

# **Muutokset pohjoismaisilla sähkö- markkinoilla vuosina 2019–2023 ja nii- den vaikutus Suomen Elspot-hintaan**

Kaisa Uski

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2019  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Uski, Kaisa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2019
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Muutokset pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla vuosina 2019–2023 ja niiden vaikutus Suomen Elspot-hintaan</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen		
Toimeksiantaja(t) PD Power Oy		
Tiivistelmä <p>Sähkömarkkinat ovat muuttumassa. Suurin osa pohjoismaisen sähköpörssi Nord Poolin fyysisestä kaupankäynnistä tapahtuu Elspot-markkinoilla. Elspot-hinta toimii referenssihintana mm. Intraday-markkinoilla sekä johdannaiskaupassa. Näistä syistä Elspot-hinnan enustaminen on sähkömarkkinatoimijan kannalta erittäin tärkeää.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda yhteenveto pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla vuosina 2019–2023 oletettavista sähköntuotannon, -kulutuksen ja siirtokapasiteettien muutoksista ja arvioida niiden vaikutusta Suomen Elspot-hintaan. Arvioidut muutokset perustuvat skenaarioihin, ennusteisiin ja tavoitteisiin, ja ne itsessään sisältävät epävarmuutta. Nämä muutokset yhdistettiin sähkönkulutuksen tai -tuotannon muutoksiin lähdekirjallisuuden avulla.</p> <p>Muutoksista valittiin merkittävimmät. Vaikusta Suomen Elspot-hintaan arvioitiin hinnanmuodostusteorian kautta. Kunkin muutoksen vaikutusta arvioitiin muista riippumattomana, eikä työssä huomioida muutoksien keskinäistä aikajärjestystä. Tavoitteena oli saada lukuarvon sijaan kunkin muutoksen vaikutussuunta.</p> <p>Työssä tarkasteltiin, miten Suomen Elspot-hintaan vaikuttavat tuulivoiman kapasiteetin kasvu, Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitoksen verkkoontulo, datakeskuksien määrän kasvu ja siirtoyhteyskapasiteetin kasvu Pohjoismaiden ja muun Euroopan välillä. Osa tarkasteltavista muutoksista vaikuttaa Suomen Elspot-hintaan nostavasti, osa laskevasti. Vaihtelevaan uusiutuvaan sähköntuotantoon liittyvien muutoksien todettiin heiluttavan hintaa välillä nykyistä alemmas ja välillä ylemmäs.</p> <p>Tuloksiin liittyy epävarmuutta. Sähkömarkkinat muuttuvat myös monella muullakin tavalla, joten pelkkä Elspot-markkinan tarkastelu ei anna luotettavaa arviota Elspot-hinnasta.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Sähkö, sähkömarkkina, sähköpörssi, Elspot, sähköntuotanto, sähkönkulutus, siirtokapasiteetti		
Muut tiedot ( <a href="#">salassa pidettävät liitteet</a> )		

Author(s) Uski, Kaisa	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 41	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Changes in the Nordic power markets in 2019–2023 and their impact on Elspot price for Finland</b>		
Degree programme Bachelor of Engineering, Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Hytönen, Kari		
Assigned by PD Power Oy		
Abstract  <p>Power markets are changing. Most of the physical trading in the Nordic power exchange Nord Pool's happens in Elspot markets. The Elspot price is the reference price for Intraday and derivative trading. Therefore, forecasting the Elspot price is very important.</p> <p>The aim of the thesis was to create a summary of the assumed changes in the power production, consumption and transfer capacities in the Nordic power markets between 2019 and 2023, and estimate their impact on the Elspot price for Finland. The assumed changes are based on scenarios, forecasts and objectives, and they contain uncertainties. These changes were connected to the changes in power production and consumption according to literature.</p> <p>Only the most important changes were chosen. The impact on the Elspot price for Finland was estimated using price formation theory. The impact of each change was estimated separately, and the order of the changes was not considered. Instead of getting a numbered value, the aim was to determine the direction of impact for each change.</p> <p>The thesis considered how the increase in wind power capacity, start of commercial production in Olkiluoto 3 nuclear power plant, the increasing number of data centers and the increasing transfer capacity between the Nordics and Europe affect the Elspot price for Finland. Some of the aforementioned changes have an increasing effect on the price, while some have a decreasing effect. It was discovered that the changes in the variable renewable energy production swayed the price above and below the current price.</p> <p>The results contain uncertainties. The power markets are also changing in many other ways, which is why looking at Elspot markets only can not give a reliable estimate on Elspot price.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Power, power market, power exchange, Elspot, power production, power supply, transmission capacity		
Miscellaneous ( <a href="#">Confidential information</a> )		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Pohjoismaiset sähkömarkkinat .....	4
1.2	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaus .....	6
1.3	Aikaisemmat tutkimukset aiheesta .....	7
1.4	Toimeksiantaja .....	8
<b>2</b>	<b>Elspot-hinta .....</b>	<b>8</b>
2.1	Sähkön tuotantomuodot .....	8
2.2	Elspot-hinnan muodostuminen .....	11
2.3	Suomen Elspot-hinnan kehitys .....	14
<b>3</b>	<b>Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden nykytilanne .....</b>	<b>15</b>
3.1	Siirtoyhteydet .....	15
3.2	Sähkön tuotanto, kulutus ja siirrot Pohjoismaissa .....	16
3.2.1	Suomi .....	16
3.2.2	Ruotsi .....	17
3.2.3	Norja .....	19
3.2.4	Tanska .....	19
<b>4</b>	<b>Muutokset Pohjoismaiden sähköntuotannossa 2019–2023 .....</b>	<b>20</b>
4.1	Lämpövoima .....	21
4.2	Tuuli- ja aurinkovoima .....	21
4.3	Ydinvoima .....	23
4.3.1	Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitos .....	23
4.3.2	Ruotsin ydinvoima .....	25
4.4	Vesivoima .....	26

<b>5</b>	<b>Muutokset Pohjoismaiden kulutuksessa 2019–2023.....</b>	<b>27</b>
5.1	Datakeskukset .....	27
5.2	Väestönkasvu ja teollisuuden kasvu.....	29
5.3	Sähköautot .....	29
5.4	Kysyntäjousto .....	29
<b>6</b>	<b>Muutokset siirtoyhteyksissä 2019–2023.....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Suurimpien muutoksien vaikutuksien arvioiminen .....</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>34</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>36</b>

## Kuviot

Kuvio 1.	Nord Poolin tarjousalueet ja niiden väliset siirtoyhteydet .....	5
Kuvio 2.	Eri sähköntuotantomuotojen muuttuvien kustannuksien suuruusjärjestys ...	9
Kuvio 3.	Tuulivoiman tuotanto [MW] Suomessa 14.–28.2.2019 .....	10
Kuvio 4.	Systemihinnan muodostuksen periaate.....	12
Kuvio 5.	Siirtokapasiteetin periaatteellinen vaikutus alituotantoalueen hintaan .....	13
Kuvio 6.	Yhteiskunnallisen hyödyn muodostumisen periaate .....	13
Kuvio 7.	Systemihinnan ja Suomen Elspot-hinnan kehitys vuosina 2000–2018 kuukausikeskiarvoina .....	14
Kuvio 8.	Suomen Elspot-hinta tunneittain 14.–28.2.2019 .....	15
Kuvio 9.	Suomen sähköntuotanto tuotantomuodoittain [%] vuonna 2017 .....	17
Kuvio 10.	Ruotsin sähköntuotanto tuotantomuodoittain [%] vuonna 2017 .....	18
Kuvio 11.	Norjan sähköntuotanto tuotantomuodoittain [%] vuonna 2017 .....	19
Kuvio 12.	Tanskan sähköntuotanto tuotantomuodoittain [%] vuonna 2017 .....	20

Kuvio 13. Tuuli- ja aurinkosähkön toteutunut tuotanto [TWh] 2010–2016 ja ennustettu kehitys 2020–2030 Suomessa .....	22
Kuvio 14. Häiriötilanteen jälkeisen minimitaajuuden riippuvuus järjestelmän inertiasta .....	25
Kuvio 15. Ruotsin ydinvoimalaitosten sijainti .....	26
Kuvio 16. Ennuste datakeskusten kapasiteetista globaalisti .....	27
Kuvio 17. Uusien datakeskusten vuotuinen kapasiteetin kasvu Pohjoismaissa .....	28
Kuvio 18. Pohjoismaiden ulkopuoliset siirtomäärät kasvavat hiilineutraalin skenaarion mukaan.....	31

## **Taulukot**

Taulukko 1. Sähkön tuonti ja vienti Ruotsissa vuonna 2017.....	18
Taulukko 2. OL3:n tehon vaikutus siirtokapasiteettiin .....	24
Taulukko 3. Uudet siirtoyhteydet.....	31
Taulukko 4. Muutoksien vaikutus Suomen Elspot-hinnan kehitykseen .....	33

# 1 Johdanto

## 1.1 Pohjoismaiset sähkömarkkinat

Sähkömarkkinat jaetaan fyysisiin markkinoihin ja finanssimarkkinoihin. Fyysisillä markkinoilla on kyse sähkön toimituksesta, kun taas finanssimarkkinoilla vain raha vaihtaa omistajaa ja sähkön hinta pyritään siten turvaamaan tietylle tasolle. Nord Pool on pohjoismainen sähköpörssi. Nord Poolin fyysiset markkinat koostuvat Day ahead- ja Intraday-markkinoista. Nord Poolissa Day ahead -kauppaa, jossa kauppaa käydään seuraavalle vuorokaudelle, kutsutaan Elspot-kaupaksi. Intraday- eli Elbas-kaupassa kauppaa käydään päivänsisäisesti. Lisäksi pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt (Fingrid, Svenska Kraftnät, Statnett ja Energinet) ylläpitävät Pohjoismaiden laajuisia säätösähkömarkkinoita. Koska sähköä ei voida vielä suuressa mittakaavassa varastoida kannattavasti, sen kaupankäynti eroaa muiden hyödykkeiden kaupankäynnistä: tuotannon ja kulutuksen tulee vastata joka hetki toisiaan. Ensimmäinen tuotannon ja kulutuksen tasapainotus tehdään Elspot-kaupan perusteella. Elbas-kaupalla sekä säätösähkömarkkinoiden eri tuotteilla ja kaupankäyntiajoilla turvataan lopulta tuotannon ja kulutuksen tasapaino eli 50 Hz:n taajuus. (Price formation n.d.)

Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden synkronialueeseen, jossa taajuus on yhteinen, kuuluvat Suomen lisäksi Ruotsi, Norja sekä Itä-Tanska (Pohjoismainen sähköjärjestelmä ja liitynnät muihin järjestelmiin n.d.). Maat on jaettu eri tarjousalueisiin. Suomi on oma tarjousalueensa, mutta muut maat on jaettu useampaan osaan. Sen lisäksi, että synkronialueen tarjousalueet on yhdistetty toisiinsa siirtoyhteyksin, synkronialue yhdistyy tasasähkölinkeillä myös Venäjälle, Baltiaan ja Manner-Eurooppaan (ks. kuvio 1). Maiden ja tarjousalueiden välillä kulkevat siirtoyhteydet ovat kapasiteetiltaan rajallisia, minkä vuoksi eri tarjousalueille voi muodostua eri aluehintoja. Hintaa, joka lasketaan koko alueelle ilman siirtokapasiteettirajoituksia, kutsutaan systeemihinnaksi. Tarjousaluetta, jonka aluehinta on systeemihintaa korkeampi, kutsutaan alituotantoalueeksi. Systeemihintaa alhaisemman hinnan alue on ylituotantoalue. (Bidding areas n.d.)



Kuvio 1. Nord Poolin tarjousalueet ja niiden väliset siirtoyhteydet (Market data n.d., muokattu)

Elspot-hinta muodostetaan seuraavaksi päiväksi jokaiselle tarjousalueelle, jokaiselle tunnille. Yleisesti Elspot-hinnasta puhuttaessa tarkoitetaan usein päivän tuntien keskiarvoa. Yksittäisten tuntien hinta vaihtelee pääsääntöisesti kulutuksen mukaan: hinta on korkeimmillaan aamuisin ja iltaisin, matalimmillaan öisin. Koska kaupan-  
käyntivolyymit ovat Elspot-kaupassa paljon Elbas-kauppaa suuremmat, Elspot-hinnan ennustaminen on liiketoiminnan kannalta tärkeää (Annual report 2017, 2018, 8). Elspot-hintoja käytetään myös muiden sähkömarkkinatuotteiden, kuten johdannais-  
ten, Elbas-kaupan ja säätösähkömarkkinoiden referenssihintoina (Laine 2011, 21).



## 1.2 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaus

Sähkön hinnan ennustettavuus on tullut yhä vaikeammaksi tuotanto- ja kulutusrakenteiden muuttuessa sekä siirtoyhteyskapasiteettien lisääntyessä. Elspot-hintaennusteita tarvitaan sekä lyhyelle että pitkälle aikavälille. Pitkän aikavälin ennusteet ulottuvat vuosien päähän ja niitä tarvitaan mm. investointien kannattavuuslaskennoissa sekä riskien hallinnassa. Lyhyen aikavälin ennusteiden tarkoitus on ennustaa seuraavan päivän Elspot-hintaa tunti tunnilta, jotta omaa tuotantoa tai kulutusta voidaan optimoida maksimoiden taloudellinen hyöty. (Kännö 2013, 2.) Lyhyen aikavälin ennusteissa laitosten ja siirtoyhteyskapasiteettien ajoittaiset epäkäytettävyydet sekä ympäristötekijät, kuten tuulisuus, aurinkoisuus, lämpötila ja hydrologinen balanssi, selittävät hintavaihteluita. Pitkän aikavälin ennusteissa ympäristötekijöiden ennustaminen on epävarmempaa ja rakenteelliset muutokset näkyvät vahvemmin. (Särkijärvi 2009, 12–13.)

Tämä opinnäytetyö on luonteeltaan kehittämistutkimus. Sen tavoitteena oli tehdä yhteenveto Pohjoismaissa vuosina 2019–2023 tapahtuvista merkittävimmistä sähköntuotannon, -kulutuksen ja siirtoyhteyskapasiteettien muutoksista ja arvioida, millainen vaikutus tulevilla muutoksilla on Suomen Elspot-hintaan. Opinnäytetyössä tuli vastata kysymyksiin, mitkä ovat vuosien 2019–2023 tärkeimmät muutokset pohjoismaisella tasolla niin sähkönkulutuksessa, -tuotannossa kuin maiden välisissä siirtoyhteyskapasiteeteissa sekä mihin suuntaan Suomen aluehinta näiden muutoksien vaikutuksesta kehittyi. Työssä käytettiin sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista tutkimusotetta. Sähkömarkkinoiden nykytila ja muutokset esitettiin raportissa numeerisesti. Tarkkojen tulosten saaminen Suomen Elspot-hinnasta muutosten jälkeen kvantitatiivisin menetelmin olisi tarkoittanut hyvin yksityiskohtaisen mallinnuksen tekemistä. Niinpä tuloksiin on sovellettu kvalitatiivista tutkimusotetta, jonka perusteella ei ollut tarkoitus saada tarkkaa lukuarvoa. Pelkästään sähköjärjestelmää koskevat muutokset, kuten varttitase ja 1-tasejärjestelmä sekä niiden vaikutusten tarkastelu, on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle. Opinnäytetyössä etsittiin markkinavaikutusta vain Suomen Elspot-hintaan. Tavoitteena ei ollut saada lukuarvoa vaan muutoksen suunta. Vaikutukset muilla Pohjoismaiden tarjousalueilla ja Elbas- sekä säätösähkömarkkinoilla jätettiin tässä työssä analysoimatta. Opinnäytetyössä ei myöskään huomioitu muutoksien aikajärjestystä ja sen mahdollista vaikutusta hintoihin.

