoltin voimajohdoista. Suurin osa Suomessa kulutetusta sähköstä siirretään kantaverkon kautta, joten sen mahdollistaa sähkön tuottajien ja kuluttajien välisen kaupan koko Suomen kattavalla alueella. Suuret voimalaitokset, tehtaat ja alueelliset jakeluverkot ovat liitettynä runkoverkkoon. Pitkien etäisyyksien ja häviöiden pienentämiseksi kantaverkossa käytetään suuria jännitteitä. Suomessa kantaverkko on rakennettu ilmaeristeisenä, eli voimajohdot ovat avojohtoja ja sähköasemat ovat ulos asennettuja. Maakaapeleita käytetään vähän joutuessa niiden korkeasta hinnasta. Vanhoja sähköasemia laajentaessa tai tilojen ollessa rajoitettuja, käytetään GIS-kytkinlaitoksia. GIS-kytkinlaitokset vähentävät tilantarvetta jopa 70%, jolloin ne voidaan asentaa sisätiloihin. (Fingrid Oyj n.d, Suomen sähköjärjestelmä.)

Sähköä tuottavia voimalaitoksia on Suomessa satoja, mutta ne eivät riitä kattamaan yli kolmen miljoonan käyttäjän sähkötarvetta ja siksi reilu viidesosa Suomessa kulutetusta sähköstä tuodaan ulkomailta. Suomen kantaverkko on liitetty Ruotsin verkkoon kahdella 400 kV -vaihtosähköyhteydellä ja Norjaan 220 kV -vaihtosähköyhteydellä. Näiden lisäksi kantaverkko on liitetty kolmella tasesähköyhteydellä Ruotsiin 1300 MW yhteiskapsiteetilla ja Viroon kahdella tasesähköyhteydellä 1000 MW yhteiskapsiteetilla. Suomesta Venäjälle on kolme 400 kV ja kaksi 110 kV siirtoyhteyttä. (Fingrid Oyj n.d, Suomen sähköjärjestelmä.)

Vuosien 2015 – 2025 välisenä aikana Fingrid investoi kantaverkkoon yhteensä noin 1,2 miljardia euroa rakentamalla uutta voimajohtoa lähes 3000 kilometriä ja noin 30 uutta sähköasemaa. Investointiohjelma pohjautuu Suomen energiastrategiaan, jonka päätavoitteita ovat fossiilisilla polttoaineilla tuotetun energian, kasvihuonepäästöjen ja sähkön tuontiriippuvuuden vähentäminen. Tavoitteena

on lisätä ydinvoimaa, metsäenergiaa ja tuulivoimaa sähkön tuotannossa. Kantaverkon kehittämiseen vaikuttaa tulevaisuuden tuotannon lisääminen ja vanhan verkon vaatimat peruskorjaukset. Siirtovarmuus Suomen kantaverkossa vuonna 2017 oli 99,99969% ja häiriöiden vuoksi kuluttajille siirtämättä jäänyt energia oli 211 MWh. (Fingrid Oyj n.d, Suomen sähköjärjestelmä.)



Kuva 3. Suomen kantaverkko (Fingrid Oyj 2018a.)

## 2.2 Jakeluverkot

Sähkö siirretään kantaverkosta paikallisesti eteenpäin jakeluverkoilla. Nämä jakeluverkot jaetaan jännitteen mukaan suurjännitteeksi 110–400 kilovolttia, keskijännitteeksi 1–70 kilovolttia ja pienjännitteeksi 1000 voltia ja pienemmät. Suurjänniteverkot on rakennettu avojohtoina ja niiden pituus on 22 500 kilometriä. Keskijänniteverkosta 80 prosenttia on avojohtoa, 7 prosenttia ilmakaapelia ja 13 prosenttia maa- tai vesistökaapelia. Keskijänniteverkon pituus on yhteensä 140 000 kilometriä. Pienjänniteverkosta 3 prosenttia on avojohtoa, ilmakaapelia 58 prosenttia ja maakaapelia 39 prosenttia.

Pienjänniteverkon pituus on yhteensä 240 000 kilometriä. Tulevaisuudessa maakaapeloinnin osuuden odotetaan kasvavan ja jakeluverkon kaapelointiasteen odotetaan nousevan 44 prosenttiin vuoden 2019 loppuun mennessä. (Energiateollisuus n.d.)

Sähköasemat ovat sähköenergian siirto- tai jakeluverkon kohtia, joissa on mahdollista suorittaa kytkentöjä, muuntaa jännitettä ja keskittää tai jakaa sähköenergian siirtoa eri johdoille. Tärkeimpiä laitteita ovat muuntajat, katkaisijat, erottimet ja mittamuuntimet. (Elovaara 2011b, 76.)

Sähköverkkotoimintaan tarvitaan Energiaviraston myöntämä verkkolupa. Verkkolupaan kuuluu maantieteellinen vastuualue, jonka ansiosta jakeluverkonhaltijalla on yksinoikeus rakentaa jakeluverkkoa. Verkonhaltijoiden vastuulla ovat verkon ylläpito ja kehittäminen, sekä sähkön tuotantolaitosten liittäminen käyttöpaikkoihin ja sähkön siirto. Verkonhaltijat ovat vastuussa sähköverkoston kunnosta ja asiakkaiden sähkön laadusta. Asiakas ei voi valita verkonhaltijaa, vaan se määräytyy sijainnin mukaan. Sähkösiirtomaksu määräytyy siirretyn sähköenergian määrän, tehontarpeen ja jännitetason mukaan. Asiakkaiden siirtohintaan ei saa vaikuttaa asiakkaan sijainti, eikä sähkömyyjä, jolta asiakas sähkönsä ostaa. (Energiavirasto n.d, sähköverkon haltijat.) Sähkönjakeluverkon haltijoita toimii Suomessa tällä hetkellä noin 90, mikä on poikkeuksellista, sillä muissa maissa toimii vain yksi sähköyhtiö, joka vastaa kaikesta sähköntuotannosta, siirrosta ja jakelusta.

### 3 RIIKINVOIMAN SÄÄTÖTAVAT

Tässä osuudessa käydään läpi Riikinvoiman kaksi eri kattilan säätötapaa, joista toinen on tällä hetkellä käytössä ja toinen otetaan todennäköisesti tulevaisuudessa käyttöön. Esteenä toisen säätötavan käyttöön on ollut laitostoimittajan takuu, joka päättyy huhtikuussa 2019. DCS-järjestelmästä on jo mahdollista ajaa kattilaa kummallakin säätötavalla.

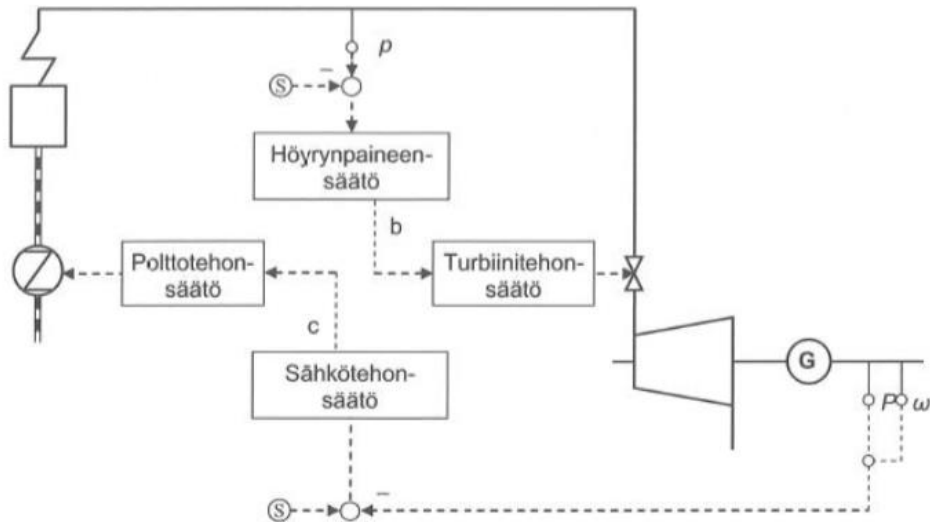
Höyryvoimalaitoksissa sähkön, kaukolämmön ja prosessihöyryn tuotantoa ohjataan jatkuvasti. Jollei tuotantoa ohjata mitenkään, se vaihtelee jatkuvasti polttoaineen laadun sekä prosessissa esiintyvien muutosten myötä. Tämä voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi kaukolämpöverkkoon yhdistettyjen rakennusten lämmityksessä. Voimalaitoksissa käyttäjä asettaa halutut arvot sähköntuotannolle, höyryntuotannolle tai kaukolämmön tuotannolle, jolloin automaatio säätää laitosta tarpeen mukaan. Asetusarvot vaihtelevat laitostyyppin mukaan, mutta käytännössä tehonsäätö perustuu melkein aina kattilan tuorehöyryn paineen ohjaukseen. Säätökytkentöihin vaikuttavat mm. laitoksen tyyppi, rakenne, käyttötarkoitus sekä kokemusperäiset yksityiskohdat. (Huhtinen 2008, 154.)

Höyryvoimalaitoksen säädöt voidaan jakaa karkeasti blokkisäätöön ja viiteen pääsäätöpiiriin. Blokkisäädöllä voidaan koordinoita kattilan ja turbiinin yhteistoimintaa, siten etteivät laitoksen osat ylikuormitu tuottaessa pyydettyä tehoa. Pääsäätöjä ovat syöttöveden määrä, tuorehöyryn lämpötila, polttoteho, sähköteho/taajuus ja tulipesän paine. (Joronen 2015, 147, 149.)

#### 3.1 Turbiini seuraa kattilaa -säätötapa

Tällä säätötavalla sähkötehoa säädetään muuttamalla kattilan polttotehoa. Kun kattilaa ajetaan vakiohöyrynpaineella ja polttotehoa muutetaan, reagoi turbiinin säätöventtiili höyrynpaineen muutoksiin seuraavalla tavalla: säätöventtiili vähentää turbiinille menävän höyryn määrää, kun paine alkaa laskea. Kun paine taas alkaa nousta, lisää säätöventtiili turbiinille menevän höyryn määrää. Saman aikaisesti saatu sähköteho muuttuu nopeasti, koska turbiinin aikavakio on pieni. Kun kattilaa ajetaan liukuvalla höyrynpaineella, on säätöventtiili kokonaan auki ja polttotehon muutokset vaikuttavat suoraan tuotettavan höyryn määrään ja näin ollen turbiinin tehoon. Kattilan aikavakio on suuri, joten kattila-turbiinisyksikkö reagoi hitaasti kuorman muutoksiin. (Joronen 2015, 150.)

