



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Kalle Rintamäki

# **Suomen sähköntuotannon ja -siirron huoltovarmuuden uhkakuvat**

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö  
Sähkötekniikan diplomityö  
Energia- ja informaatiotekniikka

Vaasa 2025

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Kalle Rintamäki		
<b>Tutkielman nimi:</b>	Suomen sähköntuotannon ja -siirron huoltovarmuuden uhkakuvat		
<b>Tutkinto:</b>	Diplomi-insinööri		
<b>Oppiaine:</b>	Sähkötekniikka		
<b>Työn valvoja:</b>	Kimmo Kauhaniemi		
<b>Työn tarkastaja:</b>	Hannu Laaksonen		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2025	<b>Sivumäärä:</b>	76

---

**TIIVISTELMÄ:**

Maailman levoton tilanne, ilmastonmuutos ja energian murros ovat ajaneet sähköjärjestelmän ja koko energiasektorin haasteiden eteen. Nämä haasteet ovat laajamittaisia ja niillä on suurta vaikutusta energiasektorin tulevaisuuteen ja sen rakentamiseen. Näistä lähtökohdista muodostui tämän tutkimuksen ajankohtainen aihe. Tutkimuksessa perehdytään Suomen sähköntuotannon huoltovarmuuteen ja sähkönsiirron toimitusvarmuuteen. Näitä asioita on käsitelty avaamalla huoltovarmuuden käsitettä sekä tarkastelemalla keskeisiä Suomen sähköntuotannon muotoja. Toimitusvarmuutta on lähestytty Suomen sähköverkon rakenteen kautta. Lisäksi tarkastellaan sähköverkon resilienssin käsitettä. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää Suomen sähköntuotannon huoltovarmuutta ja sähkönsiirron toimitusvarmuutta poikkeusoloissa ja uhkatilanteissa. Erilaisia uhkia tarkastellaan ilmaston, hybrdivaikuttamisen ja epidemian aiheuttamien vaikutuksien näkökulmasta.

Tutkimus on aineistolähtöinen kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus, jossa systemaattisen analyysin avulla perehdytään aineistoon ja haetaan perusteltuja vastauksia tutkimuskysymyksiin. Tutkimuksen aineisto on kerätty pääosin Huoltovarmuuskeskuksen aineiston pohjalta. Lisäksi yhtenä tutkielman keskeisenä teoksena on entisen huoltovarmuuskeskuksen toimitusjohtajan Ilkka Kanasen kirja ”Suomen Huoltovarmuus”. Tutkielman kannalta myös muu tieteellinen materiaali ja uutisointi on otettu tarkasteluun tässä tutkielmassa. Tutkimusaineiston analyysin kautta sään ääri-ilmiöt sekä hybrdivaikuttaminen nousivat tutkimuksessa merkittäviksi uhiksi. Tutkimuksessa havaittiin, että epidemian aiheuttamat haittavaikutukset energiasektoriin jäivät välilliseksi, joten niillä ei havaittu olevan suoranaisia vaikutuksia sähkön tuotantoon ja siirtoon.

Tutkimusaineiston analyysin pohjalta tekemäni johtopäätösten mukaan ilmasto ja hybrdivaikuttaminen ja niihin liittyvät uhkakuvat voivat vaarantaa sähkönsiirron ja -tuotannon. Erilaisten uhkien, kuten sään ääri-ilmiön ja hybrdivaikuttamisen, samanaikaisuus voivat nostaa merkittävästi riskiä energiajärjestelmän toimivuudelle. Monipuolinen ja hajautettu energiantuotanto, älykäs, resilientti ja kattava sähköverkko sekä useampi siirtoyhteys ulkomaille ovat tärkeitä varautumiskeinoja Suomen sähköntuotannolle ja -siirrolle. Omavaraisuus nousee erityisesti kriisitilanteissa ja epävakaa maailman tilanteessa hyvin tärkeäksi. Aineiston analyysi osoitti, että Suomen sähköntuotannon ja -verkon huoltovarmuus on monivaiheinen ja laaja-alainen kokonaisuus, joka vaatii jatkuvaa kehittämistä ja varautumista erilaisiin uhkiin ja poikkeustilanteisiin.

---

**AVAINSANAT:** huoltovarmuus, toimitusvarmuus, poikkeusolot, hybrdivaikuttaminen, monipuolinen sähköntuotanto, resilienssi

---

**UNIVERSITY OF VAASA****School of technology and innovations**

<b>Author:</b>	Kalle Rintamäki
<b>Title of the Thesis:</b>	Threats to the security of supply of Finnish electricity production and transmission
<b>Degree:</b>	Master of Science in Technology
<b>Discipline:</b>	Electrical Engineering
<b>Instructor:</b>	Kimmo Kauhaniemi
<b>Evaluator:</b>	Hannu Laaksonen
<b>Year:</b>	2025 <b>Number of pages:</b> 76

---

**ABSTRACT:**

The turbulent situation in the world, climate change and the energy transition have led to challenges for the electricity system and the entire energy sector. These challenges are large-scale and have a major impact on the future of the energy sector and its construction. These starting points formed the topical topic of this study. The study examines the security of supply of electricity production in Finland and the security of supply of electricity transmission. These issues have been addressed by opening up the concept of security of supply and examining key forms of electricity production in Finland. Security of supply has been approached through the structure of the Finnish electricity grid. In addition, the concept of resilience of the electricity grid is examined. The aim of the study is to investigate the security of supply of electricity production in Finland and the security of supply of electricity transmission in exceptional circumstances and threat situations. Various threats are examined from the perspective of the effects of climate, hybrid influence and the epidemic.

The study is a qualitative study based on data, in which systematic analysis is used to study the data and seek justified answers to the research questions. The data for the study has been collected mainly on the basis of the data from the Finnish National Security Agency. In addition, one of the key works of the study is the book "Suomen Huoltovarmuus" by the former CEO of the Finnish National Security Agency, Ilkka Kananen. From the perspective of the study, other scientific material and news coverage have also been examined in this study. Through the analysis of the research data, extreme weather phenomena and hybrid influence emerged as significant threats in the study. The study found that the adverse effects caused by the epidemic on the energy sector remained indirect, so they were not found to have direct effects on the production and transmission of electricity.

Based on the analysis of the research data, I have drawn conclusions that climate and hybrid impacts, and the associated threat scenarios can endanger electricity transmission and production. The simultaneous occurrence of various threats, such as extreme weather phenomena and hybrid impacts, can significantly increase the risk to the functionality of the energy system. Diverse and decentralized energy production, a smart, resilient and comprehensive electricity grid, and multiple transmission connections abroad are important means of preparedness for Finnish electricity production and transmission. Self-sufficiency becomes very important, especially in crisis situations and in an unstable global situation. The analysis of the data showed that the security of supply of Finland's electricity production and grid is a multi-phased and wide-ranging entity that requires continuous development and preparedness for various threats and exceptional situations.

---

**KEYWORDS:** security of supply, security of delivery, exceptional circumstances, hybrid influence, diverse electricity production, resilience

## Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Aiheen valinta ja rajaus	9
1.2	Työn tavoite	11
1.3	Työn rakenne	13
2	Suomen sähköntuotannon huoltovarmuus	14
2.1	Suomen huoltovarmuus	14
2.1.1	Huoltovarmuus käsitteenä	15
2.1.2	Huoltovarmuuden historia ja kehitys Suomessa	15
2.1.3	Huoltovarmuuskeskus ja sen toimintamalli	17
2.1.4	Huoltovarmuuskeskuksen energiasektori ja sen alaiset poolit	19
2.2	Suomen sähköntuotanto	21
2.2.1	Vesivoima	22
2.2.2	Ydinvoima	23
2.2.3	Tuulivoima	24
2.2.4	Bioenergia	27
2.2.5	Hiilivoimalat	28
2.2.6	Turve	28
3	Suomen sähköverkon toimitusvarmuus	30
3.1	Toimitusvarmuus	30
3.1.1	Tehoreservi	31
3.1.2	Energiavirasto	32
3.2	Suomen sähköverkko	33
3.2.1	Kantaverkko	33
3.2.2	Suurjännitteinen jakeluverkko	35
3.2.3	Jakeluverkko	36
3.3	Suomen sähkönsiirron tulevaisuus	37
3.3.1	Resilientit sähköverkot	39
4	Erilaiset kriisit ja uhkakuvat	42