Tässä opinnäytetyössä muuttunut tilanne vuoden 2023 jälkeen pyrittiin kuvaamaan joko tehon (MW) tai energian (TWh) muutoksena. Muutoksien suuruus perustui julkisiin tavoitteisiin, skenaarioihin ja ennusteisiin. Valinta, mitä muutoksia opinnäytetyössä tarkasteltiin, syntyi sen perusteella, mitkä asiat ovat aikaisemmin vaikuttaneet sähkön kysyntään tai tarjontaan (esim. väestönkasvu ja teollisuuden kasvu) ja mitkä ovat uusia, merkittäviä sähkön kysyntään tai tarjontaan vaikuttavia ilmiöitä. Tarkastelluista muutoksista valittiin merkittävimmät ja niiden vaikutusta arvioitiin Suomen Elspot-hintaan.

### 1.3 Aikaisemmat tutkimukset aiheesta

Pohjoismaiden kantaverkkoyhtiöt ylläpitävät kymmenen vuoden kantaverkon kehittämissuunnitelmaa. Yhtiöt ovat vastuussa verkon toimivuudesta ja pyrkivät ennakoimaan tulevia muutoksia kantaverkon näkökulmasta. (Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2017-2027 n.d.) Tuotanto- ja kulutusrakenteiden muutoksia on selvitetty myös opinnäytetöissä. Esimerkiksi Laitinen (2013, 25–37) on diplomityössään Tunninsisäinen tehotasapaino Suomessa 2020 ja 2030 tutkinut Suomen sähköntuotannon ja -kulutuksen arvioituja muutoksia.

Malleja ja menetelmiä Elspot-hinnan ennustamiseen on tutkittu niin taloustieteen kuin insinööritieteiden aloilla. Särkijärvi (2009) esittää kansantaloustieteen pro gradu -tutkielmassaan Sähkön hinta pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla tilastollisen fundamenttimallin, tilastollisen aikasarjamallin sekä yhdistetyn regressio- ja aikasarjamallin sähkön Elspot-hinnan mallintamiseksi. Ratilainen (2006, luku 6) arvioi kandidaatintutkielmassaan vuonna 2006 Sähkömarkkinoiden avautuminen Euroopassa ja sen vaikutukset Suomen sähkömarkkinoihin sähkön hinnan kehitysnäkymiä Suomessa. Härkönen (2015) on insinöörityössään Sähkömarkkinoiden tulevaisuus käsitellyt sähkömarkkinoiden tulevia muutoksia ja määritellyt Suomen Elspot-hinnan vuoteen 2030 saakka. Kaikkiin hinnanennustusmenetelmiin liittyy kuitenkin epävarmuutta. Tilastollisen datan perusteella ennustettaessa rakenteelliset muutokset tuotannossa ja kulutuksessa eivät välttämättä sisälly malliin, kun taas tulevien muutoksien perusteella

tehdyt ennusteet perustuvat oletettuihin skenaarioihin, ennusteisiin. Mitä yksityiskohtaisempi ennustemalli on, sitä pienempi on sen tuloksiin liittyvä epävarmuus: sähkömarkkinoilla toimivilla yrityksillä on usein oma tai ostettu hintaennuste.

## 1.4 Toimeksiantaja

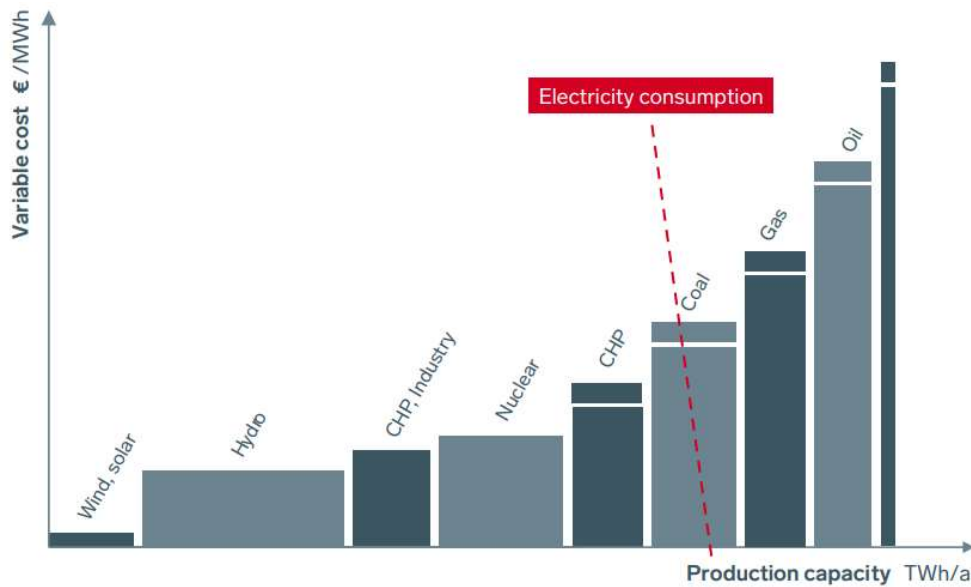
Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on syksyllä 2018 perustettu PD Power Oy, joka on osa Power-Deriva Oy:tä. Power-Deriva Oy on markkina-analyysiin, sähkönhankintaan, salkunhallintaan ja hyödykejohdannaisten kaupankäyntiin erikoistunut sijoituspalveluyhtiö. PD Power Oy perustettiin Power-Deriva Oy:n ja Pohjolan Voima Oyj:n välisen liiketoimintakaupan myötä, jossa Power-Deriva Oy osti Pohjolan Voima Oyj:n Harjavallan energianhallintapalvelut. Liiketoimintakauppa astui voimaan 1.1.2019. (Power-Deriva ostaa Pohjolan Voiman energianhallintapalvelut 2018.)

PD Power Oy on erikoistunut sähkömarkkinoiden fyysiseen kaupankäyntiin. Se tarjoaa tasehallinta- ja taseselvityspalveluita sisältäen mm. tuotannonsuunnittelun ja ohjauksen, kuormaennustuksen sekä kaupankäynnin Elspot-, Elbas- ja säätösähkömarkkinoilla kolmivuorovalvomosta.

## 2 Elspot-hinta

### 2.1 Sähkön tuotantomuodot

Eri sähköntuotantomuotojen muuttuvat kustannukset eroavat toisistaan (ks. kuvio 2). Muuttuvien kustannuksien lisäksi eri tuotantomuodoilla on ominaisuuksia, joiden vuoksi yhden tuotantomuodon korvaaminen suoraan toisella ei välttämättä tuota samaa lopputulosta.



Kuvio 2. Eri sähköntuotantomuotojen muuttuvien kustannuksien suuruusjärjestys (Electricity market needs fixing – What can we do? 2016, 6)

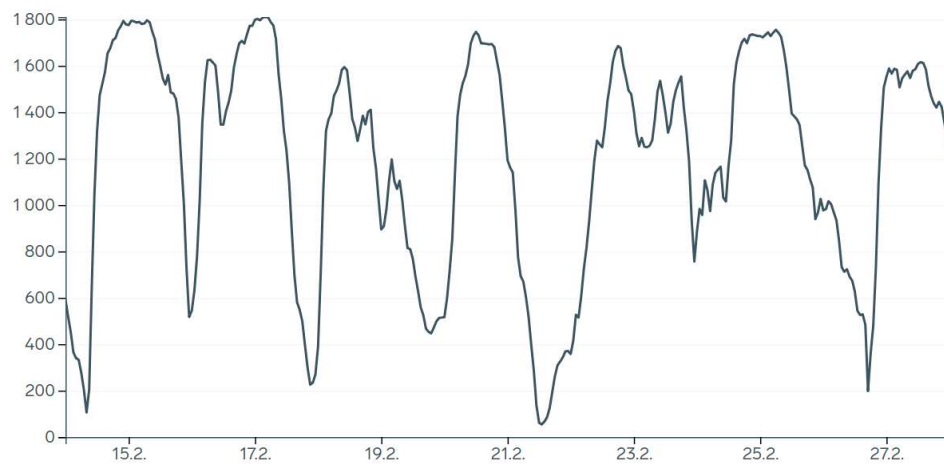
### Lämpövoima

Lämpövoima-käsite kattaa tässä opinnäytetyössä kaikki sähköä tuottavat polttolaitokset riippumatta siitä, mitä polttoainetta ne käyttävät. Laitokset voivat olla joko lämpöä ja sähköä tuottavia CHP-laitoksia tai pelkkää sähköä tuottavia lauhdelaitoksia. CHP-laitoksille on tyypillistä ajaa kaukolämpötarpeen mukaan suurin osa vuodesta, joten sähköntuotanto ei ole markkinaperusteista. Lämpövoimalaitokset ovat teholtaan suuria ja pystyvät säätämään tehoaan eli pienentämään tai suurentamaan sitä maksimi- ja minimitehon välillä. Lämpövoimalaitoksista ja kaasuturbiineista koostuvalla tehoreservillä ylläpidetään sähköjärjestelmän huoltovarmuutta ja pyritään turvaamaan kulutuksen ja tuotannon tasapaino varsinkin sähkön kulutushuippujen aikaan.

### Tuuli- ja aurinkovoima

Tuuli- ja aurinkovoimatuotanto vaihtelee sääolosuhteiden mukaan (ks. kuvio 3), mikä tekee niiden sähköntuotannosta vaikeasti ennustettavia. Aurinkovoiman tuotanto Pohjoismaissa on vielä vähäistä muihin tuotantomuotoihin verrattuna. Aurinkosäh-

kön mikrotuotanto, jossa esim. yksityishenkilö kattaa osan kotinsa sähkönkulutuksesta omilla aurinkopaneeleilla, kasvaa voimakkaasti (Hajautettua sähkön pientuotantoa n.d.). Tuulivoimalan tyypillinen toiminta-alue on tuulennopeuden ollessa 4–25 m/s, ja sen teho on verrannollinen tuulennopeuden kolmanteen potenssiin (Niemi 2013, 41). Sekä tuuli- että aurinkovoimaa on mahdollista säätää vain alaspäin, 0 MW:iin on/off -periaatteella. Tuulivoiman suuren tehonvaihtelun vuoksi sähköjärjestelmä tarvitsee tuulivoiman lisäksi myös säätävää tuotantoa, varastointimahdollisuuden tai järjestelmäteknisiä muutoksia, jotta 50 Hz:n taajuus saadaan turvattua kaikkina aikoina.



Kuvio 3. Tuulivoiman tuotanto [MW] Suomessa 14.–28.2.2019 (Tuulivoiman tuotanto n.d.)

### Ydinvoima

Ydinvoimayksiköt ovat tehoiltaan suuria ja tuottavat normaalisti peruskuormaa maksimiteholla. Ydinvoimalaitoksen vesi-höyryprosessi on samankaltainen kuin lämpövoimalaitoksissa. Ydinvoimalaitoksessa energiaa tuotetaan hajoavien uraaniytimien ketjureaktiolla. Ydinvoimaakin voidaan säätää – ei tosin yhtä joustavasti kuin lämpö- tai vesivoimalaitoksia (Säädettävä ydinvoima vakauttaa sähköhuoltoa 2014). Polttoaineen radioaktiivinen säteily tekee polttoaineen käsittelystä lämpövoimalaitoksiin verrattuna haasteellisempaa.

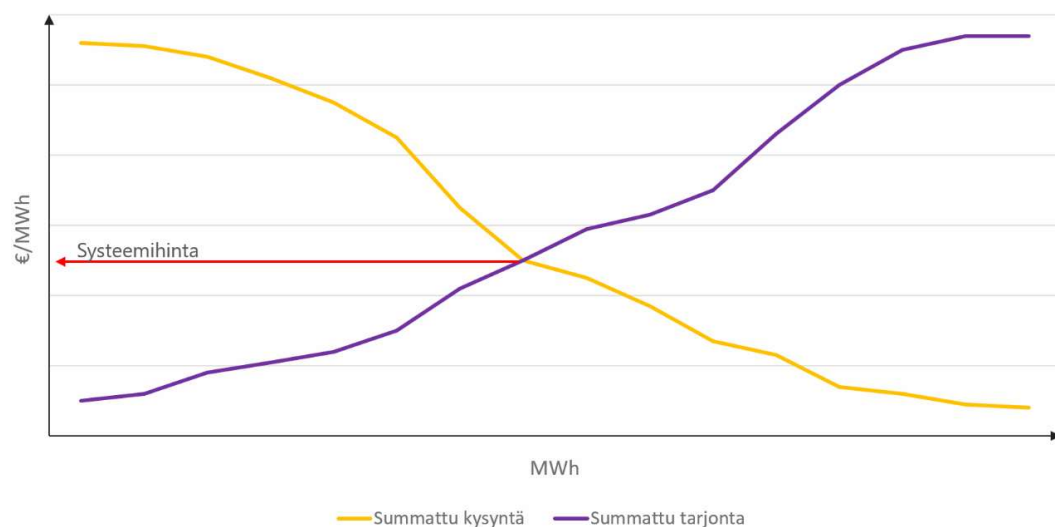
## Vesivoima

Vesivoimatuotannossa padon yläaltaan veden potentiaalienergia muutetaan turbiinin pyörimisenergiaksi veden virratessa turbiinin läpi alajuoksulle. Jokivoimalaitoksien, joita Suomessa on eniten, ylä- ja ala-altaiden pinnankorkeudet ovat tarkkaan säädeltäviä. Vettä kertyy yläaltaaseen sen valuma-alueen sateiden ja yläjuoksulla mahdollisesti olevien muiden vesivoimalaitosten juoksutuksien mukaan ja sitä virtaa ala-altaalle tuotannon yhteydessä. Jokivoimalaitoksilla vettä ei siis usein ole rajoittomasti käytössä. Poikkeuksena tähän ovat kevään tulvat, joiden aikana vettä voi olla niin paljon, että pitääkseen yläaltaan pinnankorkeuden lupaehtojen puitteissa vettä joudutaan juoksuttamaan tulvaluukuista turbiinin ohi. Mikäli vettä saadaan varastoitua erillisiin altaisiin tai järviin, vesivoiman optimointimahdollisuudet paranevat. Vesivoimalle tyypillistä on mahdollisuus säätää tuotantoa nopeasti.