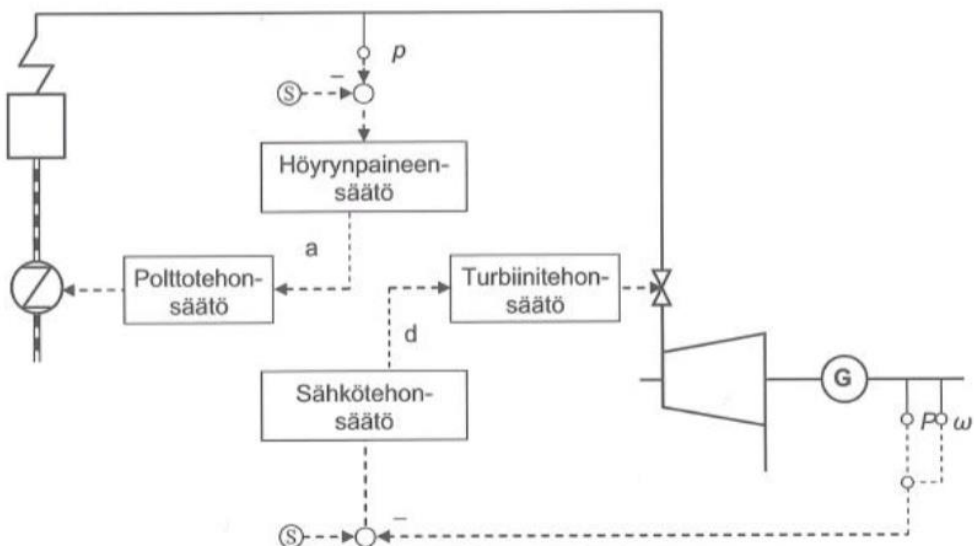
Turbiini seuraa kattilaa -säätötavan heikkous on, ettei se käytä tehon muutoksissa hyväkseen kattilaan sitoutunutta energiaa. Varastoitunut energia kattilassa muodostuu vesihöyry massasta ja lämmönsiirtoelementtien metallimäärästä. Kattilaan sitoutuneesta energiasta on hyötyä, jos kuormia nostetaan nopeasti, mutta siitä on myös haittaa, jos kuormia tarvitsee laskea nopeasti. (Joronen 2015, 150.)



Kuva 4. Turbiini seuraa kattilaa -sääötapa (Joronen 2015, 150.)

### 3.2 Kattila seuraa turbiinia -sääötapa

Tällä säätötavalla sähkötehoa säädetään muuttamalla turbiinin tehoa ja höyrnpainetta polttoteholla. Kun tehon pyyntö kasvaa, avautuu turbiinin säätöventtiili. Tällöin höyrin kulutus kasvaa ja paine höyrylinjassa laskee, jolloin kattila lisää polttotehoa. Tehon pyynnön laskiessa ilmiö on päinvastainen. Turbiinin säätöventtiili sulkeutuu, höyrin kulutus vähenee ja höyrylinjan paine nousee, jolloin kattilaa vähentää polttotehoa. Tällä säätötavalla kattilaan varastoitunutta energiaa käytetään hyödyksi ja sähkötehoon tehtävät muutokset ovat nopeita. (Joronen 2015, 150-151.)



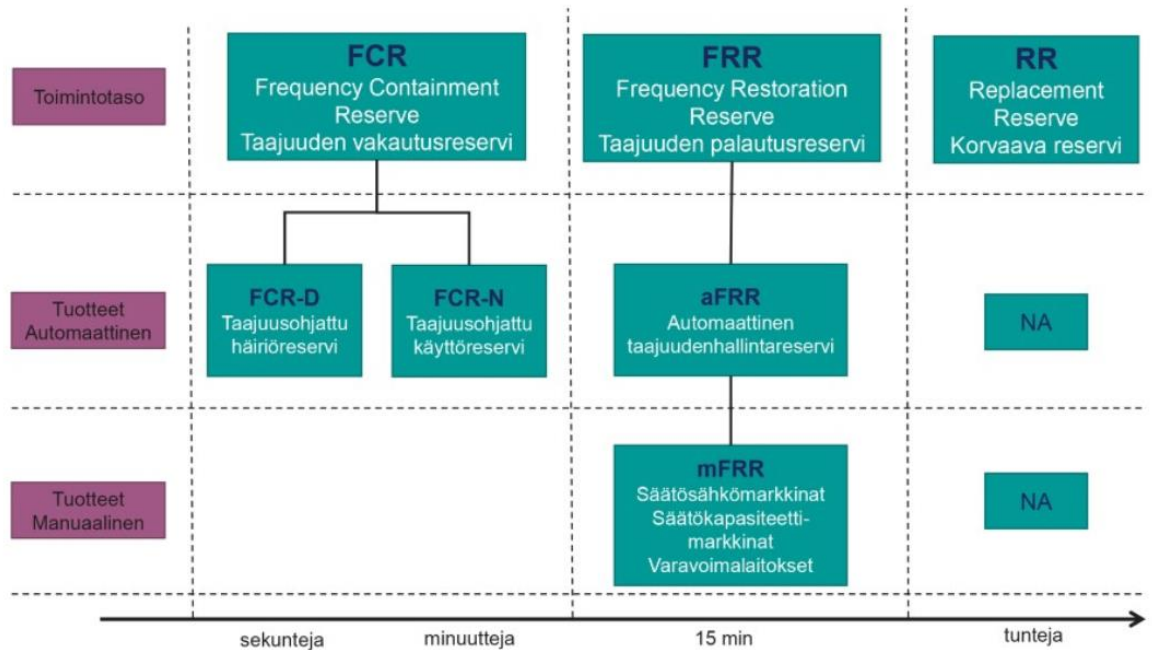
Kuva 5. Kattila seuraa turbiinia -sääötapa (Joronen 2015, 151.)

## 4 NYKYISET SÄHKÖMARKKINAT

Suomen nykyiset sähkömarkkinat saivat alkunsa vuonna 1995, kun uusi sähkömarkkinalaki astui voimaan. Uudistuksen tavoitteena oli tehostaa toimintaa ja liittää Suomen sähkömarkkinat osaksi pohjoismaisia sähkömarkkinoita avaamalla sähkökauppa kilpailulle. Sähkömarkkinoiden avaamisen myötä sähköstä tuli normaali kauppatavara, jonka tuotannon, hinnan ja myynnin markkinat määräävät. Sähkömarkkinajärjestelmän luonnilla pyrittiin sähkön hinnan laskuun kilpailun myötä, mutta sähkön hinta loppukäyttäjälle on kuitenkin noussut. Hinnan nousuun syynä ovat polttoainekustannusten kasvaminen, päästöoikeuksien hinta ja kilpailun puute. (Elovaara 2011a, 47.)

Sähkön tuotannon ja kulutuksen tulee jatkuvasti pysyä tasapainossa, jotta sähköverkon taajuus pysyy 50,0 Hz. Normaali tilanteessa valtakunnan verkon taajuus voi vaihdella 49,9 Hz ja 50,1 Hz välillä. Suurien taajuuspoikkeamien seurauksena sähköntuotantolaitokset ja sähkölaitteet voivat vaurioitua, sekä pahimmassa tapauksessa aiheuttaa laajan sähkökatkon. Fingridin tehtävä on huolehtia kulutuksen ja tuotannon välisestä tasapainosta aktivoimalla säätötarjouksia ylläpitämiltään säätösähkömarkkinoilta ja varaamalla reservejä. Reservit ovat tuotantolaitoksen tai kulutusyksikön vapaata säätökykyistä pätehtokapasiteettia. Fingrid hankkii erilaisia reservituotteita, jotka reagoivat kulutuksen ja tuotannon muutoksiin eri aikatasoilla. (Fingrid Oyj n.d, Kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito.)

Suomessa reservimarkkinat on jaettu neljään eri osaan niiden reagointinopeuden ja käytettävyyden perusteella. Ensimmäisenä ja jatkuvasti käytössä on 138 megawattia taajuusohjattua käyttöreserviä (FCR-N), joka kykenee säätämään taajuutta automaattisesti parin minuutin viiveellä. Seuraavaksi aktivoituu automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR), joka kykenee niin ikään aktivoitumaan parissa minuutissa. Automaattista taajuudenhallintareserviä on käytettävissä 70 megawattia. Jos edellä mainitut reservit eivät kuitenkaan riitä vastaamaan sähkön tarvetta, otetaan käyttöön yhteis-pohjoismaiset säätösähkömarkkinat (mFRR), jonka tulee aktivoitua 15 minuutissa pyynnöstä. Häiriön sattuessa ja taajuuden laskiessa alle normaaliin 49,9 Hz, aktivoituu automaattisesti taajuusohjattu häiriöreservi FCR-D, joka kykenee reagoimaan sekunneissa. Taajuusohjattua häiriöreserviä Fingridillä on käytössään 220-265 MW. (Fingrid Oyj 2018b, 5-10.)



Kuva 6. Erilaiset reservituotteet (Fingrid Oyj 2018b, 4.)

#### 4.1 Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi

Taajuusohjattu käyttöreservi ja taajuusohjattu häiriöreservi ovat automaattisesti aktivoituvia päätöshoreservejä, joita käytetään jatkuvaan taajuuden hallintaan. Taajuusohjatun käyttöreservin tarkoitus on pitää taajuus normaalitaajuusalueella, eli 49,9 – 50,1 Hz:ssä. Taajuusohjatun häiriöreservin on tarkoitus pitää taajuus vähintään 49,5 Hz:ssä taajuuden laskiessa normaalitaajuusalueen alapuolelle. Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin ylläpitoon voi osallistua, kunhan täyttää Fingridin tekniset vaatimukset. Vaatimusten täytyminen osoitetaan säätökokeilla ennen markkinoille osallistumista. Säätökykyistä kapasiteettiaan voi tarjota vuosi- ja/tai tuntimarkkinoille. Molempien markkinoiden tekniset vaatimukset ovat samat ja molempien kaupankäyntikohteena on erikseen taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi. (Fingrid Oyj n.d. Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi.)

Vuonna 2019 taajuusohjatusta käyttöreservistä maksetaan kapasiteettikorvausta 13,50 €/MW, h ja taajuusohjatusta häiriöreservistä 2,40 €/MW, h. Taajuusohjatussa käyttöreservissä kapasiteettikorvauksen lisäksi Fingrid maksaa reservitoimittajalle energiakorvauksen ylössäätötarjouksista kertomalla tuotetun energian kunkin tunnin ylössäätöhinnalla. Alassäätötarjouksissa Fingrid veloittaa reservitoimittajalta energiakorvauksen myymästään reservisähköstä, joka lasketaan kertomalla kullakin tunnilla tuotettu tai kulutettu energia kunkin tunnin alassäätöhinnalla. Reservitoimittaja lähettää Fingridille laskun liittyen kapasiteettikorvaukseen kunkin kuukauden 10. päivänä tai seuraavana arkipäivänä. (Fingrid 2019a, 3.)