4.1	Hybridivaikuttamisen aiheuttama uhka	43
4.2	Ilmaston aiheuttama uhka	44
4.3	Epidemian aiheuttama uhka	47
5	Energiasektorin huoltovarmuuden systemaattinen analyysi	49
5.1	Sähköntuotannon huoltovarmuus erilaisissa uhissa	49
5.1.1	Sähköntuotannon huoltovarmuuden oletukset	52
5.1.2	Sähköntuotannon huoltovarmuuden analysointi	52
5.1.3	Sähköntuotannon huoltovarmuuden tulevaisuus ja kehittäminen	56
5.2	Sähkönsiirron toimitusvarmuus erilaisissa uhissa	58
5.2.1	Sähkönsiirron toimitusvarmuuden oletukset	58
5.2.2	Sähkönsiirron toimitusvarmuuden analysointi	59
5.2.3	Sähkönsiirron toimitusvarmuuden käytännön toimenpiteet	62
5.2.4	Sähkönsiirron toimitusvarmuuden tulevaisuus ja kehittäminen	63
6	Johtopäätökset ja pohdinta	66
	Lähteet	69

## Lyhenteet

CHP	Combined Heat and Power
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators – Electricity
EU	Euroopan unioni
HVK	Huoltovarmuuskeskus
Hz	Hertsi, taajuuden mittayksikkö
kj	keskijänniteverkko
kWh	kilowattitunti
MW	Megawatti
pj	pienjänniteverkko
PTS	Puolustustaloudellinen suunnittelukunta
SMR	small modular reactor
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TYNDP	Ten Year Network Development Plan
TWh	Terawattitunti

## 1 Johdanto

Jos sähkön hinta on puhuttanut viime vuosina suomalaisia, niin puheet ovat kääntyneet hinnasta enemmän sen saatavuuteen. Tuntuu siltä, että joka laivan ankkuri raahaa merenpohjaa vetäen sieltä kaiken infran mukanaan. Tahallista tai ei, mutta vauriot ovat samat, niihin on varauduttava ja selvittävä niiden aiheuttamien ongelmien kanssa. Omavaraisuus nouseekin arvoon arvaamattomaan, kun energian tuonti ulkomailta on enää hiuskarvan varassa. Ihminen on nykyään niin tottunut ja tuudittautunut sähköön ja sen saatavuuteen, että huoli herää vasta, kun sen toimitukseen tulee särö. Ilman varautumista säröstä tulee nopeasti lovi, ja paniikin kasvaessa puurot ja vellit on useammalta sekaisin. Näihin energian tuottamisen ja toimituksen säröihin tulee varautua ennakkoon ja valmistella tilanne niin, että se pysyy kontrollissa. Avaintekijä tähän on huoltovarmuus.

Huoltovarmuus on noussut viime vuosina suureksi puheenaiheeksi. Viimeaikaiset hybrdivaikuttamisen keinot ovat tuoneet todellisen huolen monelle kansalaiselle perustarpeiden säilymisestä ja niiden olemassaolosta. Sähkö lukeutuu näihin perustarpeisiin. Meidän koko yhteiskunta on todella riippuvainen sähköstä ja sen puute aiheuttaisi vakavia ongelmia muun muassa päivittäistavaroiden jakelussa, maksuliikenteessä ja monessa muussa yhteiskunnan pyörittämisen kannalta oleellisissa toiminnoissa. Sähkön valmistus ja siirto ovat pitkiä ketjuja, joissa monen eri toimijan ja toiminnon on toimittava. Tämän koko ketjun toimivuus on turvattava erilaisilta uhilta. Uhat voivat olla esimerkiksi ilmaston tai hybrdivaikuttamisen aiheuttamia. Lisäksi erilaiset epidemiat voivat olla uhka. Tästä saimme esimakua muutama vuosi sitten Covid-19 epidemian muodossa.

Suomessa on monipuolinen sähköntuotanto. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki kortit eivät ole samassa taskussa, vaan luonnonvaroja osataan käyttää monipuolisesti kuormittamatta liikaa tiettyä sektoria. Huoltovarmuuden kannalta monipuolinen sähköntuotanto antaa vakautta. Yhden energialähteen ongelmat voidaan korvata muilla tuotantomuodoilla tehokkaasti. Sähköverkon osalta tilanne ei ole enää aivan niin yksinkertainen. Sähköverkolla on Suomessa luontainen monopoliasema, joten päällekkäisiä verkkoja ei ole

rakennettu, koska se olisi investointina liian kallista. Sähköverkkojen saarekekäyttö kuitenkin mahdollistaa sähkönjakelun vikatilanteiden tai sähkönjakeluverkon huoltokatkosten aikana saarekkeessa oleville loppukäyttäjille. Suomessa sähköverkko koostuu Fingridin kantaverkosta, suurjännitteisestä jakeluverkosta eli alueverkkoyhtiöiden alueverkosta ja sähköyhtiöiden jakeluverkosta. Sähköverkon tasojen jaottelu perustuu jännitetasoihin ja perustoiminnan luonteeseen. Korkean jännitetason kantaverkossa sähköä siirretään tuottajilta jakeluverkkoihin ja jakeluverkossa sähkö jaetaan edelleen loppukuluttajille pienemmillä jännitetasoilla.

Hyvä huoltovarmuus tarkoittaa, että on kykyä ja resursseja nopeasti tarttua ongelma-kohtiin ja ennaltaehkäistä niitä. Huoltovarmuuden peruspilareita energiasektorilla ovat energian tuotannossa hyvät raaka-ainevarat, varavoimalat ja kunnossapito. Sähkön jakelussa rengasyhteydet ja ammattitaidolla päivystävät sähköurakoitsijat saavat viat nopeasti korjattua. Viime vuosien sähköverkon maakaapelointi on vähentänyt luonnollisesti alueella olevia ilmaston aiheuttamia myrskytuhoja. Koko sähköverkon maakaapelointi on hidas ja kallis operaatio, että sitä on mahdotonta toteuttaa hetkessä, eli sähköverkko on yhä altis luonnon aiheuttamille tuhoille. Ihminen on voimaton luonnon armoille, mutta niihin varautumisella ja valmistautumisella on suuri vaikutus niistä selviämiseen.

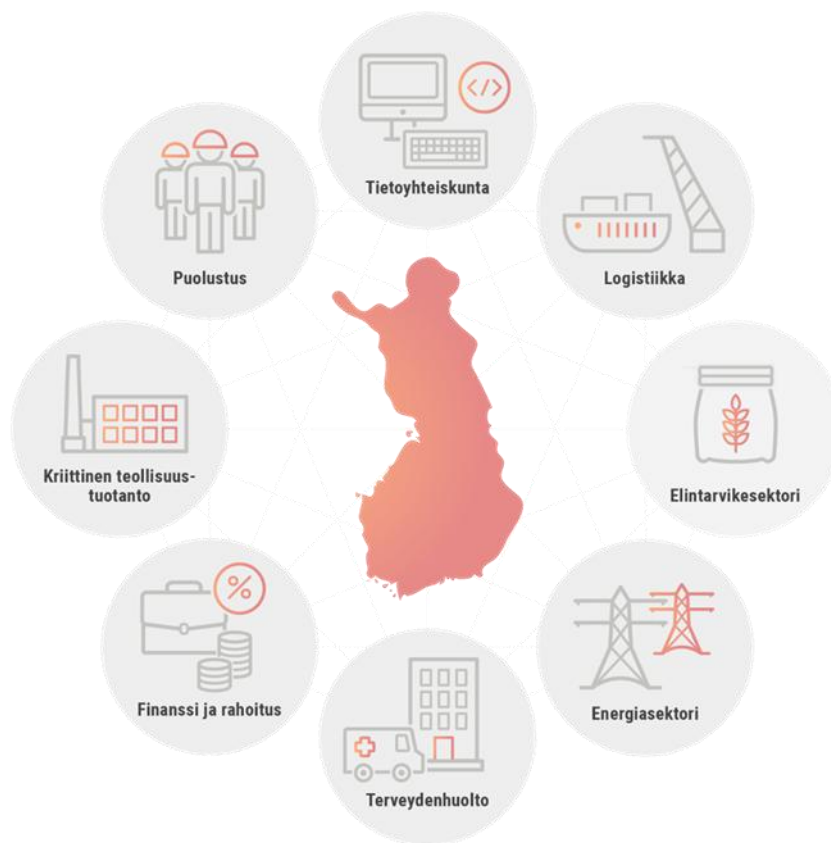
Maailman levoton tilanne on aiheuttanut epävarmuutta. Venäjä, Kiina ja Yhdysvallat kilpavarustelevat ja luovat uhkakuvia satelliittimaidensa ja varjolaivastojensa avustuksella. Nykyisten suurvaltojen johtajat ovat yllätyksellisiä ja muut joutuvat olemaan koko ajan varpaillaan. Enää ei tiedä kehen voi luottaa ja mitkä sopimukset pitävät, kun niiden lunnastamisen aika on. Suomen lähihistoriassa oli suuntaus yksityistää valtio-omisteisia yhtiöitä ulkomaisille sijoitusyhtiöille. Näillä yhtiöillä on vahva merkitys huoltovarmuuden kannalta useille suomalaisille (Kananen 2015, 226). Lisäksi erilaiset poliittiset päätökset ja suuntaukset ovat aiheuttaneet merkittäviä muutoksia suomalaisessa energiatuotannossa. Suomen omavaraisin energialähde, energiaturpeen käyttö, pitäisi puolittua vuoteen 2030 mennessä Marinin hallituksen toimesta. Vuonna 2000 eduskunnan valiokunta

käsitteli uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön käytön edistämistä koskevaa direktiiviehdotusta, ja tasan menneen äänestyksen tuloksena arpa määritteli turpeen uusiutumattomaksi energialähteeksi (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021). Ruotsin metsien on taas todettu sitovan hiiltä päinvastoin kuin Suomen metsien, jotka ovat todettu päästölähteeksi (Metsälehti, 2025). Toivottavaa on, että liika ideologia ei vaaranna omavaraisen energialähteiden käyttöä ja supista Suomen monipuolista energiapalettia niin, että Suomen sähkön toimitus- ja huoltovarmuus voidaan turvata.