## 2.2 Elspot-hinnan muodostuminen

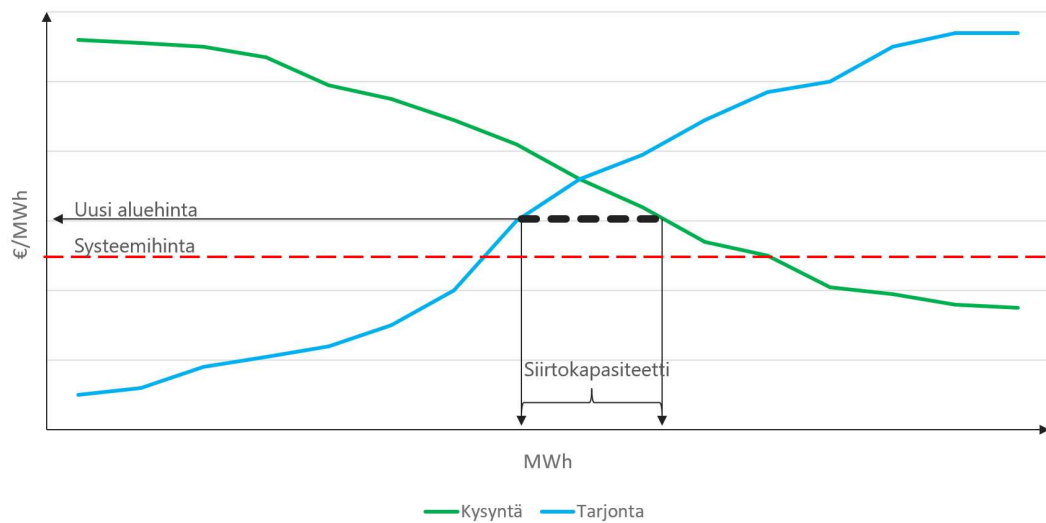
Tunneittainen Elspot-hinta julkistetaan seuraavalle päivälle jokaiselle tarjousalueelle päivittäin yleensä viimeistään klo 14 Suomen aikaa. Elspot-tarjouksia sekä sähkön myynnistä että ostosta saa jättää Nord Poolin markkinapaikalle klo 13:een asti. Tarjouksien hinnan tulee olla -500 ja 3000 €/MWh välillä ja ne pyöristetään 0,1 euron tarkkuuteen. Tarjouksien volyyymi ilmoitetaan 0,1 MWh:n tarkkuudella. Myyntitarjoukset ilmoitetaan negatiivisina MWh-määrinä, ostotarjoukset positiivisina. Tarjoukset jätetään joko tuntitarjouksena jokaiselle tunnille erikseen tai vähintään kolmen tunnin ryhmänä, blokkitarjouksena, joka menee kaikilla blokin tunneilla läpi joko kokonaan tai ei ollenkaan. Tarjous voi myös olla edellisten yhdistelmä ja sisältää sekä myynti- että ostokomponentteja. Tarjous voi sisältää hintaportaita, jolloin se on hintariippuva: jos hinta nousee tai laskee tietylle rajalle, ollaan valmiita muuttamaan tarjouksen volyymiä edulliseen suuntaan. Tarjouksella, joka ei sisällä hintaportaita, ollaan valmiita ostamaan tai myymään tietty MWh-määrä, oli hinta mitä tahansa -500 ja 3000 €/MWh välillä. Elspot-kauppaa käydään suljettuna huutokauppapörssinä, eli jätetyt tarjoukset eivät ole muiden toimijoiden nähtävillä. (Single hourly order n.d.; Block order n.d.)

Elsport-kauppapaikan sulkeuduttua klo 13 hinnanmuodostusalgorithmi laskee kunkin tarjousalueen kaikille tunneille hinnan. Kunkin alueen myynti- ja ostotarjouksista tehdään tunneittaiset kysyntä- ja tarjontakäyrät asettamalla myyntitarjoukset halvimmasta kalleimpaan ja ostotarjoukset kalleimmasta halvimpaan. Kaikkien alueiden summattujen kysyntä- ja tarjontakäyrien leikkauspisteestä muodostuu tunneittainen systeemihinta (ks. kuvio 4). (Price calculation n.d.)



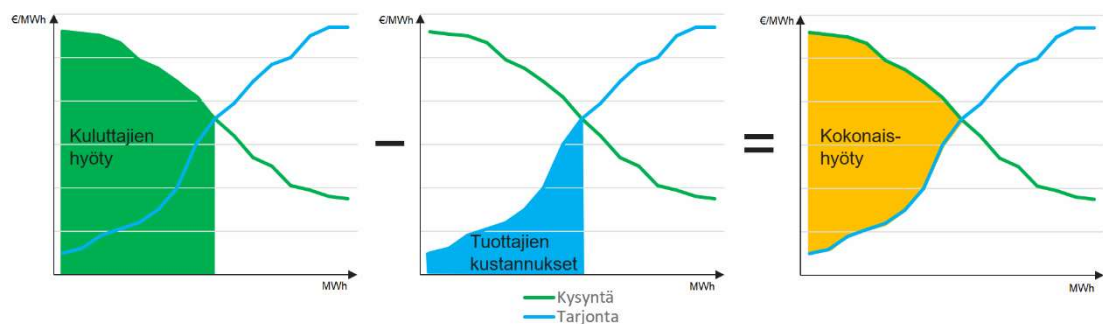
Kuvio 4. Systeemihinnan muodostuksen periaate

Tarjousalueiden kysyntä- ja tarjontakäyrien lisäksi kunkin alueen hintaan vaikuttaa käytettävissä oleva siirtokapasiteetti muille tarjousalueille. Tilannetta, jossa siirtokapasiteetilla ei pystytä kattamaan koko kysyntää, kutsutaan pullonkaulaksi, ja se aiheuttaa alueiden välisiä hintaeroja eli ns. aluehintoja. Mikäli siirtokapasitettia on riittävästi, aluehinnat siirtyvät lähemmäs systeemihintaa (ks. kuvio 5). Alituotantoalueella siirtokapasiteetin voidaan ajatella siirtävän tuotantokäyrää oikealle siirtokapasiteetin verran. Uusi hinta syntyy siirretyn tuotantokäyrän ja kulutuskäyrän leikkauspisteeseen. Jos siirtokapasiteettia on riittävästi, voi hinta muuttua enintään systeemihinnan tasolle. Jos siirtokapasiteetti ei riitä kattamaan kaikkea tarvetta, tarjousalueiden välille muodostuu hintaeroja. Ylituotantoalueilla siirtokapasiteetin voidaan ajatella siirtävän tuotantokäyrää vasemmalle ja siten nostavan aluehintaa kohti systeemihintaa. (Day-ahead market n.d.)



Kuvio 5. Siirtokapasiteetin periaatteellinen vaikutus alituotantoalueen hintaan

Algoritmi, joka laskee Elspot-hinnan seuraavalle vuorokaudelle, yhdistää samalla lähes koko Euroopan markkinat. Algoritmi joko hyväksyy tai hylkää jätettyjä myynti- ja ostotarjouksia sekä määrittää siirrot tarjousalueiden välillä. Päätöksen teon periaate on yhteiskunnallisen hyödyn (social welfare) maksimointi. (EUPHEMIA Public Description 2018, 20.) Yhteiskunnallinen hyöty määritellään hyväksytyjen ostotarjouksien kumulatiivisen määrän ja hyväksytyjen myyntitarjouksien kumulatiivisen määrän erotuksina (ks. kuvio 6). Yhteiskunnallista hyötyä maksimoidaan kaikkien alueiden ja jokaisen tunnin yli, jolloin algoritmi huomioi myös siirtokapasiteettien tehon muutosnopeuden tunnilta toiselle aiheuttamat rajoitukset ja blokkitarjoukset, jotka sitovat yhteen eri tunteja. (COSMOS description 2011, 13.)

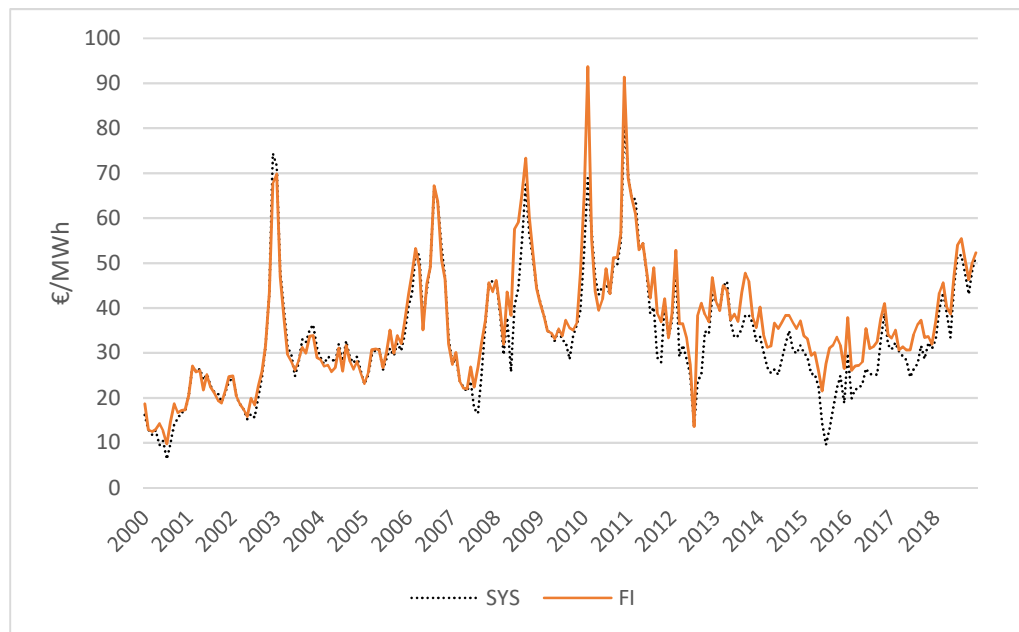


Kuvio 6. Yhteiskunnallisen hyödyn muodostumisen periaate



### 2.3 Suomen Elspot-hinnan kehitys

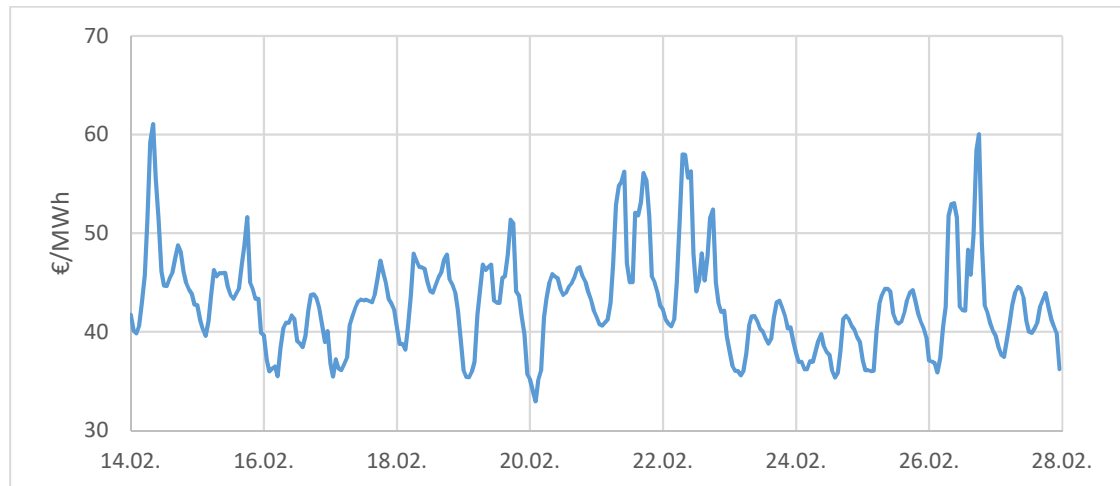
Suomen Elspot-hinta on seurannut viimeisten 19 vuoden aikana systeemihintaa (ks. kuvio 7). Kuukausikeskiarvojen ero Suomen Elspot-hinnan ja systeemihinnan välillä selittyy suurimmaksi osaksi Suomen siirtokapasiteetin puutteesta naapurimaihin.



Kuvio 7. Systeemihinnan ja Suomen Elspot-hinnan kehitys vuosina 2000–2018 kuukausikeskiarvoina (numerotiedot lähteestä Historical Market Data n.d.)

Vuosina 2013–2018 Suomen aluehinnan tuntiarvo on ollut pienimmillään 0,32 €/MWh ja suurimmillaan 255,02 €/MWh (Historical Market Data n.d.). Elspot-hinta on herkkä pohjoismaisen vesivoimatuotannon vaihteluille. Lisäksi yleisellä taloustilanteella on vaikutusta Elspot-hintaan, sillä taloustilanne näkyy suoraan sähkön kysynnässä (Vornanen 2017, 11). Kuten kuviosta 5 näkee, lisääntynyt sähkön kysyntä nostaa sähkön hintaa ja päinvastoin.

Elspot-hinta vaihtelee päivänsisäisesti ollen yleensä öisin matalimmillaan ja aamuisin ja iltaisin korkeimmillaan (ks. kuvio 8). Elspot-hintataso on kesäisin yleensä matalammalla tasolla kuin talvisin pienemmän kulutuksen vuoksi. Jo nyt Elspot-hinnoissa näkyy piikkeinä hetket, jolloin tuulivoimatuotanto on vähäistä (ks. kuvio 3 ja kuvio 8).



Kuvio 8. Suomen Elspot-hinta tunneittain 14.–28.2.2019 (numerotiedot lähteestä Historical Market Data n.d.)

### 3 Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden nykytilanne

#### 3.1 Siirtoyhteydet

Osana pohjoismaista sähköjärjestelmää Suomen kantaverkosta on vaihtosähköyhteydet Ruotsiin ja Norjaan. Liityntä Norjaan on 200 kV:n vaihtosähköyhteys ja Pohjois-Ruotsiin kaksi 400 kV:n vaihtosähköyhteyttä. Ruotsiin on myös Raumalta lähtevät tasasähköyhteydet Fenno-Skan 1 (400 MW) ja Fenno-Skan 2 (800 MW). Pohjoismaisen synkronialueen lisäksi Suomesta on siirtoyhteydet Viroon ja Venäjälle. Estlink 1 (350 MW) ja Estlink 2 (650 MW) ovat tasasähköyhteydet Suomen Viron välillä. Siirtoyhteys Venäjälle on kolme 400 kV:n tasasähköyhteyttä. (Pohjoismainen sähköjärjestelmä ja

liitynnät muihin järjestelmiin n.d.) Suomen ja Venäjän välinen kaupallinen siirtokapasiteetti mahdollistaa enintään 1300 MW:n tuonnin Suomeen tai 320 MW:n viennin Venäjälle (Venäjän siirtoyhteydet n.d.)

Ruotsi koostuu neljästä eri tarjousalueesta. Ruotsilla on siirtoyhteydet Suomen, Norjan ja Tanskan lisäksi myös Liettuaan, Puolaan ja Saksaan (El-, gas- och fjärrvärmeförsörjningen 2017, 2018, 25). Norja on nykyään jaettu viiteen eri tarjousalueeseen. Norjasta on siirtoyhteydet Suomeen, Ruotsiin, Tanskaan ja Alankomaihin. (Norway and the European power market 2016.) Itä-Tanskan alue DK2 on synkronoitu pohjoismaiseen sähköjärjestelmään ja Länsi-Tanskan alue DK1 taas Manner-Eurooppaan. Näiden alueiden välillä on ainoastaan 400 kV:n tasasähköyhteys Storebælt, jonka kapasiteetti on 600 MW. (Energy policies of IEA countries – Denmark 2017 Review 2017, 83.)