##### 4.1.1 Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosimarkkinat

Yhden tarjouksen maksimikapasiteetti taajuusohjatuksi käyttöreserviksi on 5 MW ja taajuusohjatuksi häiriöreserviksi 10 MW. Yhden tarjouksen minimikapasiteetti taajuusohjatuksi käyttöreserviksi

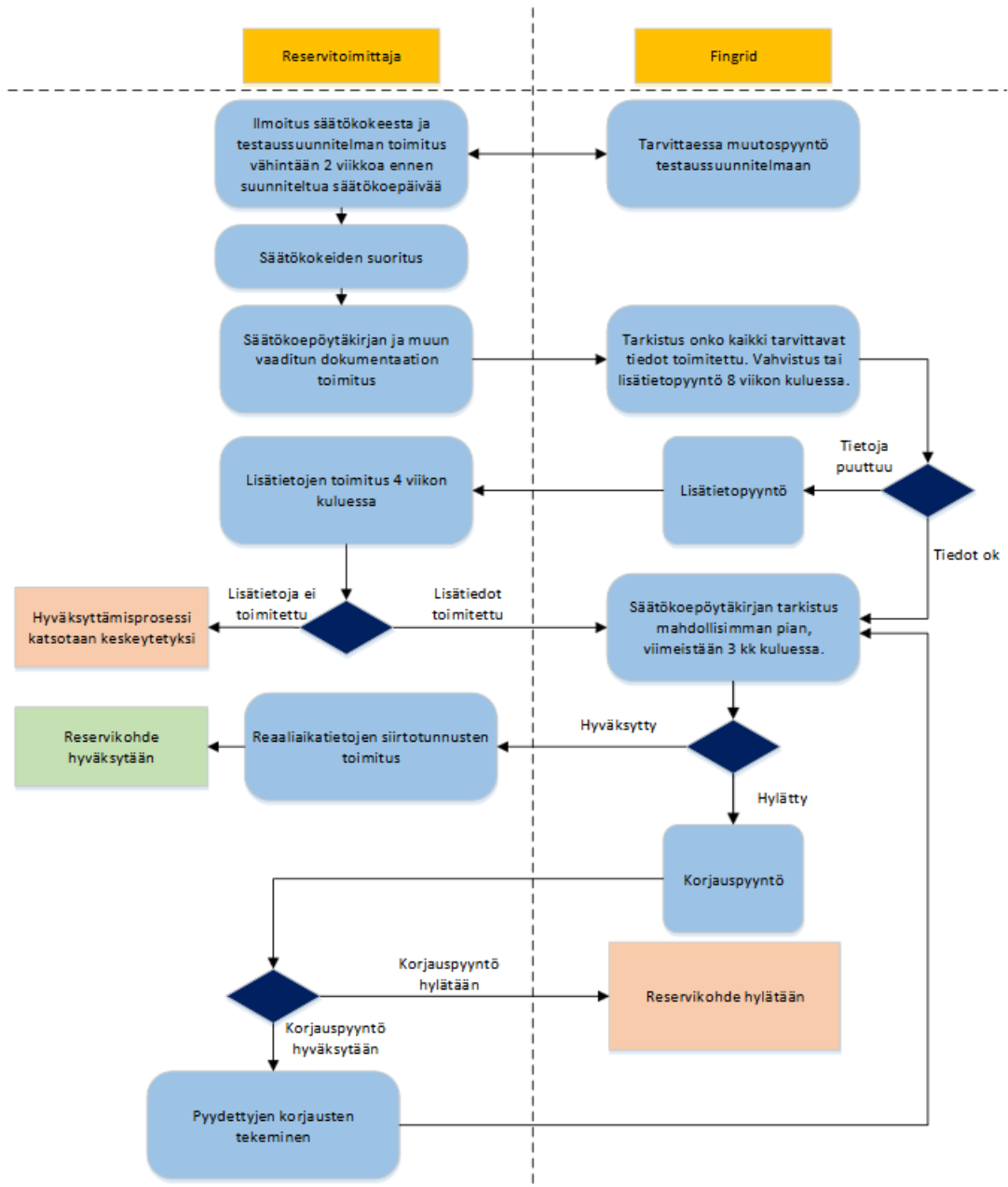
on 0,1 MW ja taajuusojatuksi häiriöreserviksi 1 MW. Tarjoukset on jätettävä 0,1 MW tarkkuudella ja reservintoimittaja voi jättää useita tarjouksia, kunhan ne eivät ole linkitettyjä toisiinsa. Tarjouksen tulee sisältää seuraavat tiedot: reservin nimi, tuote, kapasiteetti megawatteina, hinta käytettävyydestä koko sopimuskaudella €/megawattia tunnissa ja onko reservi kulutusta, tuotantoa vai aggregointia. Fingrid päättää vuosimarkkinoilla hankittavat reservimäärät saatujen tarjousten hintatason, pysyvyyden ja muiden hankintavaihtoehtojen perusteella siten, että kokonaishankinta riittää kattamaan Fingridin sitoumuksen sähköjärjestelmän normaali- ja häiriötilanteissa. Tarjoukset hyväksytään erikseen taajuusohjatulle käyttö- ja häiriöreserville kerran vuodessa järjestettävän tarjouskilpailun päätteeksi. Tarjouskilpailut järjestetään syksyisin, eikä kesken sopimuskauden voi osallistua reservin ylläpitoon vuosisopimuksella. Hinta määräytyy kalleimman vuosimarkkinalle hyväksytyt tarjouksen mukaan ja sama hinta on voimassa koko vuoden. Vuosimarkkinasopimuksen tehneen reservitoimittajan on toimitettava reservisuunnitelma, josta selviää seuraavan vuorokauden tuntien reservimäärät. Taajuusohjatun käyttöreservin suunnitelma tulee olla tasevastaava- ja tasekohtainen. Taajuusohjatusta häiriöreservistä, joka kytkeytyy releellä yhdellä portaalla, tulee jättää oma reservisuunnitelma, eli sitä ei voi yhdistää lineaarisesti tai paloittain lineaarisesti aktivoituvan reservin suunnitelmaan. Reservisuunnitelma voi olla kooltaan enintään vuosimarkkinasopimuksessa sovittu reservimäärä ja suunnitelma jätetään 0,1 MW:n tarkkuudella klo 18:00 mennessä. (Fingrid 2018c, 6-7.)

#### 4.1.2 Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin tuntimarkkinat

Tarjouksen maksimi- ja minimikapasiteetit ovat tuntimarkkinoilla samat kuin vuosimarkkinoilla. Tarjoukset tulee myös jättää 0,1 MW tarkkuudella. Tarjouksen tulee sisältää seuraavat tiedot: tuote, kapasiteetti megawatteina, hinta käytettävyydestä €/megawattia tunnissa ja tunti, jolle tarjous jätetään. Jos tuote on taajuusohjattua käyttöreserviä, tulee ilmoittaa säätöobjektitunnus, joka sisältää tiedot taseesta ja tasevastaavasta. Jos tuote taas on taajuusohjattua häiriöreserviä, tulee ilmoittaa säätötavaksi joko lineaarinen, paloittain lineaarinen tai yhdellä portaalla aktivoituvaa relekytketty reservi ja onko kyseessä tuotantoa, kulutusta vai aggregointia. Tuntikohtaiset tarjoukset jätetään seuraavalle vuorokaudelle klo 18:30 mennessä Vaksi web järjestelmään. Fingrid asettaa tarjoukset hintajärjestykseen ja hyväksyy aina halvimman tarjouksen erikseen taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin osalta. Tarjouksesta vain osa saatetaan hyödyntää, mutta häiriöreservistä käytetään aina vähintään 1 MW. Fingrid vahvistaa seuraavan päivän kaupat klo 22 mennessä. (Fingrid 2018c, 7-8.)

#### 4.2 Automaattinen taajuudenhallintareservi

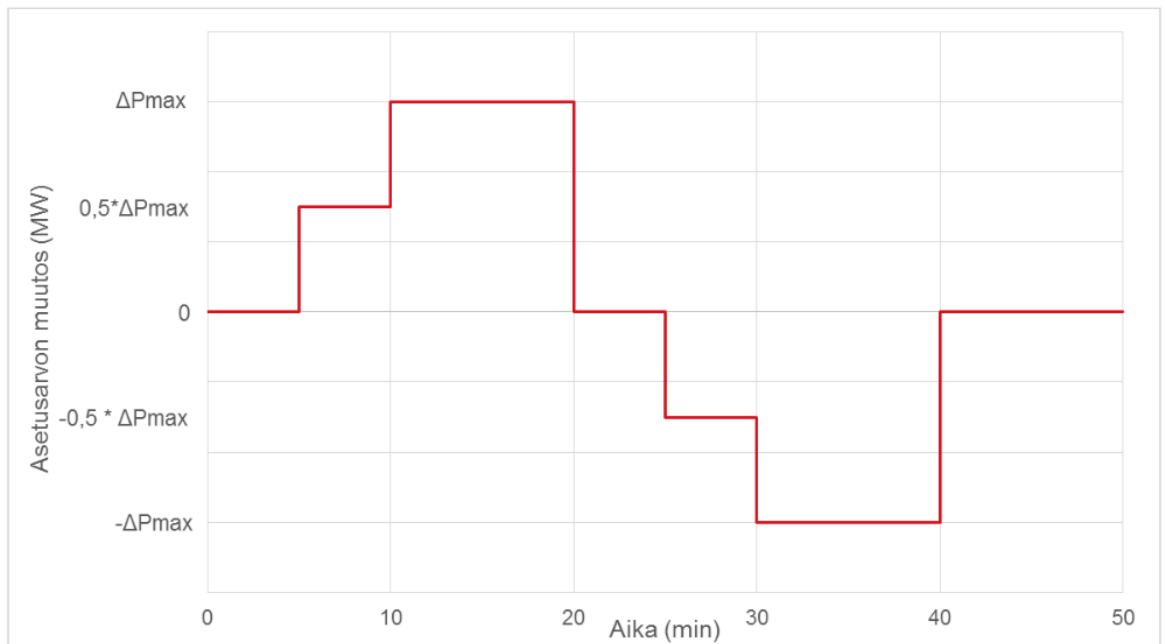
Automaattinen taajuudenhallintareservi on vuonna 2013 käyttöön otettu reservilaji, jonka tarkoitus on palauttaa taajuus nimellisarvoon 50 Hz. Automaattinen taajuudenhallintareservi aktivoituu nimensä mukaisesti automaattisesti, kun pohjoismaisella synkronointialueella tapahtuu taajuuspoikkeama kantaverkkoyhtiön lähettämän tehomuutossignaalin perusteella. Säädon tulee olla kooltaan vähintään 5 MW ja aktivoitua 2 minuutissa. Fingrid hankkii automaattista taajuudenhallintareserviä tuntimarkkinoilta sekä muista pohjoismaista tietyille aamu- ja iltatunneille, jotka ilmoitetaan aina etukäteen. Tuntimarkkinoille voi jättää tarjouksia ylös- ja alassäätö kapasiteetista. (Fingrid Oyj n.d. Automaattinen taajuudenhallintareservi).



Kuva 7. Automaattisen taajuudenhallinta reservin hyväksymisprosessi (Fingrid Oyj 2019b, 3.)