## **1.1 Aiheen valinta ja rajaus**

Tutkimustyön aiheen valinnan taustalla on sen ajankohtaisuus ja merkityksellisyys suomalaisille, mutta myös kirjoittajan oma mielenkiinto aihetta kohtaan. Huoltovarmuudella on suuri vaikutus, ja se on merkittävä asia yhteiskunnallisesti. Se turvaa ja pitää huolta koko kansan toimintakyvystä ja elämisen perusedellytyksistä poikkeusoloissa. Maailman kasvava epävarmuus ja konfliktiherkkyys, Suomen geopoliittinen asema ja poliittiset päätökset antavat kirjoittajalle valtavasti materiaalia ja uutisia kyseiseen aiheeseen.

Yhteiskunnan tärkeiden toimintojen ja toimialojen toimivuus poikkeusoloissa on todella laaja kokonaisuus monine sivujuonteineen, jotka yhdessä muodostavat huoltovarmuuskokonaisuuden. Se voidaan jaotella kahdeksaan sektoriin: puolustus, tietoyhteiskunta, logistiikka, elintarvikesektori, terveydenhuolto, finanssi ja rahoitus, kriittinen teollisuustuotanto sekä energiasektori. Tämä on havainnollistettu myös kuvassa 1. Näistä tutkimuksen tarkastelun kohteeksi on nostettu energiasektori, johon kuuluu energiantuotanto ja sähkönsiirto. Näitä pyritään tarkastelemaan tutkimuksen kannalta oleellisilta osin ja merkittävimmistä näkökulmista.



**Kuva 1.** Kuvituskuva Suomen huoltovarmuuden sektoreista (Suomen huoltovarmuusdata Oy, n.d.).

Kriittisen infran toimijoilla, kuten Suomen puolustusvoimilla, on luonnollisesti salassa pidettävää materiaalia, joka on lähtökohtaisesti rajattu tutkielmasta pois. Energiahuolto-sektorin toimintoja tarkastellaan pääosin Huoltovarmuuskeskuksen aineiston pohjalta. Lisäksi yhtenä tutkielman keskeisenä teoksena on entisen huoltovarmuuskeskuksen toimitusjohtajan Ilkka Kanasen kirja ”Suomen Huoltovarmuus”. Tutkielman kannalta myös muu tieteellinen materiaali ja uutisointi on otettu tarkasteluun. Pääpaino on sähköntuotannon huoltovarmuudessa ja sähkönsiirron toimitusvarmuudessa. Huoltovarmuuteen liittyviin muihin asioihin voidaan työssä viitata kokonaisuuden hahmottamiseksi, mutta niitä ei käsitellä sen enempää, ettei työstä kasva liian laaja kokonaisuus.

## 1.2 Työn tavoite

Tämän tutkielman tavoitteena on antaa suomalaiselle lukijalle näkemystä ja perspektiiviä sähköntuotannosta huoltovarmuuden ja sähköverkosta toimitusvarmuuden näkökulmasta. Tässä työssä tarkastellaan ilmaston, hybrdivaikuttamisen ja epidemian aiheuttamaa uhkaa ja niiden vaikutuksia sähköntuotannon huoltovarmuuteen ja sähkön siirron toimitusvarmuuteen. Kuinka niihin tulee varautua ja eroavatko ne toisistaan? Mitä on tehtävissä kriisin tai poikkeusolon ollessa käynnissä? Mikä toimenpide vaikuttaa mihinkin? Onko jotain parannettavaa? Voiko tehdä jotain asioita toisin? Nämä kysymykset ovat laajoja ja niihin ei välttämättä ole yhtä oikeaa vastausta. Kokonaisuus kuitenkin ratkaisee toimivan energiasektorin huolto- ja toimitusvarmuuden.

Vallinneet lähtökohdat tulee myös ottaa tarkastelussa huomioon. Niitä ovat esimerkiksi valtion talous ja politiikka sekä sivistys, tekninen kehitys ja kaikki muu sellainen suuntaus ja toiminta, joka asettaa lähtökohdat ja tietyt raamit toimimiselle. Raha on yleensä suurin jarru kaikelle toimimiselle. Tämä rajoittaa paljon toteuttamismahdollisuuksia. Jos esimerkiksi raha ei ole esteenä, niin helpottaisihan se paljon, mutta se ei ole enää realistista ja realismia.

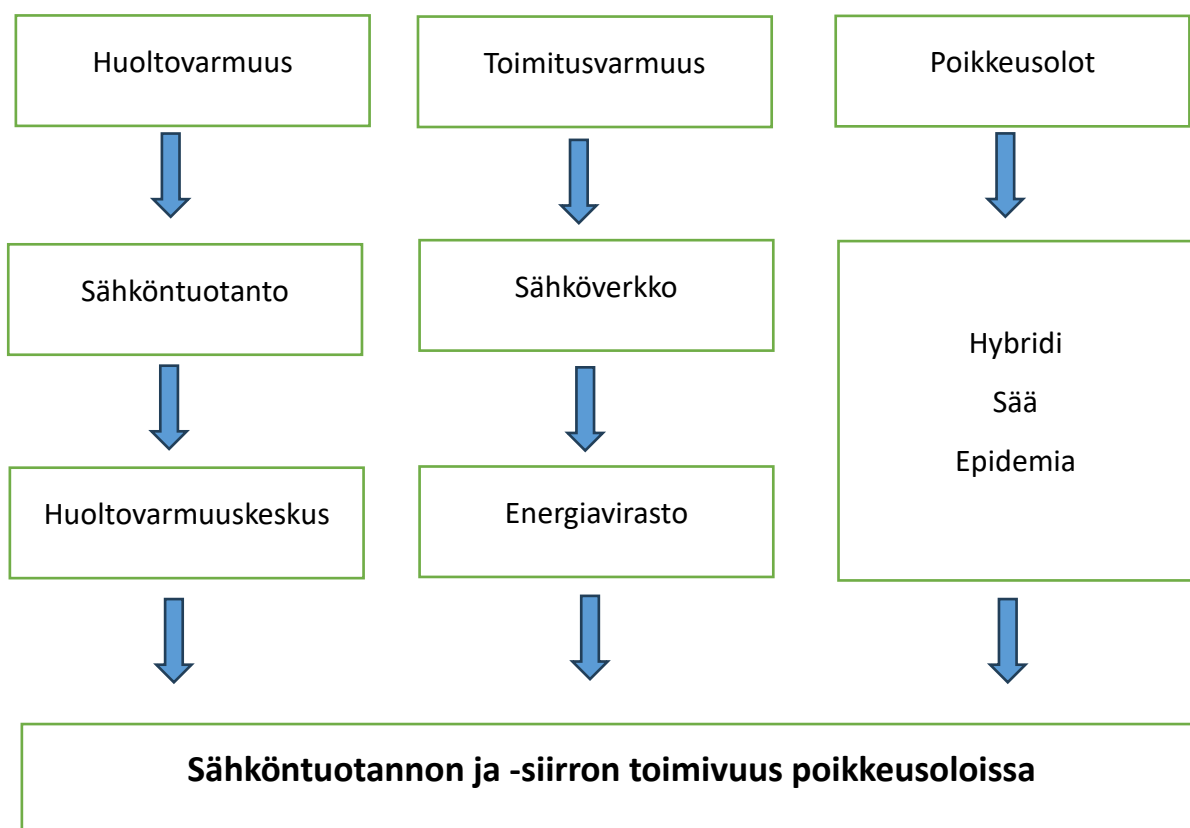
Tämän diplomityön tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Mitkä asiat vaikuttavat sähköntuotannon huoltovarmuuteen poikkeusoloissa?
2. Mitkä asiat vaikuttavat sähköverkon toimitusvarmuuteen poikkeusoloissa?