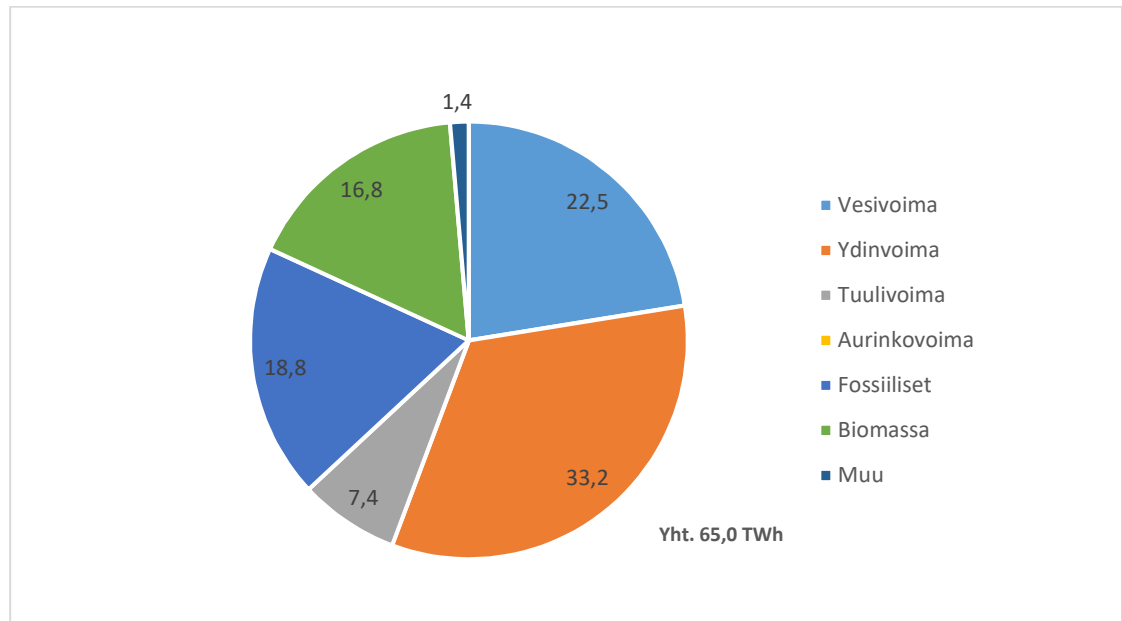
## 3.2 Sähkön tuotanto, kulutus ja siirrot Pohjoismaissa

Suomi, Ruotsi, Norja ja Tanska ovat sähköntuotanto- ja -kulutusrakenteiden kannalta hyvin erityyppisiä maita. Jokaisella maalla on ominaispiirteensä, jotka yhdessä poliittisten päätösten kanssa luovat suunnan maiden energiapolitiikalle. Tässä luvussa käydään läpi Pohjoismaiden tuotanto- ja kulutus rakenne vuoden 2017 toteumatietoja käyttäen. Toteutuneet vuosituotannot eivät kuitenkaan kerro eri tuotantomuotojen kapasiteettien maksimiarvoa.

### 3.2.1 Suomi

Suomen sähköntuotanto perustuu vahvasti ydinvoimaan (ks. kuvio 9). Vesivoimaa saadaan jokiin rakennetuista voimaloista. Jokien säännöstely on tarkkaa ja veden varastointi isossa mittakaavassa mahdotonta, minkä vuoksi Suomessa ei voida tuottaa vesivoimaa yhtä joustavasti kuin Ruotsissa ja Norjassa (Vesivoiman merkitys Suomen energiajärjestelmälle 2019, 36). Suuren lämmitystarpeen vuoksi Suomessa on sähköteholtaan noin 4000 MW:n edestä CHP-laitoksia, jotka tuottavat kaukolämmön yhteydessä myös sähköä (Voimalaitosrekisteri 2019). Fossiilisten polttoaineiden käytön

vähentessä biomassan ja tuulivoiman osuudet ovat suurentuneet. Tuulivoimatuotantoa on tuettu syöttötariffijärjestelmällä. Sähkön tavoitehinnaksi laissa on asetettu 83,5 €/MWh. (L 1396/2010, 23 §, 25 §.) Tuulivoimaloiden yhteenlaskettu kapasiteetti ylitti 2000 MW:n rajan vuonna 2017 (Energiavuosi 2018 – Sähkö 2019, 16).

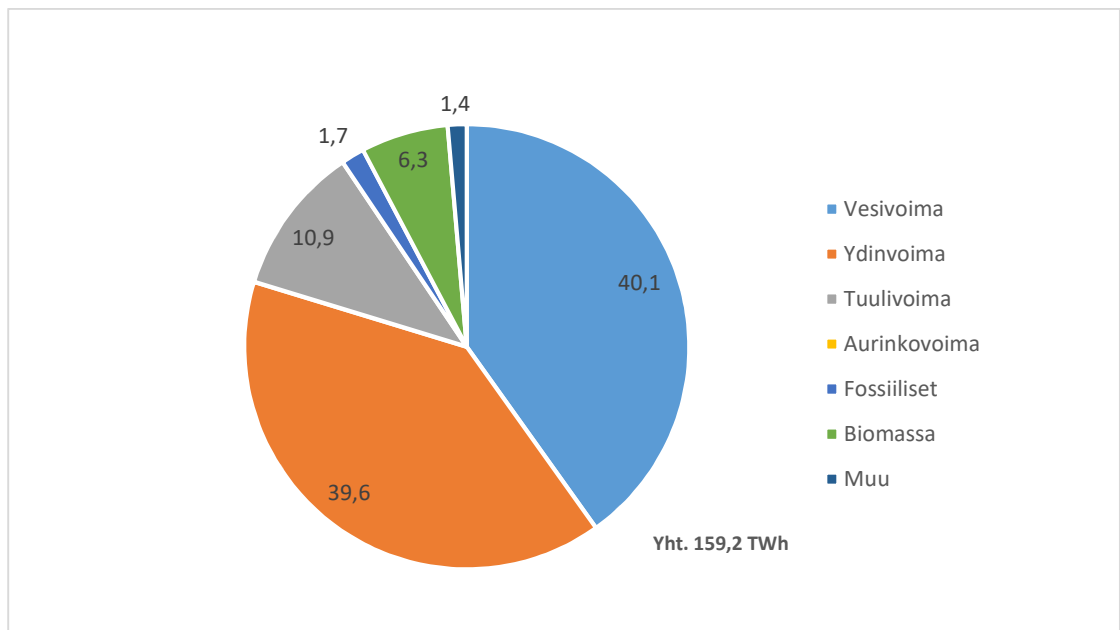


Kuvio 9. Suomen sähköntuotanto tuotantomuodoittain [%] vuonna 2017 (numerotiedot lähteestä Statistical factsheet 2017, 2018, 2–3)

Suomen sähkönkulutus oli vuonna 2017 85,5 TWh, josta teollisuus käytti noin puolet (Statistical factsheet 2017 2018; Energiavuosi 2018 – Sähkö 2019, 6). Koska Suomessa sähkönkulutus on tuotantoa suurempi, Suomi on riippuvainen tuontisähköstä. Tuontisähköllä katetaan Suomessa n. 20–25 % kulutuksesta (Vesivoiman merkitys Suomen energiajärjestelmälle 2019, 36).

### 3.2.2 Ruotsi

Ruotsissa sähköä tuotettiin vuonna 2017 lähes yhtä paljon vesivoimalla kuin ydinvoimalla (ks. kuvio 10). Ruotsin ydinvoimakapasiteetti on tosin pienentynyt Oskarshamn 2 ja 1 -reaktoreiden sulkemisen jälkeen vuonna 2015 661 MW ja vuonna 2017 492 MW (OKGs tre reaktorer 2017). Ruotsin vesivarantoja voidaan varastoida altaisiin, mikä tekee niiden käytöstä joustavampaa.



Kuvio 10. Ruotsin sähköntuotanto tuotantomuodoittain [%] vuonna 2017 (numerotiedot lähteestä Statistical factsheet 2017, 2018, 2–3)

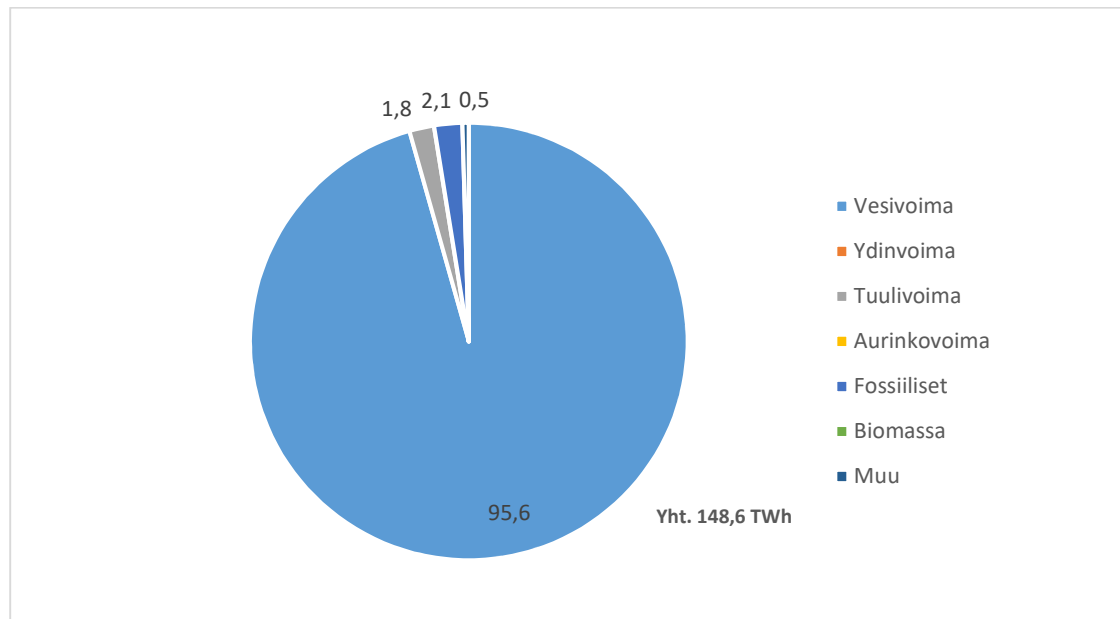
Ruotsin sähkönkulutus oli vuonna 2017 139,9 TWh, josta noin 35 % kului teollisuudessa (Statistical factsheet 2017 2018; El-, gas- och fjärrvärmeförsörjningen 2017, 2018, 22). Ruotsin läpi viedään Norjassa tuotettua vesivoimaa sekä Suomeen että Tanskan kautta Manner-Eurooppaan (ks. taulukko 1).

Taulukko 1. Sähkön tuonti ja vienti Ruotsissa vuonna 2017 (El-, gas- och fjärrvärmeförsörjningen 2017, 2018, 25)

	Tuonti (GWh)	Vienti (GWh)	Netto (GWh)
Tanska	2 203	5 103	-2 900
Suomi	88	15 209	-15 120
Liettua	113	3 041	-2 928
Norja	9 091	2 232	6 858
Puola	150	3 124	-2 974
Saksa	251	2 179	-1 924
<b>Yhteensä</b>	<b>11 896</b>	<b>30 888</b>	<b>-18 992</b>

### 3.2.3 Norja

Norjassa sähkö tuotetaan lähes kokonaan vesivoimalla (ks. kuvio 11). Loput n. 5 prosenttia tuotetaan lämpölaitoksilla ja tuulivoimalla. Jokivoimalaitosten lisäksi Norjassa oli vuonna 2016 pumppuvoimalaitoksia 1392 MW:n edestä, mikä lisää sähköntuotannon joustavuutta. Vesivoiman tuotantomäärät vaihtelevat vuosittain hydrologisen balanssin mukaan. (Norway 2017.)

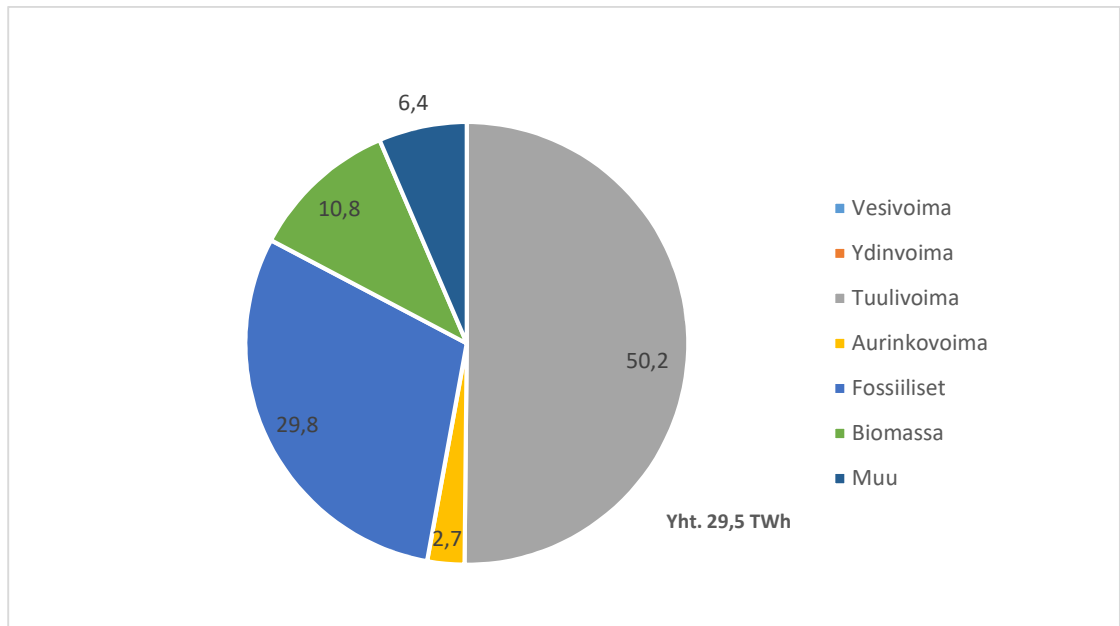


Kuvio 11. Norjan sähköntuotanto tuotantomuodoittain [%] vuonna 2017 (numerotiedot lähteestä Statistical factsheet 2017, 2018, 2–3)

Vuonna 2017 sähkönkulutus Norjassa oli 133,7 TWh (Statistical factsheet 2017, 2018). Siitä noin 40 % käytettiin teollisuudessa (Electricity 2018, taulukko 4). Norja on siis sähkön suhteen nettovientimaa, ja nopeasti säätyvällä vesivoimalla on sekä Pohjoismaissa että muualla Euroopassa kysyntää taajuuden ylläpitäjänä.

### 3.2.4 Tanska

Tanskan sähköntuotanto perustuu tuulivoimaan ja CHP-laitoksiin, joissa poltetaan biopolttoaineiden lisäksi hiiltä, kaasua ja öljyä (ks. kuvio 12). Tanskassa sähkön kokonaiskulutus on selvästi muita Pohjoismaita pienempää.