#### 4.2.1 Automaattiseen taajuudenhallintaan osallistuminen

Osallistuakseen automaattiseen taajuudenhallinta reserviin, tulee reservikohteen suorittaa säätökoe, joka suoritetaan normaalissa käyttötilanteessa. Reservikohte saa Fingridiltä testisekvenssin, jolla testataan suurin ja pienin tehonmuutos, jota reservikohteen halutaan toteuttavan. Jollei sekvenssiä voida syöttää sellaisenaan, voidaan tehon muutokset tehdä manuaalisesti. Säätökokeen tulokset kirjataan ylös vapaamuotoiseen säätökoepöytäkirjaan, joka lähetetään Fingridille sähköisesti säätökokeen jälkeen. Mikäli reservinhaltijan järjestelmään tehdään muutoksia, jotka vaikuttavat yksikön säätökykyyn, tulee säätökoe uusia. Säätökokeista tulee ilmoittaa Fingridille vähintään kahta viikkoa ennen testauspäivämäärää, jotta Fingrid voi lähettää oman asiantuntijansa mukaan säätökokeeseen. Säätökoe on voimassa viisi vuotta ja se tulee uusia ennen voimassaoloajan päättymistä. (Fingrid 2019b, 2-5.)



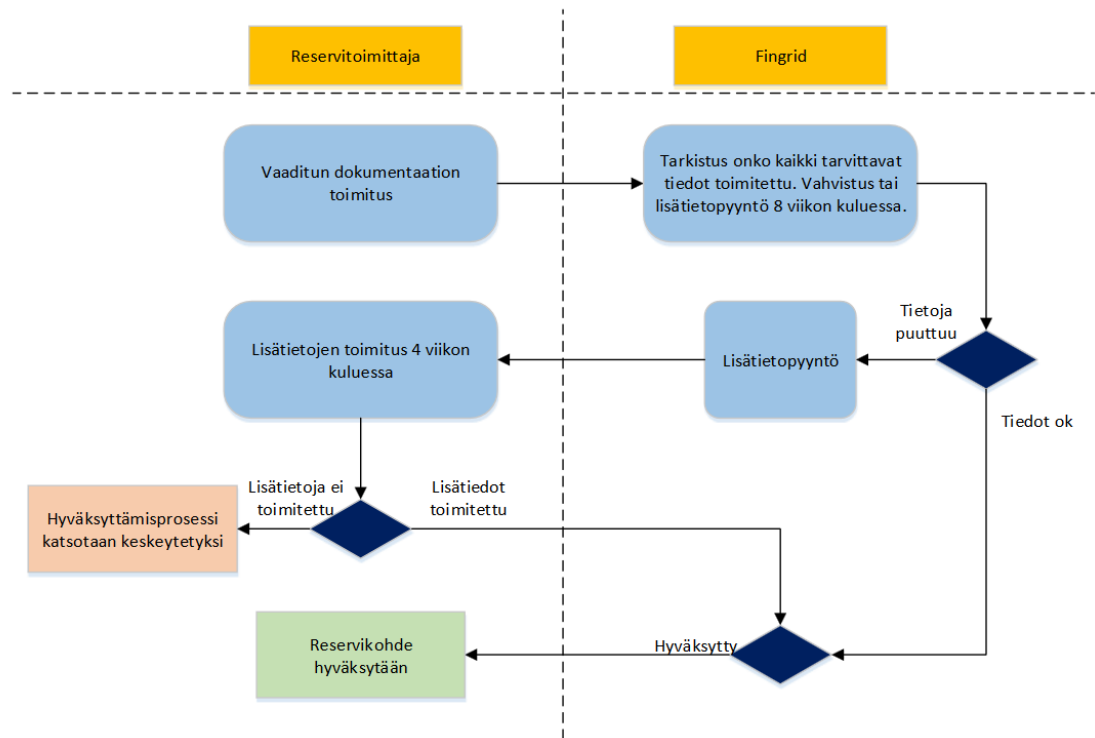
Kuva 8. Testisekvenssi (Fingrid Oyj 2019b, 6.)

Kun reservikohde on hyväksytty, se voi jättää Fingridille minimissään 5 MW tarjouksia ylös- tai alassäätö kapasiteetistaan tietyille tunneille, jotka Fingrid ilmoittaa etukäteen. Esimerkiksi vuoden 2019 ensimmäiselle 13 viikolle aamutunnit ovat 04:00 - 08:00 ja iltatunnit 16:00 – 20:00. Tarjouksesta jätetään myös kapasiteetin hinta ylös- ja alassäädölle, sekä aktivointisignaalin tyyppi, jolla reservi aktivoidaan. Tarjoukset seuraavalle päivälle tulee jättää kello 17:00 mennessä, mutta tarvittaessa Fingrid voi pyytää sitovia tarjouksia jo kahta vuorokautta ennen toimituspäivää. Fingrid käyttää tarjoukset hintajärjestyksessä, aloittaen halvimmasta. Samanhintaiset tarjoukset käytetään saapumisjärjestyksessä ja hyväksytty tarjous käytetään kokonaisuudessaan. Seuraavan vuorokauden kaupat Fingrid vahvistaa kello 18:05 mennessä. (Fingrid 2016, 2-3.)

#### 4.3 Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat

Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat ovat Fingridin ja muiden pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden ylläpitämä sähkömarkkina, jonne sähköntuottajat ja kuorman haltijat voivat antaa säätötarjouksia omasta vapaasta sähkökapasiteetistaan. Nämä kantaverkkoyhtiöt aktivoivat tarvittaessa tarjouksia säätösähkömarkkinoilta häiriön sattuessa tai niiden omien reservien loppuessa. Säätökapasiteettimarkkinat ovat sisältyneet 1.5.2017 lähtien säätösähkömarkkinasopimukseen. (Fingrid Oyj n.d, säätösähkö ja säätökapasiteetti markkinat.)

Säätökapasiteettimarkkinoilla Fingrid varmistaa ylössäätötarjouksien määrän seuraavan päivän säätösähkömarkkinoille. Säätökapasiteettimarkkinoilla kapasiteetti kilpailutetaan viikoksi kerrallaan. Jos reservinmyyjä tulee valituksi, sitoutuu hän jättämään ylössäätötarjouksen aina edellispäivän klo 11.00 mennessä. Reservin myyjä saa korvausta jo pelkästä ylössäätötarjouksen jättämisestä, sekä lisäkorvausta jos tarjous aktivoituu. (Fingrid Oyj 2018b, 12.)



Kuva 9. Säätosähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoiden hyväksymisprosessi (Fingrid Oyj 2019b, 3.)

#### 4.3.1 Säätosähkötarjouksen jättäminen

Säätotarjouksia jätetään resursseista, jotka kykenevät 10 MW tehonmuutokseen 15 minuutin kuluessa, tai jos käytössä on elektroninen tilaus, voi tarjous olla pienimmillään 5 MW. Elektronisella tilauksella tarkoitetaan, että Fingrid lähettää elektronisen sanoman säätosähkömarkkinaosapuolelle, jolla Fingrid tilaa jätetyn tarjouksen. Tarjoukset jätetään Fingridille viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia. Tarjoukset tehdään Fingridin Vaksi-järjestelmään. Tarjouksen tulee olla kokonaisen MW:n tarkkuudella. (Fingrid Oyj n.d, säätosähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat).



Kuva 10. Tarjousten periaate (Fingrid Oyj n.d, säätotarjoukset.)

#### 4.3.2 Sääkapasiteettitarjouksen jättämien

Kapasiteettitarjoukset jätetään viikoittain viimeistään torstaina kello 12.00 mennessä. Enimmäiskapasiteetti on 50 MW ja vähimmäiskapasiteetti 5 MW. Tarjoukset jätetään 1 MW:n tarkkuudella. Re-

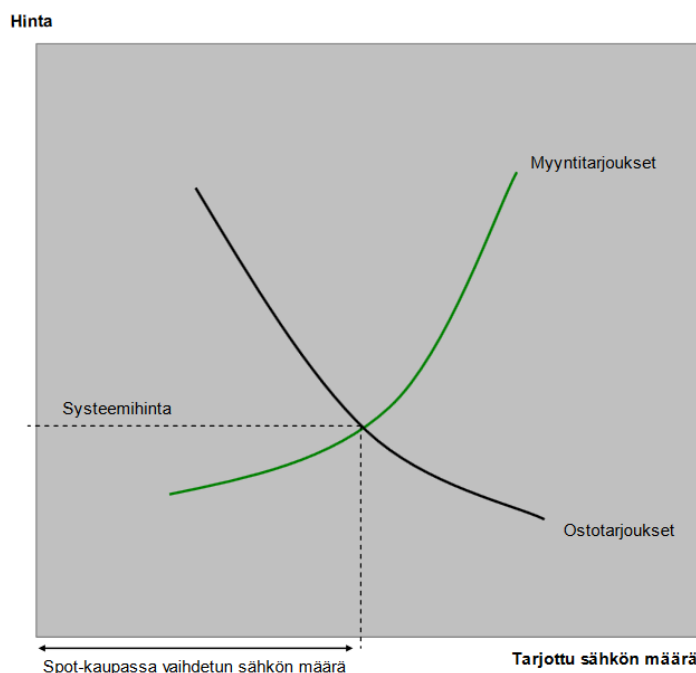
servikohteen on kyettävä vähintään kolmen tunnin yhtämittaiseen aktivointiin. Kapasiteettisopimukset jätetään niin ikään reservikaupankäyntijärjestelmässä eli Vaksi:ssa. (Fingrid Oyj n.d, säätömarkkinasopimus liite 2. Säätokapasiteettimarkkinoiden säännöt, 1-2).

Päivä	Kello (EET)	Tapahtuma
D-4 (torstai)	12:00	Kapasiteettitarjoukset tulee olla jätetty
D-3 (perjantai)	12:00	Fingrid julkaisee hankintapäätöksen Säätokapasiteettimarkkinoilta
D-1 (sunnuntai)	11:00	Säätokapasiteettitarjoukset tulee jättää hankintajakson 1. päivälle
D (maanantai)	1:00	Hankintajakson 1. päivä alkaa

Kuva 11. Säätokapasiteettimarkkinoiden tarjouskilpailun aikataulu (Fingrid Oyj n.d, säätömarkkinasopimus liite 2 säätokapasiteettimarkkinoiden säännöt, 1.)

#### 4.4 Elspot-markkinat

Spot-kaupankäyntiin osallistuvat yritykset lähettävät osto- ja myyntitarjouksensa Nord Pool Spot:iin päivittäin kello 13:een mennessä. Kauppaa voi käydä pienimmillään 0,1 MWh:sta ja hinta voi vaihdella 0€/MWh ja 2000€/MWh välillä. Kauppa tehdään aina seuraavan vuorokauden tunneista, joko tunti- tai blokkitarjouksina. Tuntitarjoukset lähetetään rajatarjouksina, jolloin osto- tai myyntitarjous voidaan tehdä hinnan ja määrän suhteen ehdollisena. Blokkitarjoukset ovat kokonaistarjouksia, jotka toteutuvat usealle tunnille joko kokonaan tai eivät ollenkaan. Sähköpörssi Nord Pool Spot yhdistää tarjoukset tunneittain erillisiksi myynti- ja ostokäyriksi, joiden leikkauspiste muodostaa systeemihinnan, joka on kaikille markkinaosapuolille sama. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 45).