Näihin kysymyksiin on tarkoitus saada vastaus tutkielmaan kerätyn aineiston avulla. Tutkimuskysymykset ohjaavatkin aineiston keräämistä ja samalla rajaavat sitä (Kananen 2019, 24).

Teoreettinen viitekehys määrittää sen, millaista aineistoa kerätään ja millaista tutkimusmenetelmää tulee käyttää. Toisinaan taas aineiston luonne rajaa, millainen tutkimuksen teoreettinen viitekehys voi olla ja millainen metodi on siihen soveltuvin (Alasuutari 2011,

83). Tämän työn teoreettinen viitekehys perustuu huoltovarmuuteen ja toimitusvarmuuteen energiasektorilla. Näitä tarkastellaan poikkeustilanteiden näkökulmasta. Laadulliselle tutkimukselle on luonteenomaista kerätä aineistoa, joka mahdollistaa tutkittavan aiheen monipuolisen tarkastelun (Alasuutari 2011, 84). Kuvassa 2 on hahmoteltu tämän diplomityön viitekehys.



**Kuva 2.** Teoreettinen viitekehys.

### 1.3 Työn rakenne

Tutkimustyön rakenne noudattaa hyvin perinteistä tieteelliselle esitystavalle muotoutunutta kaavaa, jossa johdanto, teoria ja työn lähtökohdat esitellään ensimmäisinä. Tämän jälkeen tulee tutkimusmenetelmät, tutkitut tulokset ja niiden analysointi ja pohdinta. Lopuksi vielä tutkimuksen johtopäätökset ja tutkimuskysymyksiin vastaukset, jotka poimitaan tutkimuksen tuloksista tai niiden analysoinnista. Tällainen tutkimuksen kokonaisuus edustaa laadullista eli kvalitatiivista tutkimusta, jossa pyritään nimenomaan ymmärtämään tutkittavaa aihetta kokonaisvaltaisesti ja käsittelemään sen aiheuttamia ilmiöitä myös syvällisemmin. Menetelmä pyrkii yleensä vastaamaan kysymykseen, että mistä tässä on kysymys tai mikä tähän johtaa (Kananen 2019, 25). Oikean tutkimusmenetelmän valinta on tärkeä, koska se auttaa tieteellisen ja luotettavan tiedon hankintaan (Kananen 2019, 27). Tämän työn tutkimusaineistona käytetään pääosin Suomen huoltovarmuuskeskuksen aineistoa, jota analysoimalla tutkimuskysymyksiin pyritään löytämään vastauksia.

Tämän tutkimustyön luku 2 esittelee Suomen sähköntuotantoa, jossa käydään läpi eri energiatuotantomuotoja huoltovarmuuden näkökulmasta. Lisäksi tarkastelun kohteena on huoltovarmuuden kehitys ja huoltovarmuuskeskuksen toiminta. Luvussa 3 on kerrottu Suomen sähkönsiirtoverkosta ja sen toimijoista. Mistä ne koostuvat ja kuka niitä omistaa ja hallinnoi? Sähköverkkojen monopoliasema ja sen valvontaviranomainen Energiavirasto ovat myös tarkastelun kohteena. Luvussa käsitellään myös tulevaisuuden näkymiä verkkokapasiteetin riittävydestä maailman sähköistyessä. Luvussa 4 perehdytään energiasektorin uhakuviin ja erilaisiin kriiseihin. Tarkoitus olisi ottaa mahdollisimman laaja ja kattava näkökulma erilaisiin uhkiin ja niiden mahdollisuuksiin. Luvussa 5 tehdään pohdintaa ja analyysia uhkien vaikutuksesta energiasectoriin. Lisäksi selvitetään, kuinka huoltovarmuus ja sähköverkon toimitusvarmuus toimii kyseisissä poikkeusoloissa. Lopuksi luvussa 6 on johtopäätökset koko tutkimustyöstä ja saatujen tuloksien peilaamista tutkimustyön lähtöasetelmiin nähden.

## 2 Suomen sähköntuotannon huoltovarmuus

Tämä luku käsittelee Suomen sähköntuotantoa, huoltovarmuuskeskusta ja sen toimintaa. Suomessa tuotetaan sähköä monipuolisesti eri energialähteitä hyödyntäen. Tämä palvelee myös huoltovarmuus näkökulmasta ajateltuna Suomen sähköntuotantoa. Tässä luvussa käydään läpi Suomen yleisimmät ja huoltovarmuuden kannalta merkityksellisimmät energiantuotantomuodot, jotta saadaan hyvä kokonaiskuva Suomen sähköntuotannosta. Tutkielmassa ei käydä läpi energialähteiden toimintaperiaatteita vaan keskitytään sen ominaisuuksiin huoltovarmuuden kannalta, kuten tuotannon suuruuteen, omavaraisuuteen, kotimaisuuteen, puhtauteen ja säätövoimaan.

Lisäksi luvussa käsitellään Huoltovarmuuskeskuksen syntyä ja sen historian juuria sekä minkälaisista lähtökohdista on lähdetty nostamaan varautumisen valmiutta ja mitkä asiat tai tapahtumat sitä ovat kehittäneet. Työssä avataan huoltovarmuuskeskuksen organisaatiota ja sen toimintaperiaatteita erityisesti energiasektorin saralla. Luvussa läpi käytyä asioita ovat myös energiasektorin alaiset poolit ja niiden toiminta.

### 2.1 Suomen huoltovarmuus

Suomessa huoltovarmuutta varmistetaan yhteistyössä julkisen, yksityisen ja kolmannen sektorin kanssa. Suomen huoltovarmuus energian osalta tarkoittaa valmiutta ja kykyä varmistaa energiantuotanto ja sen jakelu kriisitilanteissa, kuten luonnonkatastrofien, geopoliittisten jännitteiden, hybridivaikuttamisen tai muiden häiriöiden vuoksi. Tämä on erityisen tärkeää, koska energia on elintärkeä osa yhteiskunnan toimivuutta. Sen puute lamaannuttaisi koko yhteiskunnan toimintakyvyn. Näiden tilanteiden varalta huoltovarmuus on kehitetty ja sitä tullaan edelleen kehittämään maailman muuttuvien uhkien mukaisesti.

### **2.1.1 Huoltovarmuus käsitteenä**

Maailman epävarmuus, kriisit ja konfliktiherkkyys saavat kansalaiset havahtumaan uhkien läsnäolosta. Tämä aiheuttaa turvattomuuden tunnetta ja huolta kansalaisten keskuudessa. Ne herättävät kysymyksen elintärkeiden toimintojen turvaamisesta poikkeusoloissa olevassa yhteiskunnassa. Näistä asioista puhuttaessa puhutaan huoltovarmuudesta. Huoltovarmuus tarkoittaa varautumista mahdollisiin kriiseihin ja häiriötilanteisiin. Turvaamalla elintärkeät yhteiskunnan toiminnot, jotta yhteiskunta ja elinkeinoelämä pyörii sekä ihmiset voivat turvallisesti elää arkeaan vakavassa häiriötilanteessa tai poikkeusoloissa mahdollisimman vähin erityisjärjestelyin ja haitoin (Huoltovarmuuskeskus, 2025a).

Tähän auttaa suunnittelu ja riskien kartoitus ja niiden vaikutuksien arviointi ja sen pohjalta kehitettävät ja parantavat toimenpiteet. Vanhastaan tuttu järjestely on ollut ruuan saannin turvaaminen, mutta nykyään kehittyneessä ja teknologisessa yhteiskunnassa se ei ole enää ainut turvattava ala. Nykyiset tietoyhteiskunnat ja niiden toiminnot ovat monimutkaisia järjestelmiä, joissa keskinäiset riippuvuudet ovat suuria. Tällaisten toimintojen turvaaminen vaatii monien osatekijöiden huomioon ottamista ja yhteensovittamista. Suomen huoltovarmuus on jakautunut eri toimialueiden sektoreihin. Kaikki toimialat ovat kriittisen infran tai alan toimijoita, joiden olemassaolo on saatava turvattua poikkeusoloissa (Huoltovarmuuskeskus, 2025a).