Kuvio 12. Tanskan sähköntuotanto tuotantomuodoittain [%] vuonna 2017 (numerotiedot lähteestä Statistical factsheet 2017, 2018, 2–3)

Tanskasta on siirtoyhteydet sekä Ruotsiin, Norjaan että Saksaan. Vuonna 2015 Tanska oli sähkön suhteen nettotuojana Ruotsista ja Norjasta sekä nettoviejä Saksaan. Tanskan sähkönkulutuksesta vuonna 2015 noin neljännes kohdistui teollisuuteen. Tanskan kahden tarjousalueen välillä on myös eroja: vuonna 2017 Länsi-Tanskassa tuotettiin ja kulutettiin lähes sama määrä sähköenergiaa, kun taas Itä-Tanskassa tuotanto jäi noin 5 TWh kulutusta pienemmäksi. Tarjousalueet yhdistävän Storebæltin siirtosuunta onkin suurimman osan ajasta Länsi-Tanskasta Itä-Tanskaan. (Energy policies of IEA countries – Denmark 2017 Review 2017, 76–77, 81.)

## 4 Muutokset Pohjoismaiden sähköntuotannossa 2019–2023

Sähköä tuotetaan tuotantokustannuksiltaan halvimmilla tavoilla, kuten luvussa 2.2 kerrottiin. Kuitenkin sekä oman että muiden maiden energiapolitiikka ja EU:n päätökset ohjaavat myös sähkön tuotantotapoja (Energiateollisuus ry edistää pitkäjänteistä energiapolitiikkaa n.d.). Seuraavissa luvuissa käsitellään muutoksia tuotantotapakohdistaisesti.

## 4.1 Lämpövoima

Fossiilisten polttoaineiden käytöstä Pohjoismaiden sähköntuotannossa halutaan luopua CO<sub>2</sub>-päästöjen ilmastovaikutuksien vuoksi, mikä vaikuttaa suuresti lämpövoimalaitoksiin. Lauhdelaitoksia suljetaan kannattamattomina, ja CHP-laitoksien tulevaisuus on aiempaa epävarmempi. Suomessa muut kuin polttoon perustuvat ratkaisut ovat yleistyneet lämmöntuotannossa lämpöpumppujen kautta (Kaukolämmön tuotanto n.d.). CHP-laitoksien tuotantoa kuitenkin tarvitaan pohjoisessa varsinkin talvien kulutushuippujen aikaan, ja lämpölaitosten säätökyky on tärkeää tehotasapainon ylläpitämiseksi (Yhteistuotanto n.d.).

Lämpövoimalaitoksien, joilla on vielä laskennallista käyttöikää jäljellä, vaatimuksia on tiukennettu. EU:n antama IE-direktiivi (industrial emission directive) määrittelee rikkidioksidin, typenoksidin ja hiukkaspäästöjen raja-arvot uusille ja olemassa oleville lämpölaitoksille tarkoituksenaan pienentää päästöjä. Kaikkia yli 50 MW:n lämpölaitoksia koskevat asetukset muuttuivat IED:n myötä. IED:n päästöraja-arvot vaativat monelta olemassa olevalta laitokselta investointeja parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan. Päästörajoja ei tarvitse huomioida niillä laitoksilla, jotka lupahakemuksessaan sitoutuvat ajamaan laitosta enintään 17500 tuntia 1.1.2016–31.12.2023 välisenä aikana. Vuoden 2023 jälkeen nämä laitokset poistuvat markkinoilta. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU.)

Lähes puolet Tanskan sähköntuotannosta perustuu fossiilisten polttoaineiden käyttöön, kuten kuvioista 12 käy ilmi. Tanskan poliittinen linjaus onkin korvata sähkön- ja lämmöntuotannossa hiili uusiutuvalla energialla. Sen vuoksi useat hiiltä polttavat isot CHP-laitokset on muutettu käyttämään polttoaineenaan biomassaa. (Energy policies of IEA countries – Denmark 2017 Review 2017, 71.)

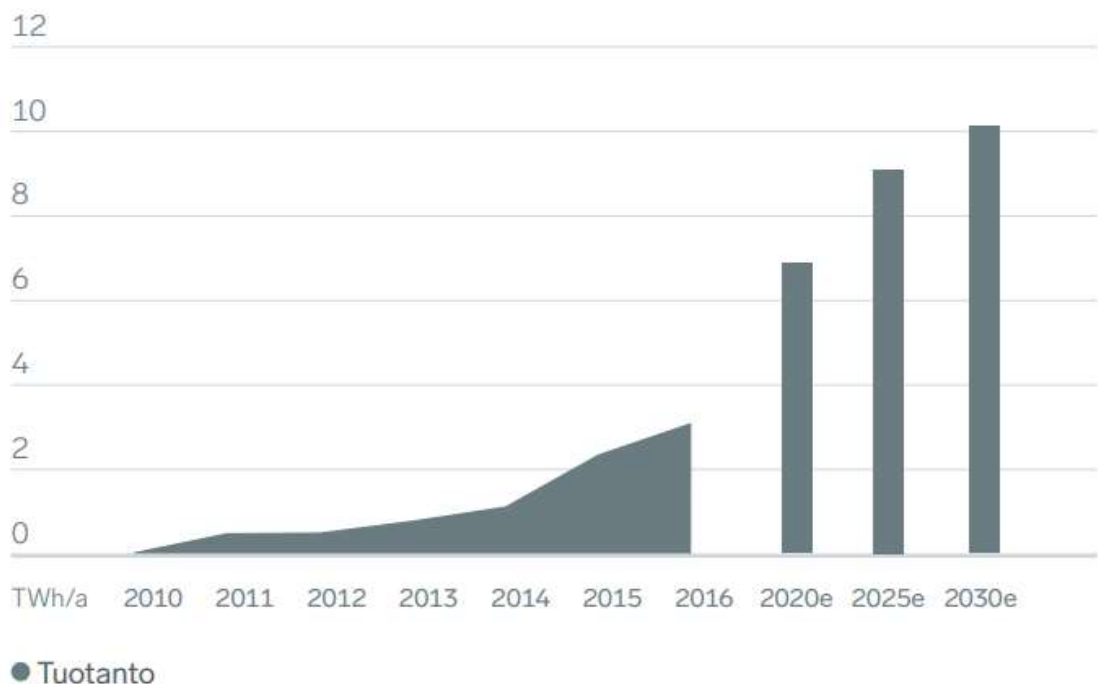
## 4.2 Tuuli- ja aurinkovoima

Sekä tuuli- että aurinkovoiman investointikustannusten pienenemiseen ovat vaikuttaneet teknologian kehitys sekä asennus- ja materiaalikustannusten pieneneminen.



Investointikustannusten suuruus vaihtelee kuitenkin mm. sijoituspaikan olosuhteiden sekä projektin koon mukaan. (Renewable Power Generation Costs in 2017, 2018.)

Tuulivoimakapasiteetin määrän Pohjoismaissa arvioidaan vuonna 2025 olevan kolminkertainen vuoden 2010 tasoon nähden (Challenges and Opportunities for the Nordic Power System n.d., 2). Tuulivoiman rakentamisen haasteita ovat pitkään kestävät lupaprosessit ja sopivan paikan löytyminen. Fingrid arvioi tuulivoiman kapasiteetin kasvavan Suomessa vuoteen 2027 mennessä 3000 MW:iin (ks. kuvio 13), jolloin vuosituotanto olisi arviolta 9 TWh (Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2017–2027 n.d., 21). Kappaleessa 3.2.1 olevan kuvion 8 perusteella tuulivoiman tuotanto Suomessa oli vuonna 2017 4,8 TWh.



Kuvio 13. Tuuli- ja aurinkosähkön toteutunut tuotanto [TWh] 2010–2016 ja ennustettu kehitys 2020–2030 Suomessa (Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2017–2027, 21)

Ruotsissa tuulivoimatuotannon arvioidaan tuplaantuvan saavuttaen 30 TWh:n tason vuoden 2021 lopulla. Arvio perustuu vuonna 2018 tiedossa olleisiin tuulivoimaprojekteihin. (Munkejord 2018.) Tanskassa ENTSO-E:n ennusteiden mukaan tuulivoimaka-

pasiteetti tulee kasvamaan vuoteen 2025 mennessä 6790 MW:iin ja aurinkovoimakapasiteetti 1140 MW:iin. (Energy policies of IEA countries – Denmark 2017 Review 2017, 92.)

## 4.3 Ydinvoima

### 4.3.1 Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitos

Suomen viides ydinvoimalaitosyksikkö, Olkiluoto 3 (OL3) valmistuu tämänhetkisen tiedon mukaan vuonna 2019 ja aloittaa kaupallisen käytön vuonna 2020. Sen nettosähköteho on noin 1600 MW, mikä tekee siitä valmistuessaan yhden maailman suurimmista ydinvoimalaitosyksiköistä. (Olkiluoto 3 n.d.) OL3 on Teollisuuden Voima Oyj:n (TVO) omistama. Sen tuottamaan sähköön ovat oikeutettuja TVO:n B-sarjaa omistavat osakkaat, joita ovat EPV Energia Oy, Fortum Power and Heat Oy, Loiste Holding Oy, Oy Mankala Ab ja Pohjolan Voima Oyj. (TVO-konserni n.d.)

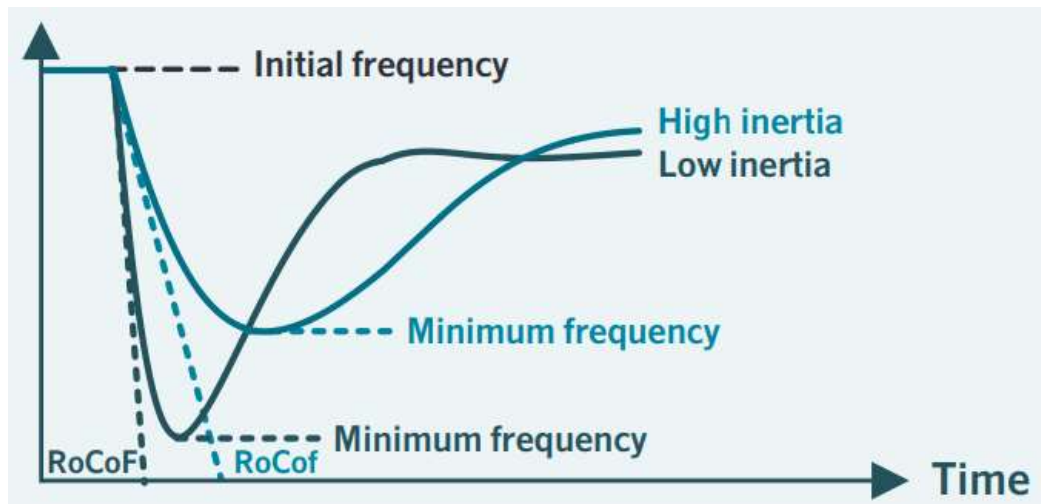
Suomen sähköjärjestelmä pystyy kompensoimaan tuotannon muutoksella ja tuontisähköllä arviolta enimmillään nettovaikutuksiltaan 1300 MW suuruisen tuotantoyksikön äkillisen irtoamisen verkosta, minkä vuoksi OL3-yksikön verkkoon liittämistä varten määriteltiin erillinen järjestelmäsuoja (Olkiluoto 3 kantaverkkoon erityisjärjestelyin 2017). Fingrid järjesti vuonna 2017 tarjouskilpailun, jonka perusteella valittiin järjestelmäsuojaan osallistuvat kuormat, yhteensä 396 MW. Järjestely on voimassa valittujen kuormien osalta määräaikaisesti. (Olkiluoto 3:n järjestelmäsuojan kuormat valittu 2017.) OL3:n vikaantuessa ja irrotessa sähköverkosta yli 1300 MW:n teholta järjestelmäsuoja laukaisee 200 millisekunnissa irti tarvittavan määrän, kuitenkin enintään 350 MW, sähköverkkoon liitettyä teollisuuskuormaa korkeintaan kolmeksi tunniksi. Silloin myös täydeltä teholta verkosta putoaminen tarkoittaa nettovaikutukseltaan sähköjärjestelmälle enintään 1300 MW:n muutosta. Tämä muutos saadaan tasapainotettua taajuusohjatuilla häiriöreserveillä, säätösähköllä ja varavoimaloilla. (Olkiluoto 3 verkkoon 2018.) Mikäli järjestelmäsuojan ylläpitoon ei saada tarpeeksi kuormaa, OL3:n tehoa rajoitetaan turvallisuussyistä enimmillään 1300 MW:iin (Laasonen 2018).

Järjestelmäsuojan lisäksi Ruotsin pohjoisten vaihtosähköyhteyksien kaupallista tuontikapasiteettia Ruotsista Suomeen lasketaan enintään 300 MW:lla OL3:n ollessa verkossa vähintään 1300 MW:n teholla (ks. taulukko 2). Rajoitus 1200 ja 1500 MW:n välillä on lineaarinen ja riippuu OL3:n tehosta. Rajoitus takaa siirtokapasiteetin riittävyyden, mikä mahdollistaa korvaavan tuotannon tuonnin Ruotsista OL3:n vian sattuessa. (Laasonen 2018.)

Taulukko 2. OL3:n tehon vaikutus siirtokapasiteettiin (Laasonen 2018, muokattu)

OL3:n teho	Siirtokapasiteetti FI-SE (pohjoinen)	
	Tuonti	Vienti
≤ 1000 MW	1500 MW	1100 MW
≥ 1300 MW	1200 MW	1100 MW

OL3:n tehoa voidaan joutua rajoittamaan myös sähköverkon matalan inertian vuoksi. Inertia kuvastaa sähköjärjestelmän kykyä vastustaa taajuudenmuutosta häiriön jälkeen. Jos suuri laitos irtoaa suunnittelematta verkosta, tuotanto poistuu hetkessä ja sähköverkon taajuus putoaa. Vaikka taajuutta aletaan korjata häiriöreservillä, taajuus voi ehtiä putoamaan alle 49,0 Hz:n ja riski suureen häiriöön sähköjärjestelmässä kasvaa. Häiriön hetkellä taajuuden muutosnopeuden (RoCoF, rate of change of frequency) määrittää sähköjärjestelmän inertia (ks. kuvio 14). Sähköjärjestelmän inertia määräytyy siihen liitetyistä samalla taajuudella pyörivistä koneista, kuten voimalaitoksien generaattoreista ja turbiineista. (Challenges and Opportunities for the Nordic Power System n.d., 35.)