Kuva 12. Hinnan ja volyymin määräytyminen Elspot-markkinoilla (Elinkeinoelämän keskusliitto 2012, 45.)

#### 4.5 Elbas-markkinat

Elbas-markkinoiden pyrkimys on olla ajallisesti mahdollisimman lähellä sähkön fyysistä toimitusta, jotta kysyntä ja tarjonta saadaan kohtaamaan mahdollisimman tarkasti. Elbas-markkinoilla tarjouksia voidaan tehdä 15-, 30- ja 60 minuutin jaksoina tai kokonaisina blokkeina. Pienin tarjous voi olla 0,1 MW ja tarjoukset jätetään viimeistään 30 minuuttia ennen käyttötuntia. (Nord pool AS n.d, intraday trading.)

#### 4.6 Tehoreservi

Tehoreservin tarkoituksena on turvata sähkön toimitusvarmuus Suomessa tilanteissa, kun markkinaehtoinen tarjonta ei riitä kattamaan sähkönkulutusta. Järjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2007 ja sen perusteena on laki sähköntuotannon ja -kulutuksen välistä tasapainoa varmistavasta tehoreservistä, jota uudistettiin vuonna 2011. Tehoreserviin voivat osallistua voimalaitokset ja joustavaan sähkön kulutukseen kykenevät kohteet. Energiavirasto määrittää tarvittavan tehoreservin määrän, kilpailuttaa reservilaitokset, vahvistaa reservin ehdot ja valvoo järjestelmän toimintaa sekä lain noudattamista. (Energiavirasto n.d, tehoreservijärjestelmä.) Tehoreservipalvelua hallinnoi Fingrid Oyj:n tytäryhtiö Finextra Oy.

Tehoreservin tulee kyetä käyttöönottoon enintään 12 tunnissa käskyn antamisesta 1. joulukuuta ja 28. helmikuuta välisenä aikana sekä enintään yhden kuukauden kuluessa käskyn antamisesta muuna aikana. Sen lisäksi yksiköllä tulee olla valmius vähintään 200 tunnin käyttöaikaan täydellä teholla 1. joulukuuta ja 28. helmikuuta välisenä aikana. Tehoreservin tulee käynnissä ollessaan kyetä vähintään 10 MW tehonlisäykseen 10 minuutin kuluessa käskyn antamisesta. Samat vaatimukset ovat käytössä myös sähkönkulutuksen joustoon kykenevillä kohteilla. (Laki sähköntuotannon ja -kulutuksen välistä tasapainoa varmistavasta tehoreservistä 2011, §8.)

Tehoreservi hankitaan neljän vuoden jaksoissa ja nykyinen tehoreservikausi päättyy 30.6.2020. Tehoreservin kokonaiskapasiteetti tällä kaudella on 729 MW ja sen ylläpitokustannukset ovat noin 13,8 miljoonaa euroa vuodessa. (Energiavirasto n.d, tehoreservijärjestelmä.)

#### 4.7 Tasesähkö

Tasesähkö tarkoittaa sähkön kuluttajan osalta ostetun sähkön ja toteutuneen kulutuksen välistä eroa. Sähköntuottajan osalta se tarkoittaa myydyn sähkön ja toteutuneen tuotannon välistä eroa. Jokaisen markkinoilla toimivan osapuolen on huolehdittava omasta sähkötaseestaan, säilyttämällä sähkön tuotannon ja hankinnan, sekä kulutuksen ja myynnin välinen tehotasapaino. Todellisuudessa osapuoli ei pysty tähän, vaan sillä on avoin toimittaja, joka pitää huolen sähkötaseen tasapainottamisesta. Tasevastaava ja Fingrid sopivat toimituksesta tasepalvelusopimuksella. (Fingrid n.d, tasesähkö.)

Tasesähkön idea perustuu siihen, että etukäteen sovituista kaupoista poikkeaminen aiheuttaa sähkön tuottajalle tai kuluttajalle kustannuksia. Tasepalveluille on määritetty hinta, joka koostuu kuukausimaksusta, tuotantomaksusta, kulutusmaksusta, tasepoikkeaman volyymimaksusta ja tasesähkön energiamaksusta. (Elovaara 2011a, 395.) Nykyään Suomessa toimii yli 50 tasevastaavaa.

#### 4.8 Yhteenveto reservimarkkinoille osallistumisesta

Reservin myyjän tulee olla säätökykyisen kohteen omistaja, sähkönmyyjä tai tasevastaava. Jos reservinmyyjä ei omista kohdetta, tulee sillä olla kohteen omistajan lupa säätökäytöstä. Säätökäytöstä tulee informoida kohteen tasevastaavaa, mikäli omistaja ei itse ole tasevastaava. Reservin myyjän on tehtävä sopimus Fingridin kanssa osallistumisesta reservimarkkinoille. Taajuusohjattuun käyttäjä häiriöreserviin on tehtävä vuosisopimus ja/tai tuntimarkkinasopimus, automaattiseen taajuudenhallintareserviin aFRR-sopimus, säätösähkömarkkinoille säätösähkömarkkina sopimus ja säätökapasiteettimarkkinoille säätösähkömarkkinasopimus. Reservikohteen on täytettävä tekniset vaatimukset ja markkinapaikan edellytykset, joiden lisäksi reservin tulee sijaita Suomessa tai olla kytkettävissä suoraan Suomen sähköverkkoon. (Fingrid Oyj n.d, kuinka osallistua reservimarkkinoille.) Edellä mainitut ehdot ja sopimukset koskevat Fingridin hallinnoivia markkinoita. Näihin eivät kuulu Elspot ja Elbas, joita ylläpitää Nordpool, eikä tehoreservi, jota ylläpitää energiavirasto.

Tuote	Sopimustyyppi	Minimitarjouskoko	Markkinapaikan sulkeutumisaikakohta	Aktivoituminen	Aktivoituu	Korvaustaso 2018 *)
Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	Vuosi- ja tuntimarkkinat	0,1 MW	Vuosimarkkinat edellisvuoden syksyllä, tuntimarkkinat D-1 klo 18:30	Lineaarisesti välillä 50,1 - 49,9 Hz, 0,1 Hz muutos 100 % 3 min	Useita kertoja tunnissa	14 €/MW,h (vuosimarkkinat)
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	Vuosi- ja tuntimarkkinat	1 MW	Vuosimarkkinat edellisvuoden syksyllä, tuntimarkkinat D-1 klo 18:30	Voimalaitokset: lineaarisesti välillä 49,9 - 49,5 Hz kun f alle 49,5 Hz 50% 5s ja 100% 30s	Useita kertoja vuorokaudessa	4,5 €/MW,h (vuosimarkkinat)
			Vuosimarkkinat edellisvuoden syksyllä, tuntimarkkinat D-1 klo 18:30	Relekytketyt kuormat: vaihtoehtoisesti 49,7 Hz 5s TAI 49,6 Hz 3s TAI 49,5 Hz 1s	Muutaman kerran vuodessa	
Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	Tuntimarkkinat	5 MW	D-1 klo 17:00	FG:n lähettämän tehopyyntisignaalin mukaisesti, 100% 2 min	Useita kertoja vuorokaudessa	Kapasiteettikorvaus pay as a bid -periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Säätösähkömarkkinat (mFRR)	Tuntimarkkinat	5 MW	45 min ennen käyttötuntia	100% 15 min	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Markkinahinta
Säätökapasiteettimarkkinat (mFRR)	Viikkomarkkinat	5 MW	Edellisviikon tiistaina klo 12:00	100 % 15 min	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Kapasiteettikorvaus pay as a bid -periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Vuorokausimarkkina (Elspot) **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	D-1 klo 13:00	12 h	-	Markkinahinta
Päivän sisäinen markkina (Elbas) **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	30 min ennen käyttötuntia	1 h	-	Markkinahinta
Tehoreservi ***)	Pitkäaikainen	10 MW	-	15 min kuormille, 12 h voimalaitoksille	Harvoin	EV:n hankintakilpailun mukaisesti

\*) Korvaustason hinnat ovat viitteellisiä, tarkemmat ehdot ja hinnoitteluperiaatteet löytyvät kuhunkin markkinapaikkaan liittyvistä sopimuksista. Reservien toteutuneet hinnat on esitetty [täällä](#).

\*\*\*) Nord Pool

\*\*\*\*) Energiavirasto

Kuva 13. Yhteenveto markkinapaikoista (Fingrid Oyj n.d, markkinapaikat.)

## 5 ALASSÄÄTÖTARJOUKSEN LASKENTA

Yrityksen pyynnöstä laadittiin sähkömarkkinoille osallistumista varten Excel-taulukko, jolla voidaan laskea alassäättötarjoukselle kannattava hinta. Taulukon toteuttaminen ei ollut ihan yksinkertaista, koska Riikinvoima Oy on mankalayhtiö. Näin ollen taulukossa oli otettava huomioon sähkön- ja kaukolämmöntuotantoon sekä jätteenpolttoon liittyviä lukuja, eikä joka kohtaan ollut suoraan todellista arvoa, vaan oli tehtävä arvio. Esimerkiksi tuotetusta kaukolämmöstä tai poltetusta jätteestä saatava hinta ei voi etukäteen tietää, koska käyttökustannukset ovat kuukausittain muuttuvia.

Laskentataulukko on toteutettu niin, että kaikkia oleellisia arvoja voidaan muokata, ja mahdollisimman lähelle todellista hintaa päästään, kun arviot ovat tarkkoja. Taulukkoon tehtiin kaksi eri skenaariota. Ensimmäisessä otetaan huomioon vain sähkөөn ja jätteenpolttoon vaikuttavat tekijät, tämä vastaa tilannetta kesäolosuhteissa ja tilanteita, jolloin kaukolämmön tarve on pieni, rajana pienelle tarpeelle voidaan pitää 10 megawattia ja tätä suurempaa kaukolämmön ylituotantoa. Toisin sanoen kun apujäähdytinkentälle pumpataan yli 10 megawattia lämpöä, voidaan käyttää ensimmäistä laskelmaa. Toinen laskelma vastaa tilannetta talviolosuhteissa ja ottaa huomioon sähkön- ja kaukolämmöntuotannon, sekä jätteenpolttoon vaikuttavat tekijät. Jälkimmäistä laskelmaa ei todennäköisesti tulla tarvitsemaan nykyisellä säätötavalla, koska talviolosuhteissa äkillinen laitoksen polttotehon pudottaminen voisi aiheuttaa lämpövajeen kaukolämpöverkossa ja kaukolämpöverkon vastaaja Varkauden aluelämpö joutuisi tuottamaan tarvitseman kaukolämmön muilla keinoilla.