### **2.1.2 Huoltovarmuuden historia ja kehitys Suomessa**

Huoltovarmuuden historian juuret ovat pitkät ja ne yhdistetään aikojen alussa pitkälti maanviljelyyn. Erilaiset katovuodet ja niukat ajanjaksot aiheuttivat huolen ruuan riittävyydestä ja sitä alettiin varastoimaan hyvinä vuosina (Kananen 2015, 9). Ensimmäinen maailman sota, Suomen itsenäistyminen ja sisällissota olivat hyvin sekasortoista aikaa ja varsinaisesta huoltovarmuudesta ei voinut puhua. Sääntelyllä ja korvaavien tuotteiden valmistelemisellä oli suuri rooli selviytymisen kanssa. Ulkomaan tuonti oli pysähdyksissä

maailman sekasortoisen tilanteen takia. Nämä tapahtumat nostavat omavaraisuuden roolia ja sen tärkeyttä esiin (Kananen 2015, 11–17).

Näistä lähtökohdista Suomi on lähtenyt liikkeelle huoltovarmuuden kehittämisessä ja sen syntymisessä. Suomen historiassa on ollut lukuisia ajanjaksoja, joissa on eletty poikkeusoloissa. Talvi- ja jatkosodan syttyessä Suomen huoltovarmuus ei ollut vielä riittävän kehittynyttä ja varmuusvarastot olivat vajavaiset. Edelliset kriisit olivat kuitenkin opettaneet selviytymistä. Sodan ajat tunnetaankin hyvin säätelyn ajanjaksona. Tätä säätelyä osattiin käyttää hyvin ja tehokkaasti hyödyksi ja sitä osattiin priorisoida oikeita määriä haluttuihin sektoreihin (Kananen 2015, 26–31).

1920-luvulla Suomen huoltovarmuus sai ensimmäisiä piirteitä laajentaa elintarvikelähtöistä huoltovarmuuttaan lähemmäs sotilaallista, teollista, taloudellista ja hallinnollista kokonaisuutta. Taloudellinen puolustusneuvos jakaantui viiteen jaostoon: kansanravitsemus-, teollisuus-, raha-asiain-, liikenne- ja kulkulaitos- sekä lääkintäjaostoihin. Tässä oli ensimmäisiä piirteitä huoltovarmuuden organisoinnista ja sen toiminnan mallinnuksesta. Alkuvaiheessa kasvukipuja oli ja eri jaostojen toiminta ei toiminut toivotulla tavalla (Kananen 2015, 18–21).

Puolustustaloudellisen suunnittelukunnan (PTS) tehtäväksi tuli ”niin aineellisen ja talousalueellisen maanpuolustusvalmiuden luomisen ja kehittämisen sotilaallisen ja siviilipuolustuksen aineellisten tarpeiden tyydyttämiseksi kuin koko kansan toimintaa, toimeentuloa ja elatusta varten sodan tai muun yleisen häiriön aikana” valtioneuvoston määräyksestä (Kananen 2015, 38). PTS:n toiminta jakaantui kolmeen pälohkoon, josta edelleen useampaan jaostoon. Toiminnan pohjaksi laadittiin ensimmäinen kriisitypologia, jonka perusta ja keskeinen ajatus on säilynyt pitkälti samana nykypäiviin asti:

A1: Sotatila

A2: Sodanuhka

B1: Yleismaailmallinen häiriötila

B2: Yleisvaltakunnallinen häiriötila

C: Säännölliset olot (Kananen 2015, 39).

PTS aloitti toimintansa 1950-luvulla. Siitä toiminta on kehittynyt sahausmaisesti kohti organisoidumpaa suuntaa. Erilaiset poliittiset suuntaukset ja mielipiteet ovat välillä horjuttaneet ja vauhdittaneet toimintaa. Lopulta PTS:n jaosto- ja pooliorganisaatio oli melkoisen laaja ja se kattoi talouden keskeisimmät ja kriittisimmät toimialat (Kananen 2015, 49).

Huoltovarmuuskeskus (HVK) aloitti toimintansa vuoden 1993 alussa, kun hallitus antoi lakiesityksen eduskunnalle. Tasavallan presidentti vahvisti lain sekä muut tarpeelliset varmuusvarastointiin liittyvät lainmuutokset. Lähtökohtana oli, että ”keskus olisi valtion laitos, jolle kuuluisivat siviilisektorin huoltovarmuuteen liittyvät operatiiviset tehtävät valmiuslain mukaisesti” (Kananen 2015, 100–101).

### **2.1.3 Huoltovarmuuskeskus ja sen toimintamalli**

Suomen huoltovarmuudesta ja siihen varautumisesta vastaa huoltovarmuuskeskus, joka on työ- ja elinkeinoministeriön alainen laitos. Huoltovarmuuskeskuksen toimintaa ohjaa laki huoltovarmuuden turvaamisesta 18.12.1992/1390 (Finlex, n.d.a). Huoltovarmuuskeskuksen toiminnan perustana on valtion talousarvion ulkopuolinen huoltovarmuusrahasto. Huoltovarmuuden ja varautumisen aiheuttamia kustannuksia katetaan tästä rahastosta. Huoltovarmuusrahasto säilytetään valtion budjetin ulkopuolisena, nopeana ja joustavana huoltovarmuuden kannalta kriittisten hankkeiden rahoittajana. Rahaston tulee pystyä vastaamaan muuttuneen toimintaympäristön vaatimuksiin, koska huoltovarmuuden turvaaminen vaatii taloudellisia resursseja (Huoltovarmuuskeskus, 2025c).

Suomen huoltovarmuus on laaja kokonaisuus ja se vaatii paljon erilaista yhteistyötä. Tätä laajaa verkostoa ylläpitää ja kehittää huoltovarmuusorganisaatio. Se koostuu Huoltovarmuuskeskuksesta ja sen hallituksesta, huoltovarmuusneuvostosta, sektoreista ja poo-

leista. Sen päätavoitteena on tärkeiden organisaatioiden sekä yhteiskunnan toimintadellytysten turvaaminen poikkeusoloissa. Huoltovarmuusverkosto koostuu viranomaisista, julkisista ja yksityisistä yrityksistä sekä järjestöistä. Huoltovarmuuskeskuksen hallitus vastaa suunnittelusta ja operatiivisesta toiminnasta. Huoltovarmuusneuvosto tekee vastaavasti aloitteita huoltovarmuutta koskevissa asioissa. Neuvoston tehtävänä on lisäksi tarkastella yleisesti huoltovarmuuden tilaa ja kehittää yhteistyötä eri toimijoiden välillä. Sektorit ovat viranomaisten, toimialajärjestöjen ja elinkeinoelämän sekä tutkimuksen muodostamia laajoja alakohtaisia yhteistoimintaorganisaatioita. Niiden yleistehtävänä on keskusjaoston hyväksymien tavoitteiden mukaisesti ohjata, koordinoita ja seurata oman alansa poolien varautumista. Poolit ovat elinkeinoelämän johdolla toimivia itsenäisiä operatiivisesta varautumisesta vastaavia toimielimiä. Niiden tehtävänä on seurata, selvittää, suunnitella ja valmistella toimenpiteitä omien toimialojensa huoltovarmuuden kehittämiseksi yhdessä alojen yritysten kanssa (Kananen 2015, 200). Kuvassa 3 on esiteltyä Suomen huoltovarmuusorganisaatio.

## HUOLTOVARMUUSORGANISAATIO



Kuva 3. Huoltovarmuusorganisaatio (Turvallisuuspolitiikan tietopankki, n.d.; Kananen 2015, 202).

#### **2.1.4 Huoltovarmuuskeskuksen energiasectori ja sen alaiset poolit**

Energiahuoltosektorissa on mukana kattavasti eri energia-alan viranomaisia, yrityksiä ja niiden etujärjestöjä. Energiahuoltosectori edistää huoltovarmuusnäkökulman huomiointamista alaan liittyvässä keskustelussa ja päätöksenteossa. Niiden yhteisenä on keskusjaoston hyväksymien tavoitteiden mukaisesti ohjata, koordinoita ja seurata oman alansa poolien varautumista. Lisäksi kehittää suunnitteluorganisaationsa vastamaan muuttuvia energiamarkkinoita (Kananen 2015, 200).

Poolit ovat operatiivisesta varautumisesta vastaavia toimielimiä. Niiden tehtäviin kuuluu yhdessä alan yritysten kanssa seurata, selvittää, suunnitella ja valmistella toimenpiteitä huoltovarmuuden kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi omilla toimialoillaan (Kananen 2015, 200). Energiasectorin huoltovarmuustyöstä huolehtivia pooleja organisoitiin vuoden 2021 loppupuolella vastaamaan energiamurroksen alalle tuomia uusia muutoksia ja haasteita vastaan. Keskusteluja viranomaistahojen ja energiasectorin toimijoiden välillä käydään Energiahuoltosectorin alla sijaitsevilla pooleilla. Näitä pooleja ovat polttoneste-, kaas-, sähkö- ja lämpöpooli. Pooli-rakenteinen organisaatio on todettu toimivaksi tilanteiden kokonaiskuvan hahmottamiseksi ja niihin tarvittavien toimenpiteiden nopeuttamiseksi (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022).