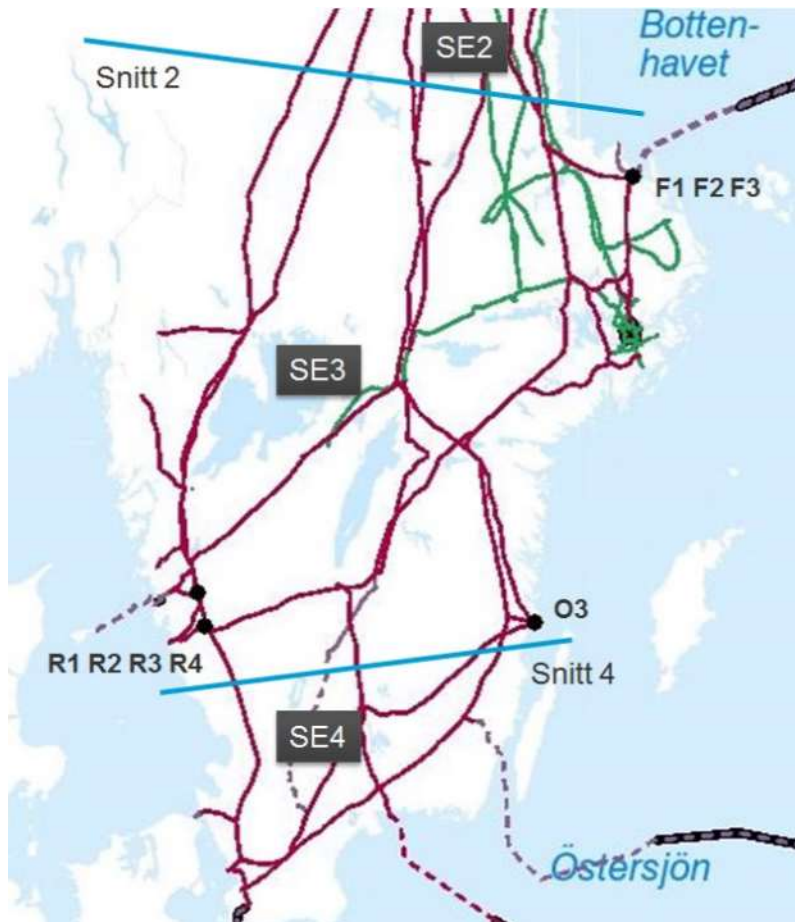


Kuvio 14. Häiriötilanteen jälkeisen minimaajuuden riippuvuus järjestelmän inertista (Challenges and Opportunities for the Nordic Power System n.d., 35)

Tuulivoimalat on usein liitetty sähköverkkoon taajuusmuuntajan välityksellä, minkä vuoksi ne eivät lisää järjestelmän inertiaa. Myöskään aurinkovoima ja tasasähköyhteyksillä tuotu sähkö eivät lisää inertiaa sähköjärjestelmässä. Tuotantorakenteen muuttuessa niin, että inertiaa järjestelmään tuovia voimalaitoksia, kuten lauhdevoimalaitoksia, poistuu markkinoilta ja tuuli- sekä aurinkovoiman osuutta kasvatetaan, sähköjärjestelmän inertia vähenee. Suurin riski liian pienelle inertialle sähköjärjestelmässä on kesäisin, jolloin inertiaa järjestelmään tuottamattoman tuotannon suhde inertiaa tuottavaan tuotantoon on suurimmillaan. Taajuuden turvaamiseksi häiriötilanteessa yli 1000 MW:n voimalaitoksien, kuten OL3:n, tehoa saatetaan rajoittaa kesäisin. (Sähköjärjestelmän matalan inertian hallinta 2018.)

#### 4.3.2 Ruotsin ydinvoima

Ruotsissa suljetaan ydinvoimalaitoksia taloudellisesti kannattamattomana. Ruotsissa on kolmessa ydinvoimalaitoksessa yhteensä kahdeksan reaktoria, joista kaksi, Ringhals 2 ja Ringhals 1 suljetaan vuosina 2019 ja 2020. (Framtiden för R1 och R2 2019.) Ringhals 1 -yksikön sulkemisen myötä Ruotsista häviää 878 MW ydinvoimakapasiteettia, Ringhals 2 -yksikkö on teholtaan 865 MW (Teknisk information om Ringhals 2013, 6). Kaikki Ruotsin ydinvoimalaitokset sijaitsevat Etelä-Ruotsissa samalla tarjousalueella (ks. kuvio 15). Myös suurin osa Ruotsin sähkönkulutuksesta keskittyy SE3 ja SE4 -tarjousalueille. (Kärnkraftens roll i kraftsystemet 2019, 27–28.)



Kuvio 15. Ruotsin ydinvoimalaitosten sijainti (Kärnkraftens roll i kraftsystemet 2019, 28)

#### 4.4 Vesivoima

Vaikka vesivoimatuotanto on uusiutuvaa ja päästötöntä, silläkin on haasteensa tulevaisuudessa. Vesivoiman ympäristövaikutukset näkyvät lähivesistöissä patojen estäessä kaloja liikkumasta. Kalateiden rakentamisella pyritään lieventämään patojen vaikutuksia kaloille. (Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköä n.d.)

Natura 2000 on Euroopan unionin hanke, jonka tavoitteena on pysäyttää luonnon monimuotoisuuden kato. Natura-alueisiin kuuluu sekä maa- että vesialueita, minkä vuoksi sen vaikutusta vesivoimatuotantoon on pitänyt arvioida. (Natura-alueet 2019.) Ruotsin viranomaiset Energimyndigheten ja Havs- och vattenmyndigheten määrittelevät ympäristön suojelutoimenpiteiden vuoksi vesivoimatuotantoa rajoitta-

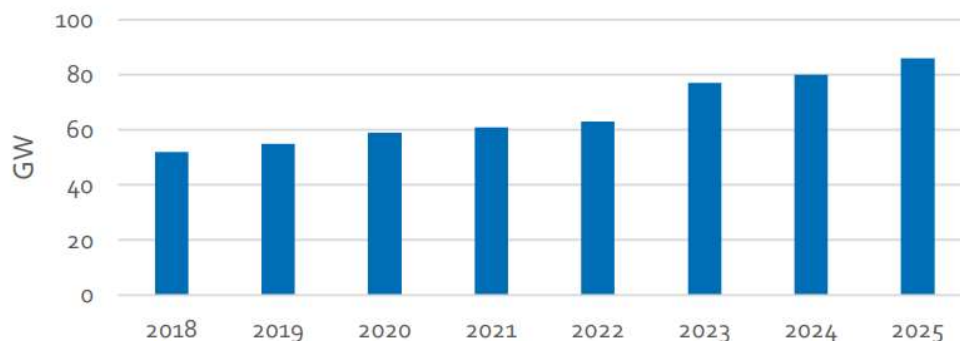
van suunnittelutavoitteen. Normaalivuoteen nähden vesivoiman tuottama sähköenergia pienentyy korkeintaan 2,3 %, mikä vastaa 1,5 TWh:n tuotantoa. (Strategi för åtgärder i vattenkraften 2014, 40.)

## 5 Muutokset Pohjoismaiden kulutuksessa 2019–2023

Suomen Elspot-hintaan vaikuttavat paitsi muutokset sähkön tuotannossa myös muutokset sähkön kulutuksessa. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan kulutusrakenteissa tapahtuvista muutoksista. Yksittäisistä muutoksista merkittävin on datakeskusten määrän kasvu.

### 5.1 Datakeskukset

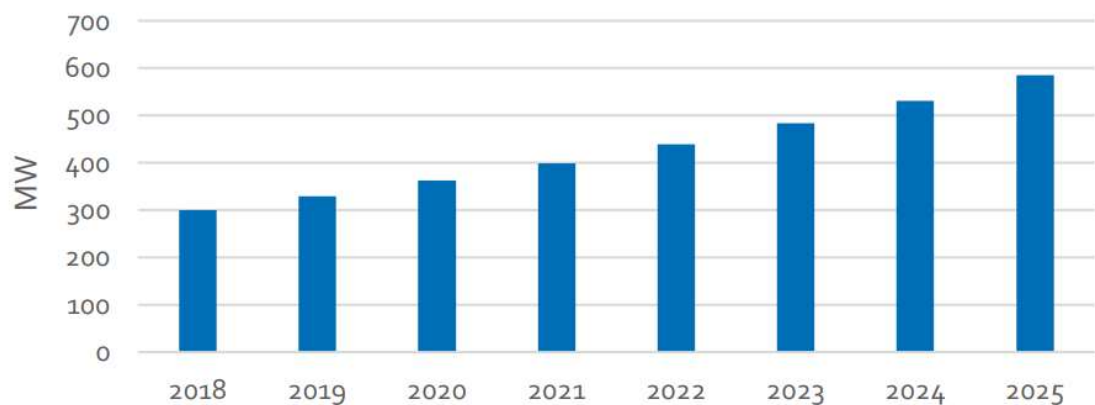
Datan käytön ja tallennustilan tarpeen lisääntyessä myös datakeskusten määrä ja koko kasvavat (ks. kuvio 16). Suomessa on jo satoja datakeskuksia, joista tähän asti suurin on Googlen omistama Haminassa sijaitseva, teholtaan 100 MW:n datakeskus (Lampela 2018). Konesalien eli palvelinhuoneiden ja datakeskusten sähkönkulutuksen arvioitiin vuonna 2011 olevan jo 0,5–1,5 % koko Suomen sähkönkulutuksesta (Energiatehokas konesali 2011, 4).



Kuvio 16. Ennuste datakeskusten kapasiteetista globaalisti (Data centre opportunities in the Nordics 2018, 12)

Lähes kaikki datakeskuksien käyttämä sähkö muuttuu lämpöenergiaksi. Siksi energiaa kuluu palvelimien lisäksi datakeskuksien jäähdyttämiseen. Tätä hukkalämpöä voidaan hyödyntää kaukolämpöverkoissa. (Energiatehokas konesali 2011, 12.)

Suuri osa Euroopan datakeskusprojekteista on perinteisesti sijoittunut Lontooseen, Frankfurtiin, Amsterdamiin, Pariisiin tai Dubliniin. Pohjoismaiden etuja datakeskusinvestoinneista kilpailtaessa ovat mm. sähkön saatavuusvarmuus ja hinta, hyvät yhteydet, viileä ilmasto ja verotus. Pohjoismaiden ministerineuvoston vuonna 2018 julkaiseman raportin mukaan datakeskuksien kapasiteetti Pohjoismaissa kasvaa tulevina vuosina 280–580 MW:n vuosinopeudella (ks. kuvio 17). Vuodesta 2018 vuoteen 2023 kulutuksen kasvua tulisi siis 2 000 MW. (Data centre opportunities in the Nordics 2018, 20–24.)



Kuvio 17. Uusien datakeskusten vuotuinen kapasiteetin kasvu Pohjoismaissa (Data centre opportunities in the Nordics 2018, 36)

Suomeen suunnitellaan parhaillaan uusia datakeskuksia. Fortum suunnittelee jopa 100 MW:n datakeskuksen sijoittamista Espooseen, ja Silent Partner Group on ai-keissa rakentaa neljä 250 MW:n datakeskusta, yhden Haminaan, kaksi Sotkamoon ja yhden Tornioon (Takala 2019; Halminen 2018).

## 5.2 Väestönkasvu ja teollisuuden kasvu

Väestön kasvun jatkuessa ja pienten asutuskuntien määrän kasvaessa kotitalouksien sähkönkulutuskin kasvaa energiansäästötoimista huolimatta. Yksi sähkön kulutusta kasvattava tekijä on kotitalouksien sähkölaitteiden yhä kasvava määrä. (Suomen sähkötehon riittävyys ja kapasiteettirakenteen kehitys vuoteen 2030, 2015, 11.)

Yleinen talouskehitys vaikuttaa teollisuuden sähkön käyttöön ja kysyntään. Lopullinen sähkön kysynnän muutos tulee tuotantokapasiteettien kasvun ja energiatehokkuustoimenpiteiden summana. (Mts. 11–12.)

## 5.3 Sähköautot

Fossiilisten polttoaineiden käyttöä halutaan sähköntuotannon lisäksi vähentää myös liikennesektorilla. Yksi ratkaisu tähän ovat sähköautot. Fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen onnistuu sähköautojen avulla vain, jos niiden tarvitsema sähkö pystytään tuottamaan lisäämättä fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

Suomen hallitus tavoittelee vähintään 250 000 sähkökäyttöisen auton osuutta Suomeen vuoteen 2030 mennessä, mikä lisäisi Suomen vuosittaista sähkönkulutusta noin 0,8 TWh eli noin prosentin verran (Heikkilä 2018). Huippukuormien muodostumisesta sähköautojen lataamisen vuoksi voidaan vähentää älykkäällä latauksella. Lataamisen voisi siirtää esim. yön tunneille, jolloin sähkönkulutus on pienempää ja hinnat halvempia. (Ruska, Kiviluoma & Koreneff 2010, 32-33.)

## 5.4 Kysyntäjousto

Sähköjärjestelmää on perinteisesti tasapainotettu muuttamalla tuotantoa vastamaan kysynnän tarpeita. Vaihtelevan uusiutuvan sähköntuotannon osuuden kasvu ja lämpölaitoksien sulkeminen ovat kuitenkin vähentäneet tuotantopuolen kykyä tasapainottaa järjestelmää. Kysyntäjouston eli kulutuspuolen luoman tasapainotuksen ei ole tarkoitus vähentää sähkön kokonaiskulutusta vaan siirtää sitä eri hetkelle.

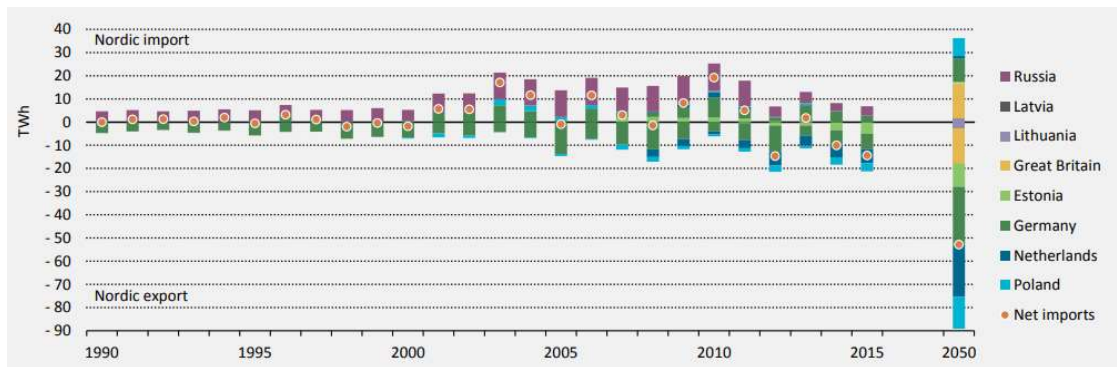


Nord Poolin eri markkinapaikat luovat mahdollisuuksia kysyntäjoustopotentialin lisäämiselle. Elspot-tarjoukset jätetään 0,1 MW:n tarkkuudella, mikä rajoittaa Elspot-kaupankäyntiin osallistuvien toimijoiden määrää. Pienien kuormien kysyntäjoustopotentiaali voidaan kuitenkin saada Elspot-markkinoille aggregoimalla eli yhdistämällä kulutuskohteita. (Väänänen 2017, 41.) Elspot-tarjouksessa kysyntäjousto voidaan huomioida esim. hintariippuvana ostotarjouksena tai ostotarjouksen ja myyntiblokin yhdistelmänä, jolloin kullekin vähintään kolmen tunnin blokille taataan kaikki tai ei mitään -läpimenoperuste (Demand response in the Nordic electricity market 2014, 27–28).

Vuonna 2017 julkaistun arvon mukaan kysyntäjoustopotentiaali on Suomessa 0,4–1,2 GW, Tanskassa 0,5–1,4 GW, Norjassa 0,7–4 GW ja Ruotsissa 8 GW (Flexible demand for electricity and power 2017, 61). Potentiaalini ei oleteta muuttuvan merkittävästi nykyisestä vuoteen 2023 mennessä.