Laskentaa varten tarvitaan seuraavat tiedot: laitoksen teho, laitoksen verkkoon tuottama teho, sähkön hinta markkinoilla, tuotetun kaukolämmön määrä, kaukolämmöstä saatava hinta, poltettavan jätteen määrä tunnissa ja jätteestä saatava hinta. Edellä mainitut tiedot tarvitaan kattilan maksimi- ja minimikuormilta, koska tällöin saavutetaan juuri viiden megawatin sähkötehon muutos. Lisäksi tarvitaan juuri mainittu alassäädön suuruus, eli viisi megawattia ja alassäädön hinta. Kun kaikki tiedot on syötetty antaa taulukko kyllä tai ei vastauksen kysymykseen, kannattaako alassäättötarjous jättää. Lisäksi taulukko laskee, kuinka monta prosenttia tarjouksesta saatava hyöty on. Näillä tiedoilla voidaan alassäättöhinta asettaa riittävän suureksi, jotta tarjouksen jättäminen alassäättömarkkinoille on järkevää.

Syötä harmainsiin kohtiin tarkat arvot			Alassäädöstä saatava hinta:											
	Normaalijajo	Ajo osakuormalla												
Sähkön hinta markkinoilla:	55 €/MW		Alassäädön suuruus: 5 MW											
Laitoksen verkkoon tuottama sähkö:	12 MW	7 MW	Alassäädön hinta: 95 €/MW											
			Alassäädön tuotto: 475 €/h											
Laitoksen teho:	54 MW	38 MW	Kannattaako tarjous jättää?											
Laitoksen tuottama kaukolämpö:	32 MW	20 MW	Kesällä: Kyllä Tarjouksesta saatava hyöty: 1,60 %											
Kaukolämmöstä saatava hinta:	35 €/MW		Talvella: Ei -46,48 %											
Poltettavan jätteen määrä tunnissa:	17,5 t/h	12 t/h	Alassäätöhinta €/MW											
Jätteestä saatava hinta	35 €/t		Sähkön hinta €/MW	Hävitty hinta tuotannosta	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'	110'	120'	
			10	242,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			20	292,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			30	342,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			40	392,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			50	442,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			60	492,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			70	542,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			80	592,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			90	642,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
			100	692,5	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
Tuotto sähkön myynnistä:	660 €/h	385 €/h												
Tuotto Kaukolämmöstä:	1120 €/h	700 €/h												
Tuotto poltetusta jätteestä:	612,5 €/h	420 €/h												
	yht. 2393 €/h	1505 €/h												
Hävitty hinta sähkössä:	275 €/h													
Hävitty hinta kaukolämmössä:	420 €/h													
Hävitty hinta jätteessä:	192,5 €/h													
	yht. 887,5 €/h													
Tilanne, kun kaukolämpöä tuotetaan riittävästi (~10 MW kentälle):	yht. 467,5 €/h													

Taulukko 1. Alassäätötarjouksen laskenta (Sisso, 2019.)

Taulukko laskee tuoton suuruuden normaalijajossa ja osakuormalla, jonka jälkeen se laskee yhteen osakuorman tuotannon hinnan, jätettävän alassäätötarjouksen hinnan ja vertaa tätä summaa normaalijajosta saatavaan hintaan. Jos yhteenlaskettava summa on suurempi, on tarjouksen jättäminen kannattavaa, jolloin solu muuttuu vihreäksi ja vastaus on "kyllä". Jos normaalijajolla saatava summa taas on suurempi, muuttuu solu punaiseksi ja vastaus on "ei".

Taulukkoa helpottamaan luotiin osuus, josta näkee suoraan, paljonko alassäätötarjouksen hinnan on oltava, jotta se on kannattava eri sähkönhinnoilla. Tämän ansiosta taulukon käyttäjän ei tarvitse arvailla alassäätötarjouksen hintaa, vaan hän osaa määrittää sen suoraan katsomalla taulukkoa. Kun taulukkoon osataan jatkossa sijoittaa todenmukaiset summat, tarvitsee käyttäjän syöttää vain tämänhetkinen sähkön hinta markkinoilla ja katsoa oikeanpuoleisesta taulukosta riittävän kannattava alassäätöhinta. Tämä tekee alassäätöhinnan laskemisesta nopeaa ja helppoa, jolloin päivittäisen alassäätötarjouksen tekeminen on sujuvaa.

## 6 SÄHKÖMARKKINOIDEN TULEVAISUUS

Tulevaisuudessa sähkömarkkinat muuttuvat johtuen uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden tavoitteista, sekä päästökaupasta. Tuulivoiman osuus on lisääntynyt Suomessa rajusti viime vuosina yhteiskunnan tuella ja samalla perinteisestä säätökykyisestä voimantuotannosta on luovuttu. Säästäriippuvaisen sähköntuotannon lisääntyminen luo tarpeen entistä suuremalla säätösähkökapasiteetille ja siirtymisen lyhyenpään kaupankäyntijaksoon. Uudistusten myötä sähkömarkkinoista tulee reaaliaikaisempia ja markkinaehtoisempia. (Fingrid n.d, sähkömarkkinoiden kehitys.)

Suomessa pelkästään ydinvoiman kapasiteetti kasvaa 2800 megawatilla kahden uuden ydinvoimalan valmistuttua. Tämä riittäisi kattaamaan ulkomailta tuodon sähkön määrän. Ydinvoimaloiden valmistuessa päästöttömän sähköntuotannon osuus kasvaa merkittävästi ja sähkön markkinahinta mahdollisesti laskee. Lisääntyvä ydinvoima tuo myös tarvetta säätökykyiselle sähkölle, sillä ydinvoimaloita käytetään aina maksimiteholla.

Sähkön määrää valtakunnanverkossa säädetään vesivoimalla, CHP-laitoksilla, lauhdevoimalla ja tuonnilla. Fingrid on laskenut osallistumiskynnystä sähkömarkkinoille syksyllä 2016 lisääntyvän säätökapasiteetin tarpeen vuoksi. Tämä tarkoittaa sitä, että jo viiden megawatin säädöllä voi osallistua säätömarkkinoille käyttämällä elektronista aktivointia. Tästä syystä myös Riikinvoiman on mahdollista osallistua sähkömarkkinoille ja tarve tekemääni opinnäytetyöhön syntyi.

### 6.1 Varttitase

EU:n asettama suuntaviiva sähkön tasapainottamisesta velvoittaa EU:n jäsenvaltioita siirtymään 15 minuutin taseselvitysjaksoon vuoden 2020 loppuun mennessä. 15 minuutin taseselvitysjaksoon siirtymiseen voi hakea lykkäystä enintään neljäksi vuodeksi, mutta Fingrid kannattaa siirtymistä ajallaan yhtä aikaa muiden pohjoismaiden kanssa. Samalla päivänsisäiset ja säätösähkömarkkinat siirtyvät myös 15 minuutin kaupankäyntijaksoihin, jotka ovat jo käytössä Keski-Euroopassa. (Fingrid n.d, varttitaseen askelmerkit.) Taustalla syynä tähän suuntaviivaan on tuuli- ja aurinkovoiman lisääntyminen tuotantomuotona, jotka ovat alttiita nopeille sään muutoksille.

Taseselvitysjakson lyhentämisen etuja: tasepoikkeamista aiheutuvat kustannukset voidaan jakaa tarkemmin markkinatoimijoiden kesken, sähköjärjestelmän markkinaehtoinen tasapainotus lisääntyy, sähkön hinta muodostuu tarkemmin, kynnys päivänsisäisille markkinoille ja säätösähkömarkkinoille osallistumiseen alenee, sähköjärjestelmän käyttövarmuus paranee ja eurooppalaiset säätösähkömarkkinat yhtenäistyvät (Fingrid n.d, varttitaseen askelmerkit). Haittapuolena varttitaseeseen siirtyminen aiheuttaa kustannuksia kantaverkkoyhtiöille, jakeluverkonhaltijoille, tasevastaaville, sähkönmyyjille, sähkökäyttäjille ja palveluntoimittajille. Kustannukset muodostuvat muun muassa tietojärjestelmämuutoksista, lisääntyvästä tiedonsiirrosta ja mittareiden uudelleen ohjelmoinnista. Kantaverkkoyhtiöiden sidosryhmiltä muutosten toteutus kestää noin kaksi vuotta, jolloin uuteen taseselvitysjaksoon siirtyminen vuoden 2020 loppuun mennessä on mahdollista. (Fingrid 2017.)

## 6.2 Uusi taseselvitysmalli

Nykyisestä tasesähköstä ja sen hinnoittelusta on kerrottu luvussa 4.7. Lähivuosina tämä laskentatapa muuttuu samaksi kuin nykyisellä kulutustaseella ja siirtymä tapahtuu samaan aikaan varttita-seen kanssa, eli vuoden 2020 loppuun mennessä. Tämä tarkoittaa, ettei tuotanto- ja kulutustaseita käsitellä jatkossa enää yksittäin, vaan yhdessä. Yhden taseen mallissa hinta tasesähkön ostolle ja myynnille tulee useimmiten olemaan sama, mutta poikkeustilanteissa hinnoittelua voidaan soveltaa. Poikkeustilanteella tarkoitetaan, että yhdellä taseselvitysajaksolla järjestelmää on jouduttu säätämään ylös- ja alassäätösuuntiin. Yksihintajärjestelmän tavoitteena on, että tasesähkön hinta vastaa mahdollisimman tarkasti reaaliaikaista säätöön käytetyn energian arvoa. Tällä pyritään pitämään tasevastaavat mahdollisimman tarkasti taseessa ja tasapainottamaan sähköjärjestelmää. Fingridin tavoitteena on, että taseselvitysmalli olisi yhdenmukainen muiden Pohjoismaiden kanssa. Tasevastaaville uudistus aiheuttaa muutoksia taloudellisiin kustannuksiin ja ne hyötyvät jatkossa myös tuotannon järjestelmää tukevista tasepoikkeamista. Tuotantosuunnitelmaan perustuvasta tasepoikkeama laskennasta luovutaan, mutta tuotantosuunnitelmat tulee silti lähettää kantaverkkoyhtiölle. (Fingrid n.d, Taseselvitysmallin muutos.)

## 6.3 Uudet säätösähkömarkkinat

Pohjoismaisista säätösähkömarkkinoista luovutaan vuoden 2022 alkuun mennessä ja säätösähkömarkkinoista tulee Euroopan laajuiset. Tämän seurauksena tuotteiden määrittelyt muuttuvat. Manuaalisen aktivoinnin (mFFR) tulee jatkossa aktivoitua täysin 12,5 minuutissa ja automaattisen säädön (aFRR) viidessä minuutissa. Uudistuksen jälkeen tulee säätötarjous jättää kantaverkkoyhtiölle viimeistään 25 minuuttia ennen kaupankäyntijaksoa. Pienin tarjouskoko on yksi megawatti ja tarjouksia voi jättää kokonaisten megawattien välein. Tarjoukset jätetään jatkossakin Fingridille, joka hoitaa tarjoukset ja aktivointipyyntöt. Uudet kauppapaikat ovat nimeltään MARI ja PICASSO. Säätökapasiteettimarkkinoita ei näillä näkymin olla muuttamassa yhteiseurooppalaisiksi. (Fingrid n.d, Eurooppalaiset säätösähkömarkkinat.)