##### **2.1.4.1 Sähköpooli**

Sähköpoolin tehtäviin kuuluu sähkön saatavuuden turvaaminen poikkeusolojen ja vakavien häiriötilanteiden aikana. Sähköpooli edistää Suomen sähköhuollon toimijoiden varautumista häiriötilanteisiin. Lisäksi se tekee yhteistyötä huoltovarmuuden parantamiseksi sekä sähköalan että muiden toimialojen toimijoiden ja viranomaisten kanssa. Sähköpoolin toiminnassa on mukana huoltovarmuuskriittisiä yrityksiä. Pooli määrittelee vastualueensa huoltovarmuuskriittiset yritykset. Näiden yritysten toimialana on sähköntuotanto, -siirto ja -jakelu sekä palveluntuotanto. Lisäksi sähköpoolin toiminnassa on mukana sähkökäyttäjät sekä alan viranomaisia. Sähköpoolin poolisopimus on solmittu

Huoltovarmuuskeskuksen ja Energiateollisuus ry:n kanssa (Huoltovarmuuskeskus, 2025b).

#### **2.1.4.2 Polttonestepooli**

Polttonestepooli tekee polttonestealan valmiussuunnittelua. Sen tehtäviin kuuluvat polttonesteiden ja nestekaasun jalostus ja maahantuonti sekä polttonesteiden jakelu, varastointi ja kuljetukset. Lisäksi se selvittää edellä mainittuihin asioihin vaikuttavia tekijöitä ja niiden pohjalta suunnittelee ja valmistelee toimenpiteitä, joiden päämääränä on nestemäisten polttoaineiden huoltovarmuuden toimintaedellytysten parantaminen ja toiminnan jatkuvuuden turvaaminen poikkeusoloissa (Huoltovarmuuskeskus, 2025b).

#### **2.1.4.3 Kaasupooli**

Kaasupooli vastaa huoltovarmuuden suunnittelusta ja toteutuksesta energiakaasualalla. Siihen kuuluvat esimerkiksi maakaasu, biokaasu ja vety. Kaasupoolin toimialaan kuuluvat kaasun maahantuonti ja siirto, tuotanto, jakelu ja kaasunmyyntiyritykset. Lisäksi poolitoimikunnassa ovat mukana kaasujen loppukäyttäjät kuten teollisuus- ja energiayhtiöitä. Poolin tavoitteena on Suomen kaasuhuollon turvaaminen ja varmistaminen poikkeustilanteissa ja vakavien häiriötilanteiden osalta (Huoltovarmuuskeskus, 2025b).

#### **2.1.4.4 Lämpöpooli**

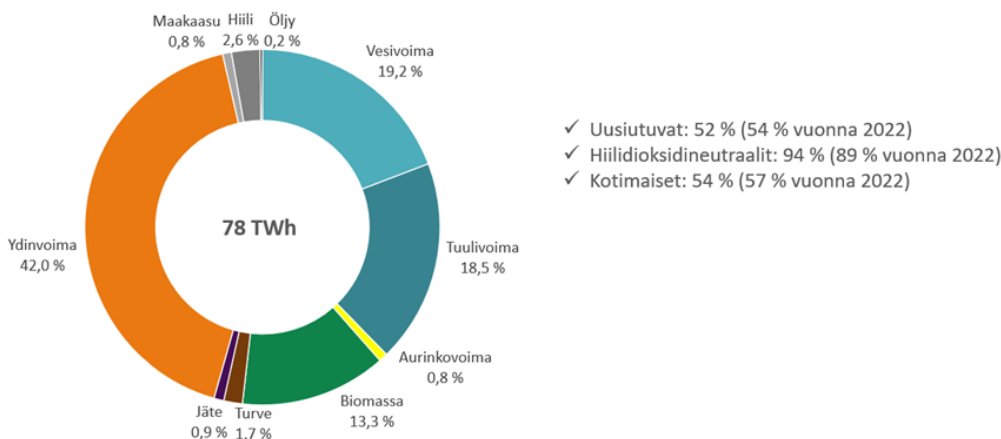
Lämpöpoolin tehtäviin puolestaan kuuluu kaukolämmön turvaaminen ja sen huoltovarmuus poikkeusoloissa. Pooli suunnittelee, valmistelee ja koordinoi toimenpiteitä sen varalle. Sen varautumis- ja valmiussuunnittelun piiriin kuuluu energia- ja lämpöhuollon yrityksiä ja toimijoita Suomessa. Meidän yhteiskuntamme on riippuvainen häiriöttömästä lämmöntuotannosta ja -jakelusta. Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto asuin- ja palvelurakennusten osalta. Ilmastotavoitteet ohjaavat vahvasti myös lämpöhuollon huoltovarmuutta poltettavan polttoaineen osalta. Normaaliolojen lämmöntuotannossa siirtymä on yhä enemmän kohti biopohjaisia ja uusiutuvia polttoaineita sekä polttoon perustumattomia tekniikoita (Huoltovarmuuskeskus, 2025b).

## 2.2 Suomen sähköntuotanto

Suomessa on noin 120 sähköä tuottavaa energiayritystä ja noin 400 voimalaitosta. Maamme sähköntuotanto on moneen muuhun Euroopan maahan nähden varsin hajautettua. Monipuolinen ja hajautettu sähkön tuotantorakenne lisää sähkön hankinnan varmuutta. Sähköstä noin viidennes tuotetaan yhteistuotantona lämmöntuotannon yhteydessä (CHP eli Combined Heat and Power), jolloin polttoaineen energiasisältö käytetään mahdollisimman tarkkaan hyödyksi. Jopa 90 % polttoaineen energiasta saadaan muutettua sähköksi ja lämmöksi (Energiateollisuus, n.d.b).

Sähkön tuotanto voidaan jaotella eri tavoin. Energialähteiden lisäksi se voidaan jaotella sen mukaan, millaisessa voimalaitoksessa sähkö on tuotettu tai miten sähköntuotanto vaihtelee eri aikoina. Onko kyseessä esimerkiksi vesi- tai lämpövoimalaitos? Käykö, voimalaitos jatkuvasti täydellä teholla vai vaihteleeko tuotanto kysynnän mukaan? Säätoivoiman avulla pyritään tasapainottamaan kulutuksen vaihtelua sähköverkossa. Suomessa kulutetaan paljon energiaa. Syynä tähän ovat pohjoinen sijaintimme, pitkät välimatkat, ilmasto, korkea elintaso ja teollisuus. Erityisesti vientivaltaiset teollisuudenalat, kuten puunjalostus, metalli ja elektroniikka, kuluttavat paljon sähköä mahdollisimman tehokkaasti ylläpitääkseen kilpailukykyänsä (Hiilitieto, 2025b). Kuvassa 4 on esitelty Suomen kokonaissähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2023.

### Sähköntuotanto energialähteittäin 2023



**Kuva 4.** Suomen sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2023 (Energiateollisuus, n.d.b).

### 2.2.1 Vesivoima

Vesivoima on yksi vanhimmista ja ympäristöystävällisimmistä energiantuotantomuodoista ja edelleenkin se on merkittävä osa uusiutuvaa energiantuotantoa Suomessa. Vesivoiman osuus Suomessa tuotetusta sähköstä on noin 10–20 % ja uusiutuvilla tuotantomenetelmillä tuotetusta sähköstä yli kolmannes. Se on erityisen tehokas ja luotettava energianlähde. Lisäksi vesivoima on ympäristöystävällinen sen päästöttömyyden ja puhautauden ansiosta. Vesivoimalaitokset ovat pitkäikäisiä, turvallisia ja toimintavarmoja laitteoksia, joiden tekniikka on tunnettua ja yksinkertaista. Vesivoimalaitosten investointikustannukset ovat korkeat, mutta käyttökustannukset ovat vastaavasti alhaiset (Energieateollisuus, n.d.f).