## **6 Muutokset siirtoyhteyksissä 2019–2023**

Sähkömarkkinat ovat kehittymässä kohti yhteiseurooppalaista markkinaa, jossa osamarkkinoiden väliset kytkennät ovat tiiviimpiä (Pohjoismainen energiapolitiittinen yhteistyöohjelma 2018–2021, 2017, 14). Pohjoismaiden kantaverkkoyhtiöt arvioivat, että vuoteen 2025 mennessä siirtokapasiteetti Pohjoismaista Manner-Eurooppaan, Baltiaan ja Isoon-Britanniaan on lähes tuplaantunut 8500 MW:sta 16500 MW:iin (Challenges and Opportunities for the Nordic Power System n.d., 14). Siirtokapasiteetin kasvu luo mahdollisuuden myös siirrettävän energian määrän kasvulle. International Energy Agency:n vuonna 2016 julkaiseman tutkimuksen mukaan hiilineutraalissa skenaariossa Pohjoismaista siirrettävän energian määrä kasvaa vuoteen 2050 mennessä radikaalisti (ks. kuvio 18).



Kuvio 18. Pohjoismaiden ulkopuoliset siirtomäärät kasvavat hiilineutraalin skenaarion mukaan (Nordic Energy Technology Perspectives 2016, 2016, 50).

Uusia siirtoyhteyksiä Pohjoismaista Manner-Eurooppaan ja Isoon-Britanniaan on sekä rakenteilla että suunnitteilla. Taulukkoon 3 on kerätty siirtoyhteysprojektit, joiden arvioitu käyttöönotto on vuosia 2019–2023.

Taulukko 3. Uudet siirtoyhteydet (COBRACable: Elforbindelse til Holland n.d.; Integrated annual report 2017, 2018, 160; Kriegers Flak – Combined grid solution n.d.; NordLink n.d.; North Sea Link n.d.; Viking Link Interconnection n.d., 3)

Nimi	Yhteys	Siirtokapasiteetti	Valmistumisvuosi (arvio)
COBRA	Tanska (DK1) – Alankomaat	700 MW	2019
Kriegers Flak	Tanska (DK2) – Saksa	400 MW	2019
NordLink	Norja – Saksa	1400 MW	2020
NSN Link	Norja – Iso-Britannia	1400 MW	2021
Viking Link	Tanska (DK1) – Iso-Britannia	1400 MW	2023

## 7 Suurimpien muutoksien vaikutuksien arvioiminen

Tähän lukuun on valittu esitellyistä muutoksista merkittävimmät ja niiden vaikutusta Suomen Elspot-hintaan arvioidaan. Arvioinnin perusteena käytetään hinnanmuodostusteoriaa. Sähkömarkkinoilla tapahtuvia muita muutoksia ei olla otettu huomioon.

## **Tuulivoima**

Tuulivoimakapasiteetin kasvaminen Pohjoismaissa tarkoittaa entistä suurempia vaihteluita tuotannossa lyhyen ajan sisällä. Aikoina, jolloin tuulivoimatuotanto on suurta, Elspot-hinta laskee. Toisaalta niinä aikoina, kun ei tuule, sähköntuotanto voi olla nykyistä kalliimpaa, koska sähkö voidaan joutua tuottamaan laitoksilla, jotka eivät normaalisti tuota. Tuulivoimatukijärjestelmän muutokset voivat myös vaikuttaa tuulivoiman tarjontahintaan ja sitä kautta Suomen Elspot-hintaan. Sähkönhinnan vaihtelu tulee tuulivoimatuotannon lisääntymisen myötä kasvamaan ja yleistymään.

## **Olkiluoto 3**

OL3:n tuotanto pienentää TVO:n osakkaiden sähköntarvetta, mikä pienentää sähkönkysyntää Elspot-markkinoilla ja todennäköisesti laskee näin Suomen Elspot-hintaa. Uuden ydinvoimalaitoksen myötä Suomen tuontisähköntarve vähenee. Sen myötä Suomen ei pitäisi enää niin usein eriytyä muiden tarjousalueiden hinnasta. Saattaa jopa olla, että Fenno-Skan -siirtoyhteyksien pääasiallinen suunta vaihtuu Suomen osalta tuonnista vienniksi.

Sitä, miten usein ja kuinka paljon OL3:n tehoa tullaan lopulta rajoittamaan, ei vielä tiedetä. Sillä on kuitenkin suoraan vaikutusta siihen, miten paljon OL3 laskee Suomen Elspot-hintaa.

## **Datakeskukset**

Datakeskukset kasvattavat Suomen sähkönkysyntää, mikäli hankkeet toteutuvat suunnitellusti. Suurempi kysyntä tarkoittaa sähkön hinnalle nousua, mikäli rajasiirtoyhteyksien kautta ei saada sähköä halvemmilta hinta-alueilta. Datakeskusten jäähdytysveteen sitoutunut lämpöenergia voidaan käyttää hyödyksi kaukolämpönä, mikä vaikuttaa lähiseudun CHP-laitoksiin tuotantomääriä laskien. Jos CHP-kapasiteetti vähenee Suomessa, riski korkeille Elspot-hinnoille on kylminä talvipäivinä kulutushuipujen aikaan suuri.

## Uudet siirtoyhteydet

Vahvistetut siirtoyhteydet Pohjoismaista Manner-Eurooppaan ja Isoon-Britanniaan tasaavat näiden alueiden välisiä hintoja. Suomen osalta hinnat todennäköisesti siis keskimääräisesti nousevat lähestyen Manner-Euroopan hintatasoa. Suuremmat siirtokapasiteetit Manner-Eurooppaan ja erityisesti Saksaan, jossa vaihtelevaa tuotantoa on paljon, voivat tarkoittaa entistä suurempia vaihteluja Pohjoismaiden sähkön hintaan. Joustavasti säätyvän sähkön arvo voi nousta nykyisestä kasvavan kysynnän vuoksi. Se saattaa muuttaa hinnoittelumalleja tai sitä, mille markkinoille esimerkiksi vesivoimantuottaja ensisijaisesti osallistuu.

## 8 Tulokset

Edellisen luvun arvioitujen muutosten perusteella on taulukkoon 4 koottu muutoksien vaikutus Suomen Elspot-hintaan. Vaikutusta Suomen Elspot-hintaan arvioidaan hintaa laskevaksi, nostavaksi tai vaihteluväliä kasvattavaksi.

Taulukko 4. Muutoksien vaikutus Suomen Elspot-hinnan kehitykseen

Muutos	Vaikutus
Tuulivoima	Hinnanvaihtelu kasvaa
Olkiluoto 3	Laskeva
Datakeskukset	Nostava
Uudet siirtoyhteydet	Hinnanvaihtelu kasvaa

Tuloksien kannalta on huomioitava, että ne perustuvat täysin skenaarioihin ja ennusteisiin. Tuulivoimantuotannon kasvu ei välttämättä enää jatku samalla tahdilla kuin tähän mennessä. Taloudellisesti kannattavan tuulivoimantuotantoa tasaavan teknologian, kuten suurten akkujen, kehitys voi vauhdittaa tuulivoimaloiden rakentamista.

Olkiluoto 3 on ollut rakenteilla jo pitkään ja käyttöönottovuosi on vaihtunut useasti. Tämänhetkisen tiedon mukaan kaupallinen sähköntuotanto alkaa 2020 vuoden alkupuolella.

Tulevien datakeskushankkeiden toteutuminen Pohjoismaissa ja Suomessa on vielä epävarmaa, vaikka Pohjoismailla onkin useita etuja datakeskusten sijoituspaikkana. Suomen Elspot-hinnan kannalta sillä on myös merkitystä, millä tarjousalueilla kysyntä datakeskushankkeiden myötä kasvaa ja mitkä ovat tarjousalueiden väliset siirtokapasiteetit.

Suomen Elspot-hinnan vaihteluiden odotetaan kasvavan. Uuden ydinvoimalan Elspot-hintaa laskeva vaikutus tulee luultavasti olemaan datakeskusten nostavaa vaikutusta suurempi, sillä datakeskuksia voidaan käyttää myös lämmöntuotannossa.

## 9 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota yhteenveto pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla vuosina 2019–2023 oletettavista sähkönkulutuksen ja -tuotannon merkittävimmistä muutoksista sekä arvioida näiden muutoksien vaikutusta Suomen Elspot-hintaan. Opinnäytetyöprosessi alkoi etsimällä merkittävimpiä muutoksia ja päättyi arviointiin, miten näistä muutoksista suurimmat vaikuttavat Suomen Elspot-hintaan viiden vuoden päästä. Muutoksiin liittyviä skenaarioita ja ennusteita etsittiin ja tiedostettiin, että niihin liittyy suurta epävarmuutta.

Osa tarkasteltavista muutoksista vaikuttaa Suomen Elspot-hintaan nostavasti, osa laskevasti. Vaihtelevaan uusiutuvaan sähköntuotantoon liittyvät muutokset heiluttavat hintaa välillä nykyistä alemmas ja välillä ylemmäs aiheuttaen nykyistä suurempia hinnanvaihteluita. Tarkan hinnan arviointi olisi vaatinut yksityiskohtaista mallinnusta, ja silloinkin saatuun lukuun olisi sisältynyt suurta epävarmuutta.

Tässä opinnäytetyössä onnistuttiin saamaan neljän sähköntuotantoon, -kulutukseen tai uusiin siirtoyhteyksiin liittyvien muutoksien vaikutus Suomen Elspot-hinnan kehityssuuntaan. Muiden työssä esiteltyjen muutoksien vaikutusta ei lopulta arvioitu joko niiden monimutkaisten kytkösten tai pienuuden vuoksi.

Vaikka aihe rajattiin koskemaan pelkästään Suomen Elspot-hintaa, muutoksien tarkastelu tuli kuitenkin tutkia yhteisten markkinoiden vuoksi Pohjoismaiden tasolla,

mikä osoittautui haastavaksi. Työn luotettavuuden kannalta ei nähty eroa siinä, tarkastellaanko hinnanmuutosta vain Suomessa vai Suomen lisäksi myös muilla Nord Poolin tarjousalueilla. Koska muutoksien vaikutuksia tarkasteltiin toisistaan riippumattomina, ei tässä työssä saatuihin tuloksiin vaikuta, jos jotain tärkeää muutosta ei ole huomattu ottaa mukaan tarkasteluun.

Tarkastelun rajaus vain Elspot-markkinoihin oli työn kannalta erittäin tärkeää. Sähköpörssin eri markkinapaikkojen yksityiskohtainen esittely omine hinnanmuodostusmekanismineen ja muutoksien vaikutuksien arviointi Elbas- tai tasesähköhintoihin olisi moninkertaistanut työn laajuuden. Elbas- ja tasesähköhinnat vaikuttavat Elspot-hinnan ohella sähkömarkkinatoimijan kustannuksiin. Sen vuoksi näissä on aihetta jatkotutkimuksiin. Myös vaihtelevan uusiutuvan energian tuotannosta aiheutuvien Elspot-hinnan heilahtelujen yksityiskohtaisempi tarkastelu olisi tarpeen. Suuret hinnanvaihtelut ovat esimerkiksi ison mittaluokan akkujen yleistyvyyden kannalta tärkeitä, sillä akkua voisi ladata matalan hinnan aikaan ja purkaa varaus, kun hinta on korkea.

Sähkömarkkinat muuttuvat myös muutenkin kuin vain kulutus- ja tuotantorakenteiden myötä. Tässä opinnäytetyössä muiden muutoksien vaikutus rajattiin pois, eli Elspot-markkinoita tarkasteltiin tuomalla muutoksien vaikutus nykyhetkeen. Vaikka muutoksia pyrittiin esittämään monen eri tuotantomuodon ja kulutuskohteen kautta, merkittäviä muutoksia on voinut jäädä työn ulkopuolelle.

## Lähteet

- Annual report 2017. 2018. Nord Poolin vuosiraportti. Viitattu 14.2.2019  
[https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/annual-report/annual-report-nord-pool\\_2017.pdf](https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/annual-report/annual-report-nord-pool_2017.pdf)
- Bidding areas. N.d. Artikkele Nord Poolin sivustolla. Viitattu 7.3.2019.  
<https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Bidding-areas/>
- Block order. N.d. Artikkele Nord Poolin sivustolla. Viitattu 9.3.2019.  
<https://www.nordpoolgroup.com/trading/Day-ahead-trading/Order-types/Block-bid/>
- Challenges and Opportunities for the Nordic Power System. N.d. Statnetin, Fingridin, Energinetin ja Svenska Kraftnätnin raportti. Viitattu 5.3.2019.  
<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/tki-toiminta/report-challenges-and-opportunities-for-the-nordic-power-system.pdf>
- COBRACable: Elforbindelse til Holland. N.d. Artikkele Energinetin sivustolla. Viitattu 8.3.2019. <https://energinet.dk/Anlaeg-og-projekter/Projektliste/COBRACable>
- COSMOS description. 2011. COSMOS-algoritmin kuvaus. Viitattu 8.3.2019.  
[https://www.epexspot.com/document/20015/COSMOS\\_public\\_description.pdf](https://www.epexspot.com/document/20015/COSMOS_public_description.pdf)
- Data centre opportunities in the Nordics. 2018. Pohjoismaiden ministerineuvoston raportti. Viitattu 19.2.2019. <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1263485/FULLTEXT02.pdf>
- Day-ahead market. N.d. Artikkele Nord Poolin sivustolla. Viitattu 7.3.2019.  
<https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/>
- Demand response in the Nordic electricity market. 2014. THEMA Consulting Groupin raportti. Viitattu 24.3.2019. <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2014/10/Demand-response-in-the-Nordic-electricity-market.pdf>
- El-, gas- och fjärrvärmeförsörjningen 2017. 2018. Energimyndighetenin ja SCB:n raportti. Viitattu 13.2.2019.  
[https://www.scb.se/contentassets/132bf4c8144049919a3973bdf689ce8/en0105\\_2017a01\\_sm\\_en11sm1801.pdf](https://www.scb.se/contentassets/132bf4c8144049919a3973bdf689ce8/en0105_2017a01_sm_en11sm1801.pdf)
- Electricity. 2018. Statistisk sentralbyrån tilasto. Viitattu 13.2.2019.  
<https://www.ssb.no/en/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar>
- Electricity market needs fixing – What can we do? 2016. Fingridin raportti. Viitattu 7.3.2019. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/en/electricity-market/development-projects/fingrid-electricity-market-needs-fixing-2016-web.pdf>
- Energiatohokas konesali. 2011. Motivan opas konesalien energiankäytön tehostamiseksi. Viitattu 27.2.2019.  
[https://www.motiva.fi/files/4828/Energiatohokas\\_konesali.pdf](https://www.motiva.fi/files/4828/Energiatohokas_konesali.pdf)

Energiateollisuus ry edistää pitkäjänteistä energiapolitiikkaa. N.d. Artikkelin Energiateollisuus ry:n sivustolla. Viitattu 14.2.2019.

[https://energia.fi/energiateollisuuden\\_edunvalvonta/energiapolitiikka](https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka)

Energiavuosi 2018 – Sähkö. 2019. Energiateollisuus ry:n katsaus vuoden 2018 sähkönkulutukseen ja -tuotantoon. Viitattu 13.2.2019.

[https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi\\_2018\\_-\\_sahko.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2018_-_sahko.html)

Energy policies of IEA countries – Denmark 2017 Review. 2017. IEA:n maakohtainen raportti. Viitattu 14.2.2019.

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesDenmark2017Review.pdf>

EUPHEMIA Public Description. 2018. EUPHEMIA-algoritmin kuvaus. Viitattu 7.3.2019.