## 6.4 Uusi tasehallinta ja markkinapaikat Pohjoismaissa

Pohjoismaissa ollaan siirtymässä keskitetystä tasehallinnasta maakohtaiseen tasehallintaan. Tämä tarkoittaa, että jatkossa kantaverkkojenhaltijat säätävät oman alueensa tasetta jatkuvasti, jolloin Pohjoismaisen sähköjärjestelmän tila pysyy tasapainossa. Uusi malli on nimeltään ACE ja se on tarkoitus ottaa käyttöön vuoden 2021 alussa. Uudistuksella pyritään vastaamaan sähkön tuotantorakenteen ja sähkön kuluttajien käyttäytymis muutoksiin, jotka vaikeuttavat kulutuksen ennustamista ja tasehallintaa. (Fingrid n.d, Pohjoismainen tasehallinta ja uudet pohjoismaiset markkinapaikat.)

Pohjoismaissa otetaan käyttöön yhteiset aFRR- ja mFFR-kapasiteettimarkkinat vuoden 2019 aikana. Käyttöönoton jälkeen selviää, onko maakohtaisille säätökapasiteettimarkkinoille enää tarvetta. Uudistuksen jälkeen aFRR-säätökapasiteettia lisätään vaiheittain niin, että kesään 2020 mennessä sitä hankitaan vuoden jokaiselle tunnille. Taustalla uudistukseen on eurooppalainen lainsäädäntö, joka mahdollistaa tarjousalueiden välisen siirtokapasiteetin varauksen säätökapasiteettimarkkinoiden

käyttöön. Varaus voidaan hyväksyä, jos se on kokonaistaloudellisesti kannattava ja hyväksyntä tehdään kahta vuorokautta ennen kaupankäyntivuorokautta. Sääntelyviranomaisen hyväksyy rajasiirtokapasiteetti varaukset. (Fingrid n.d, aFRR-säätökapasiteettimarkkinat.)

## 7 TULOKSET

Nykyisellä säätötavalla olisi mahdollista osallistua säätösähkömarkkinoille teknisten vaatimusten puolesta. Laitoksen sähkötehon muutos on hidas toteuttaa, säätötavasta johtuen, mutta viiden megawatin sähkötehon pudotus on mahdollista toteuttaa 15 minuutissa. Näin ollen Riikinvoima voisi jättää viiden megawatin alassäätötarjouksia säätösähkömarkkinoille. Tämä edellyttää, että Riikinvoima ottaisi käyttöön elektronisen aktivoinnin, toimittaisi tarvittavat tiedot ja kirjoittaisi säätösähkömarkkinasopimuksen Fingridin kanssa. Lisäksi olisi mahdollista osallistua Nordpoolin vuorokausimarkkinoille ja päivän sisäisille markkinoille, koska niiden aktivointi aika on riittävän pitkä ja tarjouksia voidaan jättää riittävän pienestä kapasiteetista. Tämä edellyttäisi hakemuksen ja riskiarvioinnin tekemistä, jota seuraisi hyväksymisprosessi ja teknisiä järjestelyjä.

Laitosta ajetaan käytännössä aina täydellä polttoteholla, joten sähköntuottoa ei nykyisestä voida lisätä. Näin ollen ylössäätö ja säätökapasiteetti tarjousten jättäminen markkinoille ei tällä hetkellä tai lähitulevaisuudessa ole mahdollista. Hitaan sähkötehon muutoksen takia muut markkinapaikat eivät tällä hetkellä ole mahdollisia. Jatkuvan toiminnan takia tehoreserviin osallistuminen ei myöskään ole mahdollista eikä kannattavaa.

Siirtyminen kattila seuraa turbiinia -säätötapaan mahdollistaisi kattilan ajamisen niin, että tuotettu sähköteho pysyy haluttuna ja sen säätäminen onnistuu nopeasti. Säästöä syntyisi siis jo pelkällä säätötavan muutoksella, koska sähköteho saataisiin pidettyä ennustettuna, eikä tasevastaajalle tarvitsisi maksaa yli- ja alituotetusta tehosta. Tulevaisuudessa laitoksen säätötavan muuttaminen mahdollistaa osallistumisen yhä useammille markkinapaikoille. Elspot-, elbas-, ja säätösähkömarkkinoiden lisäksi Riikinvoima voisi tulevaisuudessa osallistua automaattiseen taajuudenhallintareserviin tekemällä alassäätötarjouksia.

Siirtyminen varttitaseeseen ei aiheuta toimenpiteitä laitoksen normaaliin toimintaan. Lyhyemmän kaupankäyntijakson ansiosta sähköntuotannon ennustaminen olisi nykyiselläkin säätötavalla helpompaa ja automaattinen ennustaja reagoisi sähkötehon muutoksiin paljon nopeammin. Kattila seuraa turbiinia -säätötapaan sillä ei olisi vaikutusta, koska sähkö pystytään tuottamaan tarkasti ennusteen mukaan.

Uuteen taseselvitysmalliin siirtyminen tarkoittaa, ettei tasetta lasketa enää tuotantosuunnitelmasta, mutta tuotantosuunnitelma tulee silti tehdä. Riikinvoiman on hyvä olla tietoinen, että taselaskenta muuttuu tulevaisuudessa ja uskoisin, että tasevastaava Gasum ilmoittaa hyvissä ajoin, millaista taselaskentatapaa käytetään jatkossa.

Uudet säätösähkömarkkinoiden ehdot vaikuttavat merkittävästi Riikinvoiman osallistumiseen säätösähkömarkkinoille. Jatkossa sähkötehon säätö tulee toteuttaa 12,5 minuutissa ja se on haastavaa nykyisellä säätötavalla. Operaattorin tulisi reagoida aktivointi käskyyn välittömästi, jotta säätö ehditään toteuttaa ajallaan. Välitön reagointi ei kuitenkaan aina ole mahdollista, koska operaattorilla voi olla toinen, tärkeämpi tilanne työn alla, joka vaatii kaiken keskittymisen. Toisaalta muutoksilla on myös positiivinen vaikutus, koska Riikinvoima voisi toteuttaa vaikka yhden megawatin tarjouksia. Pienemmät alassäätötarjoukset tarkoittavat myös nopeampaa säätöaikaa, joten säätöajan laskeminen 15 minuutista 12,5 minuuttiin ei ole ylitsepääsemätön este. Automaattiseen taajuudenhallintaan osallistuminen helpottuu entisestään, kun säätöaika kasvaa viiteen minuuttiin. Nykyisellä säätötavalla siihen ei tulevaisuudessakaan pystytä, mutta kattila seuraa turbiinia -säätötavalla operaattori ehtisi varmasti toteuttaa säädön.

Pohjoismaisen sähköjärjestelmän tasehallinnan muuttuminen maakohtaiseksi tai säätökapasiteettimarkkinoiden laajeneminen eivät vaikuta Riikinvoimaan. Tulevaisuudessa säätökapasiteettimarkkinat on kuitenkin hyvä pitää mielessä, jos laitosta ajetaankin pienemmällä polttoteholla ja ylössäätövaraa on saatavilla.

## 8 YHTEENVETO

Yhteenvedona voidaan todeta, että Riikinvoiman kannattaa osallistua alassäätöimarkkinoille, sillä kestäisissä käytössä on noin viisi megawattia säätökykyistä kapasiteettia. Edellä mainitulle markkinoille osallistuminen on tehty helpoksi ja laitos kykenee asetettuihin vaatimuksiin. Alassäätötarjouksen laskeminen on nopeaa toteutetulla Excel-taulukolla ja sen muokkaaminen varttitaseen laskentaa ja tulevaisuuden tarpeita varten on helppoa. Muille markkinapaikoille osallistuminen vaatisi erilaisten säätökokeiden suorittamista ja teknisiä järjestelyitä, joiden jälkeen vasta tiedetään osallistumismahdollisuus. Siitä huolimatta niiden potentiaalia ei kannata poissulkea.

Kattila seuraa turbiinia -säätötavan käyttöönotto on suotavaa sen hyötyjen vuoksi. Säätötavan käyttöönoton jälkeen saadaan tieto, miten nopeisiin sähkötehon muutoksiin laitos kykenee. Teoriassa laitoksen tulisi kyetä automaattisen taajuudenhallinnan asettamiin vaatimuksiin, mutta vasta käytännön testit osoittavat ovatko ne mahdollista toteuttaa. Uuden säätötavan käyttöönotto olisi suotavaa myös tasehallinnan takia, koska sähkötehon pitäminen tasaisena ei aiheuttaisi ylimääräisiä kustannuksia.

Lähitulevaisuus tuo mukanaan monia merkittäviä muutoksia ja voidaankin puhua sähkömarkkinamurroksesta, joka yhdistää koko Euroopan yhdeksi isoksi sähköverkoksi. Sähkön myynti tapahtuu entistä lähempänä sen todellista käyttöhetkeä ja entistä lyhyemmissä jaksoissa. Monet uudistuksista ovat Riikinvoiman kannalta myönteisiä ja mahdollistavat joustavamman osallistumisen sähkömarkkinoille.

## LÄHTEET

## Julkaistut aineistot

ELOVAARA, Jarmo, HAARLA, Liisa 2011a. Sähköverkot 1. Tallinna: Gaudemus Helsinki University Press Oy Yliopistokustannus, HYY Yhtymä.

ELOVAARA, Jarmo, HAARLA, Liisa 2011b. Sähköverkot 2. Tallinna: Gaudemus Helsinki University Press Oy Yliopistokustannus, HYY Yhtymä.

HUHTINEN, Markku, KORHONEN, Risto, PIMIÄ, Tuomo, URPALAINEN, Samu 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

JORONEN, Tero, KOVÁCS, Jenő, MAJANNE, Yrjö 2015. Voimalaitosautomaatio. Helsinki: Copy-Set Oy.