Sähköverkon täytyy jatkuvasti pystyä reagoimaan kulutuksen ja tuotannon vaihteluihin ja pitää niitä tasapainossa. Sähkön vaihtelevan tuotannon ja kulutuksen kasvun myötä myös säätövoiman tarve lisääntyy, joten vesi-, tuuli- ja aurinkovoima sopivat hyvin yhteen. Säätövoimaisen sähköntuotannon lisääntyessä energiajärjestelmä tarvitsee entistä enemmän säätökapasiteettia energiajärjestelmän tasapainon ylläpitämiseksi. Säätövoimaisella sähkön tuotannolla tarkoitetaan nimenomaan tuuli- ja aurinkovoimaa. Säätöominaisuutensa vuoksi vesivoimalla on energiajärjestelmän toimivuuden ja käyttövarmuuden kannalta erityinen asema varastointikykyä vuoksi, koska tätä varastointikykyä voidaan hyvin yhteen sovittaa tuuli- ja aurinkovoiman kanssa (IHA, 2022). Vesistöaltaat, niin järvet kuin tekojärvet, toimivat suurten akkujen tapaan, ja vesistöjä säännöstelemällä vesivoimalaitosten tuotantoa voidaan siirtää kulutusta vastaaviin aikoihin. Vesivoimalaitoksia voidaan käynnistää, säätää sekä pysäyttää helposti ja nopeasti, mikä tekee vesivoimasta teknisesti parasta ja edullisinta säätövoimaa. Vesivoima vastaakin valtaosasta Suomessa tarvittavasta vuorokauden sisäisestä sähköntuotannon ja -kulutuksen tasapainottamisesta, ja vesivoima tulee olemaan pitkään keskeisin joustava resurssi sähköjärjestelmässä (Energieateollisuus, n.d.f). Alla olevasta kuvasta (kuva 5) havainnollistuu hyvin vesivoiman stabilisoiva suhde tuulivoiman kanssa.



**Kuva 5.** Vesivoima täydentää hyvin tuuli- ja aurinkovoimaa (Energiateollisuus, n.d.f).

### 2.2.2 Ydinvoima

Ydinvoimaloissa tuotetaan sähköä samaan tapaan kuin muissakin lauhdevoimalaitoksissa: kuumentamalla vettä ja pyörittämällä turbiinia syntyneellä höyryllä. Erona muihin lauhdevoimalaitoksiin on se, ettei ydinvoiman käytöstä aiheudu kasvihuonekaasupäästöjä, koska mitään ei polteta, vaan lämpö luodaan uraaniatomien ytimien hallitulla halkaisemisella eli fission seurauksena (Energiateollisuus, n.d.g). Näin ollen ydinvoima on puhdasta ja päästötöntä energiaa. Haittapuolena tosin on fission seurauksena syntyvää ydinjätettä, jossa on radioaktiivisia aineita. Lisäksi tämän ydinjätteen loppusijoittaminen ja uraanin louhimisen ja rikastamisen aiheuttamat ympäristövaikutukset koetaan negatiivisiksi asioiksi (energiamaailma, 2025).

Suomessa on tällä hetkellä käytössä viisi ydinvoimalaitosyksikköä, kaksi Loviisassa ja kolme Olkiluodossa. Vuonna 2024 Suomessa tuotetusta sähköstä lähes 40 prosenttia tuotettiin ydinvoimalla (Energiateollisuus, n.d.g). Olkiluodossa tuotettiin vuonna 2024 23,26 terawattituntia (TWh) sähköä. Tämä oli noin 28 prosenttia Suomen vuoden 2024 sähkönkulutuksesta (TVO, 2025). Ydinvoima antaa vahvan kivijalan Suomen sähköntuotannolle. Se on erittäin energiatehokasta pienellä polttoainemäärällä. Ydinvoiman perusajatuksena on tuottaa koko ajan sähköä maksimiteholla ajankohdasta tai keliolosuhteista riippumatta. Säättövoimana ydinvoima ei ole kovin hyvä ratkaisu ja tähän on muutamia

syitä. Teknisesti ydinvoimaa voidaan jossain määrin säätää, mutta se on hidas ja valvottava prosessi. Suurimmat syyt ydinvoiman säätämisen jättämiseen ovat taloudelliset, koska ydinvoiman rakentaminen perustuu pitkälti kannattavuuslaskelmiin ja niiden pohjana on ajatus sähkön maksimi tuotantomäärästä (Relander, 2024).

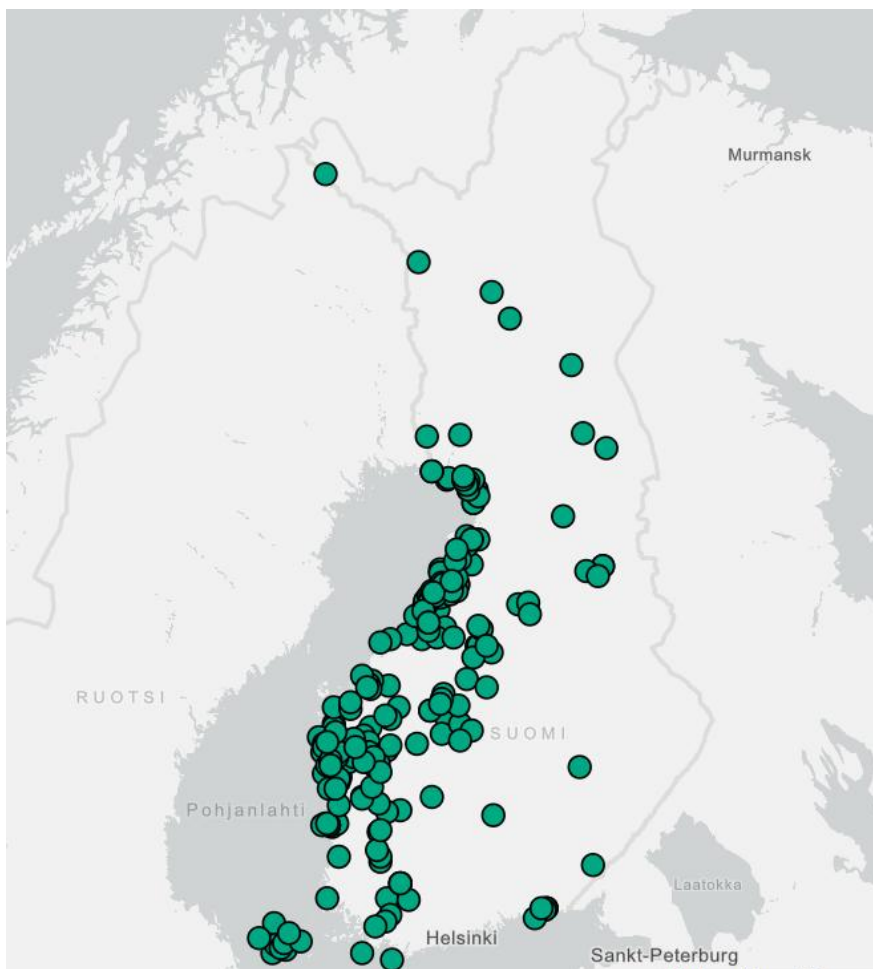
Ydinvoimasta on saatu Suomessa pääasiassa myönteisiä kokemuksia. Hanhikiven perutun ydinvoimala hankkeen ulkomaalaisomistus ja Venäjä kytkökset aiheuttivat suomalaisissa epävarmuutta. Sinne oli tarkoitus nousta 1 200 MW ydinvoimala Fennovoiman ja venäläisen Rosatomin välisenä yhteistyönä (YLE, 2024d). Lisäksi Olkiluodon viimeaikaiset tiheät huolto- ja korjaustyöt ovat aiheuttaneet uskon horjumista muuten varsin turvallisesti ja toimintavarmasti toimineeseen suomalaiseen ydinvoimaan ja ydinvoimaosaamiseen. Suomessa voimalaitokset ovat toimineet vuosikymmeniä turvallisesti ja niiden käyttökertoimet ovat maailman huippua (YLE, 2024b). Lisäksi Suomessa on kehitetty ydinjätteen loppusijoitusratkaisuja ja siinä asiassa Suomi on suunnannäyttäjää muulle maailmalle (Posiva, n.d.).

### **2.2.3 Tuulivoima**

Tuulivoiman osuus on noussut Suomessa räjähdysmäisesti viime vuosien aikana. Vuonna 2024 sähköä tuotettiin tuulivoimalla yli 19,8 TWh ja tuulivoimakapasiteettia oli käytettävissä saman vuoden lopulla 8358 MW (Energiateollisuus, n.d.e). Kun verrataan vuoteen 2023, niin Suomessa oli yhteensä 1 601 toiminnassa olevaa tuulivoimalaa, joiden kokonaiskapasiteetti oli 6 949 MW. Ne tuottivat sähköä 14,4 TWh, mikä vastasi noin 18 prosenttia Suomen sähkönkulutuksesta vuonna 2023 (Motiva, 2024b). Tästä huomaamme, että kehitys ja kasvu ovat olleet räjähdysmäisiä jo yhden vuoden mittapuulla. Tuulivoiman kasvaneeseen tuotantokapasiteettiin päästiin tuulivoimaloiden määrän sijaan lähinnä teknologisen kehityksen ansiosta. Uudet tuulivoimalat tuottavat enemmän sähköä kuin vanhemman sukupolven voimalat, koska ne ovat korkeampia ja siivet ovat pidemmät (Motiva, 2024b). Tuulivoiman osuus on noussut merkittäväksi energialähteeksi Suomen energialähteiden kokonaiskuvassa.