<https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/pcr/euphemia-public-description.pdf>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU. Directive of 24.11.2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Viitattu 9.3.2019.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=EN>

Flexible demand for electricity and power. 2017. Pohjoismaiden ministerineuvoston raportti. Viitattu 10.3.2019.

<http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1167837/FULLTEXT01.pdf>

Framtiden för R1 och R2. 2019. Artikkelin Vattenfallin sivustolla. Viitattu 5.3.2019.

<https://corporate.vattenfall.se/om-oss/var-verksamhet/var-elproduktion/ringhals/produktion-och-driftlage/framtiden-for-r1-och-r2/>

Hajautettua sähkön pientuotantoa. N.d. Artikkelin Energiateollisuus ry:n sivustolla.

Viitattu 10.3.2019. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-ala/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon\\_pientuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-ala/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto)

Halminen, L. 2018. Lähes tuntematon yritys ilmoitti rakentavansa Suomeen neljä jättiläimäistä datakeskusta – HS selvitti, mitä mystisestä hankkeesta tiedetään.

Helsingin Sanomat 7.12.2018. Viitattu 27.2.2019. <https://www.hs.fi/teknologia/art-2000005924652.html>

Heikkilä, M. 2018. Sähköautot, uhka vai mahdollisuus? Artikkelin Fingridin sivustolla.

Viitattu 10.3.2019. <https://www.fingridlehti.fi/sahkoautot-uhka-vai-mahdollisuus/>

Historical Market Data. N.d. Ladattavat historiatiedot Nord Poolin sivustolla. Viitattu 25.2.2019.

<https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/> Elspot prices

Härkönen, J. 2015. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus. Opinnäytetyö, AMK. Karelia-ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 9.3.2019.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95239/Harkonen\\_Jarno.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95239/Harkonen_Jarno.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Integrated annual report 2017. 2018. TenneT:n raportti. Viitattu 8.3.2019.

[https://www.tennet.eu/fileadmin/user\\_upload/Company/Investor\\_Relations/AR\\_2017/TenneT\\_holding\\_BV\\_Integrated\\_Report\\_2017.pdf](https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Investor_Relations/AR_2017/TenneT_holding_BV_Integrated_Report_2017.pdf)



Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2017-2027. N.d. Fingridin raportti. Viitattu 5.3.2019.

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon-kehittamissuunnitelma-2017-2027.pdf>

Kaukolämmön tuotanto. N.d. Artikkelit Energiateollisuus ry:n sivustolla. Viitattu 14.2.2019.

[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon\\_tuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto)

Kriegers Flak – Combined grid solution. N.d. Artikkelit Energinetin sivustolla. Viitattu 8.3.2019.

<https://en.energinet.dk/Infrastructure-Projects/Projektliste/KriegersFlakCGS>

Kännö, J. 2013. A short-term price forecast model for the Nordic electricity markets. Diplomityö. Aalto University, School of Science, Department of Mathematics and System Analysis. Viitattu 26.2.2019.

[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/10263/master\\_k%C3%A4nn%C3%B6\\_juha\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/10263/master_k%C3%A4nn%C3%B6_juha_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kärnkraftens roll i kraftsystemet. 2019. Svenska Kraftnätin raportti. Viitattu 5.3.2019.

<https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2019/karnkraftens-roll-i-kraftsystemet.pdf>

L 1396/2010. Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta.

Viitattu 13.2.2019. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101396>

Laasonen, M. 2018. Olkiluoto 3 verkkoon. Fingridin Reservipäivän 2018 esitysmateriaalia. Viitattu 27.2.2019.

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/ajankohtaista-tapahtumat/reservipaiva-2018-ol3-verkkoon.pdf>

Laine, J. 2011. Tasehallinnan kehittäminen Suomen sähkömarkkinoilla. Diplomityö. Lappeenranta University of Technology, teknillinen tiedekunta, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 9.3.2019.

<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/69362/nbnfi-fe201104121437.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Laitinen, L. 2013. Tunninsisäinen tehotasapaino Suomessa 2020 ja 2030. Diplomityö.

Lappeenranta University of Technology, teknillinen tiedekunta, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 6.3.2019.

<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/90596/Tunninsis%C3%A4inen%20tehotasapaino%20Suomessa%202020%20ja%202030.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Lampela, R. 2018. Suuret datakeskukset luovat tuotteliaisuutta Suomeen – miljardeja euroja, tuhansia työpaikkoja. Tekniikka & Talous 14.12.2018. Viitattu 19.2.2019.

<https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/ict/suuret-datakeskukset-luovat-tuotteliaisuutta-suomeen-miljardeja-euroja-tuhansia-tyopaikkoja-6752661>

Market data. N.d. Kartta tarjousalueista Nord Poolin sivustolla. Viitattu 14.2.2019

<https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/#/nordic/map>

Munkejord, M. 2018. ANALYSIS: Nordic wind power growth takes off. Artikkelit Montelin sivustolla. Viitattu 5.3.2019.

<https://www.montelnews.com/en/story/analysis-nordic-wind-power-growth-takes-off/947779>

Natura-alueet. 2019. Artikkelin Suomen Ympäristöministeriön sivustolla. Viitattu 9.3.2019. [http://www.ym.fi/fi-FI/Luonto/Luonnon\\_monimuotoisuus/Luonnonsuojelualueet/Naturaalueet](http://www.ym.fi/fi-FI/Luonto/Luonnon_monimuotoisuus/Luonnonsuojelualueet/Naturaalueet)

Niemi, J.-P. 2013. Tuulivoima; Kehitys, investoinnit ja työllisyys Suomessa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 14.3.2019. <http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/90731/TuulivoimaLUTPUB.pdf?sequence=2>

Nordic Energy Technology Perspectives 2016. 2016. Nordic Energy Researchin raportti. Viitattu 14.3.2019. <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2016/04/Nordic-Energy-Technology-Perspectives-2016.pdf>

NordLink. N.d. Artikkelin TenneT:n sivustolla. Viitattu 8.3.2019. <https://www.tennet.eu/our-grid/international-connections/nordlink/>

North Sea Link. N.d. Artikkelin Statnetin sivustolla. Viitattu 8.3.2019. <https://www.statnett.no/en/our-projects/interconnectors/north-sea-link/>

Norway. 2017. Artikkelin International hydropower associationin sivustolla. Viitattu 13.2.2019. <https://www.hydropower.org/country-profiles/norway>

Norway and the European power market. 2016. Artikkelin Norges vassdrags- og energidirektoratin sivustolla. Viitattu 9.3.2019. <https://www.nve.no/energy-market-and-regulation/wholesale-market/norway-and-the-european-power-market/>

OKGs tre reaktorer. 2017. Artikkelin OKG:n sivustolla. Viitattu 5.3.2019. <https://www.okg.se/sv/Om-OKG/Anlaggningar/>

Olkiluoto 3. N.d. Artikkelin Teollisuuden Voiman sivustolla. Viitattu 27.2.2019. <https://www.tvo.fi/OI3>

Olkiluoto 3:n järjestelmäsuojaan kuormat valittu. 2017. Fingridin tiedote. Viitattu 27.2.2019. <https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2017/olkiluoto-3n-jarjestelmasuojaan-kuormat-valittu/>

Olkiluoto 3 kantaverkkoon erityisjärjestelyin. 2017. FINGRID-lehti 8.9.2017. Viitattu 27.2.2019. <https://www.fingridlehti.fi/olkiluoto-3-kantaverkkoon-erityisjarjestelyin/>

Olkiluoto 3 verkkoon. 2018. Käyttöönotto kantaverkon näkökulmasta. Viitattu 27.2.2019. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/toimikunnat/ol3-verkkoon---kayttoonotto-kantaverkon-nakokulmasta---verkkotoimikunta-....pdf>

Pohjoismainen energiapoliittinen yhteistyöohjelma 2018-2021. 2017. Pohjoismaiden ministerineuvoston raportti. Viitattu 24.2.2019. <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1164591/FULLTEXT01.pdf>

Pohjoismainen sähköjärjestelmä ja liittynät muihin järjestelmiin. N.d. Artikkelin Fingridin sivustolla. Viitattu 13.2.2019. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/pohjoismainen-sahkojarjestelma-ja-liittynat-muihin-jarjestelmiin/>

Power-Deriva ostaa Pohjolan Voiman energianhallintapalvelut. 2018. Uutinen Pohjolan Voiman sivustolla 11.6.2018. Viitattu 24.3.2019.

<https://www.pohjolanvoima.fi/uutishuone/uutiset/1777/power-deriva-ostaa-pohjolan-voiman-energianhallintapalvelut>

Price calculation. N.d. Artikkelin Nord Poolin sivustolla. Viitattu 7.3.2019.

<https://www.nordpoolgroup.com/trading/Day-ahead-trading/Price-calculation/>

Price formation. N.d. Artikkelin Nord Poolin sivustolla. Viitattu 7.3.2019.

<https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/Price-formation/>

Ratilainen, M. 2006 Sähkömarkkinoiden avautuminen Euroopassa ja sen vaikutukset Suomen sähkömarkkinoihin. Kandidaatintutkielma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, kauppatieteiden osasto. Viitattu 9.3.2019.

<http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/30947/TMP.objres.242.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Renewable Power Generation Costs in 2017. 2018. International Renewable Energy Agency IRENA:n raportti. Viitattu 14.2.2019 [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA\\_2017\\_Power\\_Costs\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf)

Ruska, M., Kiviluoma, J. & Koreneff, G. 2010. Sähköautojen laajan käyttöönoton skenaarioita ja vaikutuksia sähköjärjestelmään. VTT:n raportti. Viitattu 10.3.2019.

<https://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W155.pdf>

Single hourly order. N.d. Artikkelin Nord Poolin sivustolla. Viitattu 9.3.2019.

<https://www.nordpoolgroup.com/trading/Day-ahead-trading/Order-types/Hourly-bid/>

Statistical Factsheet 2017. 2018. Entso-e:n raportti. Viitattu 14.2.2019

[https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe\\_sfs\\_2017.pdf](https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sfs_2017.pdf)

Strategi för åtgärder i vattenkraften. 2014. Havs- och vattenmyndighetenin raportti. Viitattu 7.3.2019.

<https://www.havochvatten.se/download/18.7291b665146f54c15475548/1404461536553/rapport-hav-2014-14-strategi-for-atgarder-i-vattenkraften.pdf>

Suomen sähkötehon riittävyys ja kapasiteettirakenteen kehitys vuoteen 2030. 2015. Pöyryn raportti. Viitattu 10.3.2019.

[https://tem.fi/documents/1410877/2717655/Suomen\\_sahkotehon\\_riittavyys\\_ja\\_kapasiteettirakenteen\\_kehitys\\_vuoteen\\_2030\\_2015.pdf/56b3f402-31fa-48a7-a6ef-d750e4665f78/Suomen\\_sahkotehon\\_riittavyys\\_ja\\_kapasiteettirakenteen\\_kehitys\\_vuoteen\\_2030\\_2015.pdf](https://tem.fi/documents/1410877/2717655/Suomen_sahkotehon_riittavyys_ja_kapasiteettirakenteen_kehitys_vuoteen_2030_2015.pdf/56b3f402-31fa-48a7-a6ef-d750e4665f78/Suomen_sahkotehon_riittavyys_ja_kapasiteettirakenteen_kehitys_vuoteen_2030_2015.pdf)

Sähköjärjestelmän matalan inertian hallinta. 2018. Fingrid. Käyttötoimikunnan esitys 12.6.2018. Viitattu 5.3.2019.

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/toimikunnat/180612-sahkojarjestelman-matalan-inertian-hallinta.pdf>

- Särkijärvi, T. 2009. Sähkön hinta pohjismaisilla sähkömarkkinoilla. Pro gradu - tutkielma. Tampereen yliopisto, kansantaloustiede. Viitattu 9.3.2019. <https://tampub.uta.fi/bitstream/handle/10024/80548/gradu03521.pdf?sequence=1>
- Säädettävä ydinvoima vakauttaa sähköhuoltoa. 2014. Uutinen LUT-yliopiston sivustolla. Viitattu 10.3.2019. [https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/saadettava-ydinvoima-vakauttaa-sahkokuoltoa](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/saadettava-ydinvoima-vakauttaa-sahkokuoltoa)
- Takala, A. 2019. Fortum havittelee datakeskusta Oittaaalle – Suunnittelualueella on satoja metrejä hiihtolatuja. Helsingin Sanomat 2.2.2019. Viitattu 27.2.2019. <https://www.hs.fi/kaupunki/espoo/art-2000006013682.html>
- Teknisk information om Ringhals. 2013. Vattenfallin esittelylehtinen. Viitattu 5.3.2019. [https://corporate.vattenfall.se/globalassets/sverige/om-vattenfall/om-oss/var-verksamhet/ringhals/teknisk2013\\_liten.pdf](https://corporate.vattenfall.se/globalassets/sverige/om-vattenfall/om-oss/var-verksamhet/ringhals/teknisk2013_liten.pdf)
- Tuulivoiman tuotanto. N.d. Toteutuneen tuulivoimatuotannon hakukone Fingridin sivustolla. Viitattu 10.3.2019. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/tuulivoiman-tuotanto/> Hakuajakso 14.2.2019-1.3.2019.
- TVO-konserni. N.d. Konserniesittely TVO:n sivustolla. Viitattu 15.3.2019. <https://www.tvo.fi/tvokonserni>
- Venäjän siirtoyhteydet. N.d. Artikkelin Fingridin sivustolla. Viitattu 15.3.2019. <https://www.fingrid.fi/palvelut/sahkonsiirto/venajan-siirtoyhteydet/>
- Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköä. N.d. Artikkelin Energiateollisuus ry:n sivustolla. Viitattu 6.3.2019. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima)
- Vesivoiman merkitys Suomen energijärjestelmälle. 2019. ÅF-Consultin raportti. Viitattu 14.2.2019. [https://energia.fi/files/3427/Vesivoimaselvitys\\_FINALrev1\\_20190206.pdf](https://energia.fi/files/3427/Vesivoimaselvitys_FINALrev1_20190206.pdf)
- Viking Link Interconnection. N.d. NationalGridin ja Energinetin esittelylehtinen. Viitattu 8.3.2019. <http://viking-link.com/media/1076/web-uk-a4-vikinglink.pdf>
- Voimalaitosrekisteri. 2019. Energiaviraston ylläpitämä rekisteri. Viitattu 6.2.2019. <https://www.energiavirasto.fi/voimalaitosrekisteri>
- Vornanen, H. 2017. Suomen ilmasto- ja energiaskenaarion vertaaminen kansainvälisiin ilmasto- ja energiaraportteihin. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 14.3.2019. [http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/144063/Vornanen\\_Kandity%F6\\_31.5.2017.pdf;jsessionid=A56089A20D60E71C3EB420A5B575394B?sequence=1](http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/144063/Vornanen_Kandity%F6_31.5.2017.pdf;jsessionid=A56089A20D60E71C3EB420A5B575394B?sequence=1)
- Väänänen, E. 2017. Aggregating loads for demand response in industrial environment. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 24.3.2019. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/25157/V%C3%A4%C3%A4n%C3%A4nen.pdf?sequence=3>
- Yhteistuotanto. N.d. Artikkelin Energiateollisuus ry:n sivustolla. Viitattu 14.2.2019. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/yhteistuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/yhteistuotanto)