## Verkkajulkaisut

ELINKEINOELÄMÄN KESKUSLIITTO, 2012. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-01-15.] Saatavissa: <https://ek.fi/wp-content/uploads/energiaopas.pdf>

ENERGIATEOLLISUUS, N.d. [Viitattu 2019-02-4]. Saatavissa: [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-ala/energiaverkot/sahkoverkot](https://energia.fi/perustietoa_energia-ala/energiaverkot/sahkoverkot)

ENERGIAVIRASTO, N.d. Tehoreservijärjestelmä. [Viitattu 2019-01-29.] Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/tehoreservijarjestelma>

ENERGIAVIRASTO, N.d. Sähköverkon haltijat. [Viitattu 2019-02-28.] Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat>

FINDRID OYJ, 2016. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-01-24.] Saatavissa: [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/afrr20sopimus202016\\_pohja.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/afrr20sopimus202016_pohja.pdf)

FINGRID OYJ 2017. [Tiedote]. [Viitattu 2019-03-1.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2017/pohjoismaiset-kantaverkkoyhtiot-esittavat-siirtymista-yhta-aikaa-varttita-seeseen-vuonna-2020/>

FINGRID OYJ, 2018a. [Viitattu 2019-01-31.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>

FINGRID OYJ, 2018b. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-01-14.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf>

FINGRID OYJ, 2018c. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-01-29.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/ehdot-ja-edellytykset-taajuuden-vakautusreservin-fcr-toimittajalle.pdf>

FINGRID OYJ, 2019a. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-01-28.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/taajuusohjattujen-reservien-vuosimarkkinasopimus-2019.pdf>

FINGRID OYJ, 2019b. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2019-01-24.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/automaattisen-taajuudenhallintareservin-afrr-tekniisten-vaatimusten-todentaminen-ja-hyvakysyttamisprosessi.pdf>

FINGRID OYJ, N.d. AFFR-säätökapasiteettimarkkinat. [Viitattu 2019-03-8.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/askelmerkit-sahkomarkkinamurrokseen/pohjoismainen-tasehallinta-ja-uudet-pohjoismaiset-markkinapaikat/#afrr-saatokapasiteettimarkkinat>

- FINGRID OYJ, N.d. Automaattinen taajuudenhallintareservi. [Viitattu 2019-01-24.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/automaattinen-taajuudenhallintareservi/>
- FINGRID OYJ, N.d. Avaintiedot. [Viitattu 2019-02-6.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/avaintiedot/>
- FINGRID OYJ, N.d. Esittely. [Viitattu 2019-02-6.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/>
- FINGRID OYJ, N.d. Eurooppalaiset säätösähkömarkkinat. [Viitattu 2019-03-5.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/askelmerkit-sahkomarkkinamurrokseen/eurooppalaiset-saatosahkomarkkinat/>
- FINGRID OYJ, N.d. Kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito. [Viitattu 2019-01-14.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/kulutuksen-ja-tuotannon-tasapainon-yllapito/#taajuusmittausdata>
- FINGRID OYJ, N.d. Markkinapaikat. [Viitattu 2019-02-2.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/markkinapaikat/>
- FINGRID OYJ, N.d. Pohjoismainen tasehallinta ja uudet pohjoismaiset markkinapaikat. [Viitattu 2019-03-8.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/askelmerkit-sahkomarkkinamurrokseen/pohjoismainen-tasehallinta-ja-uudet-pohjoismaiset-markkinapaikat/>
- FINGRID OYJ, N.d. Suomen sähköjärjestelmä. [Viitattu 2019-02-6.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/>
- FINGRID OYJ, N.d. Sähkömarkkinoiden kehitys. [Viitattu 2019-03-5.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/>
- FINGRID OYJ, N.d. Säätomarkkinasopimus liite 2 säätökapasiteettimarkkinoiden säännöt [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-01-14.] Saatavissa: [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/saatosahko/saatosahkomarkkinasopimus-liite-2.-saatokapasiteettimarkkinoiden-saannot\\_1.1.2019-id-168856.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/saatosahko/saatosahkomarkkinasopimus-liite-2.-saatokapasiteettimarkkinoiden-saannot_1.1.2019-id-168856.pdf)
- FINGRID OYJ, N.d. Säättötarjoukset. [Viitattu 2019-01-13.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatokapasiteettimarkkinat/#saatotarjoukset>
- FINGRID OYJ, N.d. Säättösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat. [Viitattu 2019-01-14.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatokapasiteettimarkkinat/>
- FINGRID OYJ, N.d. Taseselvitysmallin muutos. [Viitattu 2019-03-4.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/askelmerkit-sahkomarkkinamurrokseen/taseselvitysmallin-muutos/>
- FINGRID OYJ, N.d. Tasesähkö. [Viitattu 2019-01-30.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/tasesahko/>
- FINGRID OYJ, N.d. Varttitaseen askelmerkit. [Viitattu 2019-03-1.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/askelmerkit-sahkomarkkinamurrokseen/varttitase/>
- LAKI SÄHKÖNTUOTANNON JA -KULUTUKSEN VÄLISTÄ TASAPAINOA VARMISTAVASTA TEHORESERVISTÄ. L 2011/117. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2019-01-29.] Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110117>
- NORD POOL AS, N.d. [Viitattu 2019-01-15.] Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/trading/intraday-trading/>
- MIETTINEN, Nelli 2018. Riikinvoima Oy. Porvoo: Bookwell Oy. [Viitattu 2019-01-21.] Saatavissa: <http://www.efokus.fi/flash/riikinvoima/#/1/>

PUIKKONEN, Ilkka 2010. Cooperative Mankala-companies – The Acceptability of the Company Form in EC Competition Law. [Viitattu 2019-01-22.] Saatavissa: <https://journal.fi/helsinkilawreview/article/view/74312/35980>

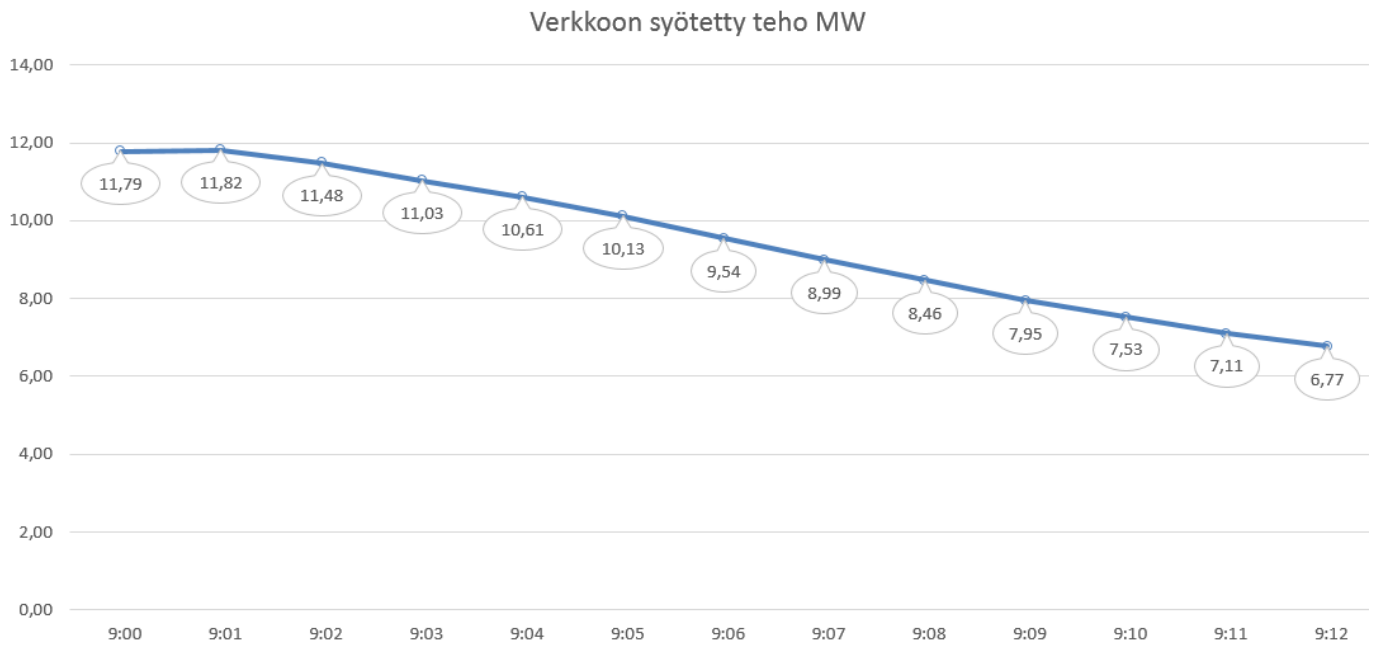
RIIKINVOIMA OY, N.d. [Viitattu 2019-01-21.] Saatavissa: <http://riikinvoima.fi>

#### Muut lähteet

RÜCKL, Alexander 2016. Riikinvoima turbiinin koulutusmateriaali [PDF]. [Viitattu 2019-01-22.]

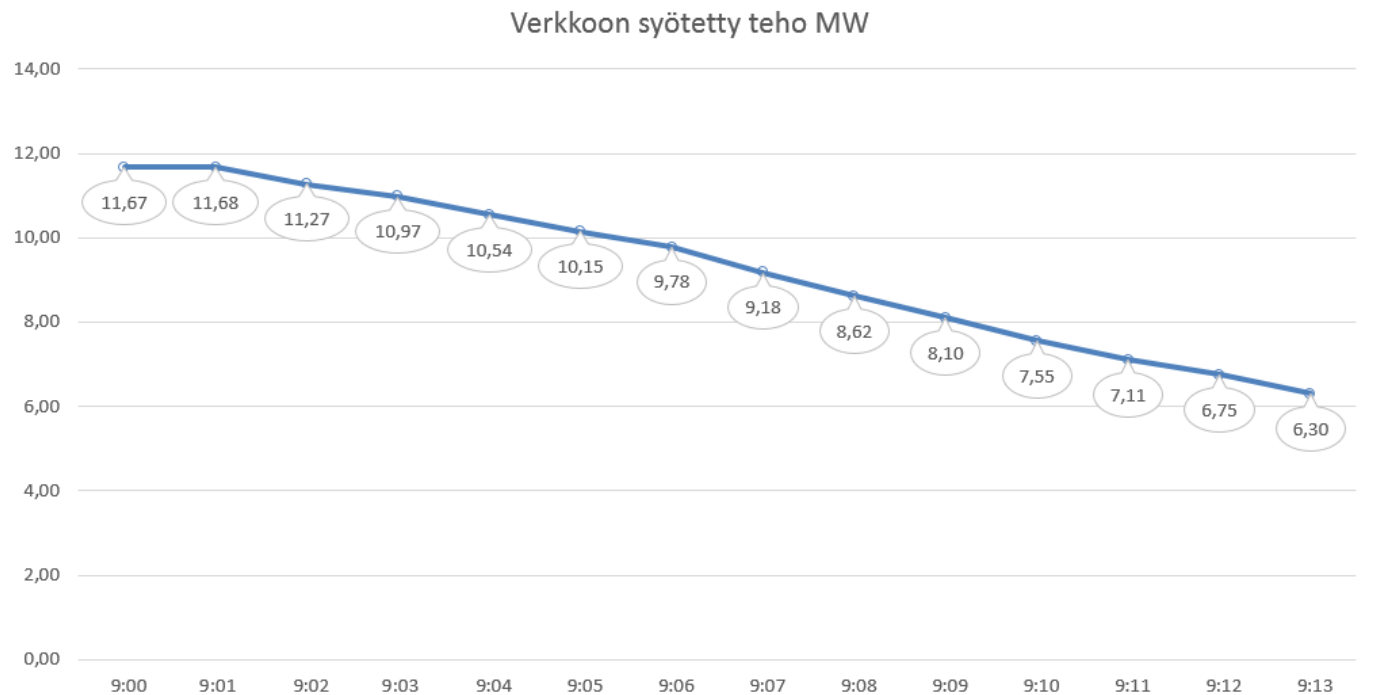
SISSO, Janne 2019. [Kuva]. Sijainti: Varkaus.

## LIITE 1: RIIKINVOIMAN RAMPPIKOE 6.7.2018



(Sisso 2019)

## LIITE 2: RIIKINVOIMAN RAMPPIKOE 9.7.2018



(Sisso 2019)