Suomessa uusia tuulivoimaloita rakennetaan markkinaehtoisesti ja kaupallinen kiinnostus niitä kohtaan on suurta. Suomen hallitus päätti keväällä 2015 tuulivoiman syöttötariffijärjestelmän sulkemisesta. Tuulivoimaloiden syöttötariffijärjestelmä toimi karkeasti niin, että siinä valtio maksaa tuulivoiman tuottajalle takuuhintaa megawattitunnilta. Jos sähkön markkinahinta on matalampi, tuulisähkön tuottajalle maksetaan markkinahinnan ja takuuhinnan välinen erotus 12 vuoden ajan. Syöttötariffijärjestelmä sulkeutui uusien tuulivoimaloiden osalta 1.11.2017 (Motiva, 2024a). Vuonna 2018 Energiavirasto järjesti 1,4 TWh suuruisen tarjouskilpailun uusiutuvista energialähteistä uuden tuotantotukilain tukemana kiristyneen ilmastopolitiikan ja päästövähennysten takia. Tähän hankkeeseen valittiin lopulta seitsemän tuulivoimalahanketta. Nykyään tällaista tarjouskilpailua ei enää tarvita, eikä sellaisia ole näköpiirissäkään. Tuulivoiman tuotantokustannukset ovat laskeneet niin alas, että ala kasvaa omillaan ilman valtion tukitoimiakin eli markkinaehtoisesti (Enertec, n.d.).

Otolliset sijainnit tuulivoimaloille ovat totta kai tuuliset alueet. Suomen tuuliatlas-hanke kuvaa pitkän ajan keskimääräisiä tuuliolosuhteita ja sen avulla voidaan mallintaa ja arvioida tuulienergialle soveltuvia tuulioloja koko Suomen alueella (Ilmatieteenlaitos, n.d.). Suotuisien tuuliolojen lisäksi tuulivoimaloiden sijainnin valitsemiseen on muitakin tekijöitä ja rajoituksia. Teknitaloudellisesti olisi järkevää, jos tuulivoimalahankkeen voisi helposti liittää olemassa olevaan infrastruktuuriin, kuten sähköverkkoon ja tiestöön. Teknitaloudellisten tekijöiden lisäksi sijaintialueiden ympäristöarvot ja muu alueiden käyttörajoitukset tulee ottaa huomioon (Motiva, 2024e). Näitä ympäristövaikutuksia ovat esimerkiksi äänihaitta, maiseman muutokset, lapojen aiheuttama välke ja mahdolliset haittavaikutukset luonnon eliöstölle, kuten linnuille ja kaloille. Tuulivoimalat voivat aiheuttaa myös häiriöitä tutkayhteyksiin sekä radio- ja TV-verkkoihin (Motiva, 2024d). Suomessa on tuulivoimaloille soveltuvia alueita erityisesti rannikolla ja merialueilla. Tällä hetkellä tuulivoimaa nousee Etelä-Pohjanmaalle, Pohjois-Pohjanmaalle sekä Lappiin. Alla olevasta kartasta (Kuva 6) näemme Suomessa käytössä olevien tuulivoimaloiden sijainnit.



**Kuva 6.** Suomessa käytössä olevien tuulivoimaloiden sijainnit (Suomen uusiutuvat, n.d.).

Kartasta näemme, että tuulivoimalatuotanto sijoittuu pitkälti länsirannikolle. Keskeisimpiä syitä tälle ovat Itä-Suomessa puolustusvoimien aluevalvontajärjestelmien aiheuttamat rajoitteet tuulivoiman rakentamiselle. Lisäksi Lapissa tuulivoimaloiden lisärakentamisen estää useimmiten kuntien haluttomuus kaavoittaa tuulivoimaa alueelleen tai kunnan muu maankäytön rajoittava päätös. Muina syinä ilmoitetaan poliitikkojen tai kansalaisten vastustus, sähköverkkoon liittymisen haasteet, luontoarvot, poronhoito, matkailu, kilpailutilanne ja yhteensovittaminen muun elinkeinon kanssa (Räty 2023, 6).

Tuulivoiman tuotannon vaihteluun vaikuttaa tuulivoimapuistojen maantieteellinen sijoittuminen. Jos tuulipuistot olisivat sijoitettu nykyistä hajautetummin, pienentäisi se tuotannon vaihtelua ja edesauttaisi Suomen sähköjärjestelmän kestävyyttä. Lisäksi se li-

säisi Suomen energiaturvallisuutta ja vahvistaisi sähkösiirtoverkkoa. Ilmatieteenlaitoksen analyysin mukaan Kaakkois-Suomen tuulivoimatuotanto tasaisi parhaiten Pohjois-Pohjanmaan tuulivoimatuotantoa. Uudet tuulivoimahankkeet ja ennätysellinen tuulivoiman kasvu länsirannikolla ovat verottaneet Suomen kantaverkon siirtokykyä, ja jo tehtyjen verkkovahvistuksen lisäksi tarvitaan merkittäviä toimia uusien siirtoyhteyksien rakentamiseen (Räty 2023, 7).

#### **2.2.4 Bioenergia**

Bioenergia on Suomessa merkittävä uusiutuva energialähde. Bioenergia luokitellaan hiilidioksidineutraaliksi eli sen ei lasketa lisäävän hiilidioksidipäästöjä. Tämä perustuu siihen, että biomassojen poltossa vapautuva hiili sitoutuu takaisin kasvavaan biomassaan pitkällä aikavälillä. Bioenergiaa käytetään monipuolisesti eri kokoisissa laitoksissa, suurista teollisuuslaitoksista yksityisiin kotitalouksiin. Alue- ja kaukolämpölaitokset ovat viime vuosina lisänneet bioenergian osuutta merkittävästi verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin laitoksien polttoaineena. Bioenergia on korvannut viime vuosina suurilta osin kivihiihen käyttöä. Tulevaisuudessa bioenergialla on vielä mahdollisuus kehittyä ja tehostaa tuotantoaan. Suomi on Euroopan kärkimaita biopolttoaineiden tuotannossa (Motiva, n.d.).

Bioenergiaa hyödynnetään useassa eri olomuodossa. Biomassoista voidaan jalostaa kiinteän polttoaineen lisäksi kaasumaisia ja nestemäisiä polttoaineita. Biomassoja saadaan useista eri lähteistä – metsistä, pelloilta ja maataloudesta, teollisuuden sivuvirroista ja jätteistä (Motiva, n.d.). Bioenergiaa syntyy väistämättä ja sen takia sitä on hyvä hyödyntää energiantuotannossa. Biomassassa on myös heikkouksia verrattuna kivihiihen tai turpeeseen. Se on aineen homogeenisyys eli tasalaatuisuus. Metsässä haettavassa biomassakuormassa voi olla eri kosteusprosenttia, eri määrä eloperäistä ainetta ja muuta vastaavaa vääristymää aineesta saatavaan tasalaatuiseseen energiamäärään verrattuna.

### 2.2.5 Hiilivoimalat

Suomessa kivihiilen osuus energian kokonaiskulutuksesta on nykyisin noin kymmenen prosentin luokkaa. Kivihiiltä käytetään Suomessa sekä energian- että sähköntuotantoon. Lauhdevoimalaitokset tuottavat pelkkää sähköä ja yhteistuotantolaitokset puolestaan tuottavat sekä sähköä että kaukolämpöä. Lauhdevoiman tuotannosta kivihiilen osuus on 60–70 prosenttia, yhteistuotannosta noin 30 prosenttia. Kivihiilen osuus putoaa koko ajan. Hyvinä vesivuosina pohjoismaisilta sähkömarkkinoilta on ollut saatavilla runsaasti edullista sähköä, jolloin kivihiilen käyttöä on voitu vähentää. Lisääntynyt tuulivoima on nykyään aiheuttanut samankaltaisen efektin tuulisina päivinä. Energian hinnan noustessa ja saatavuuden vähentymisessä kivihiilen käyttö on kasvanut. Suomessa on kymmeniä energiantuotantolaitoksia, joiden pää- tai lisäpolttoaine on kivihiili. Kivihiili toimii hyvänä säätövoimana sen helppokäyttöisyyden takia (Hiilitieto, 2025a).

Suomi on sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannossa maailman johtavia maita. Yhteistuotannolla (CHP) tuotetaan kolme neljäsosaa Suomen koko kaukolämmöntuotannosta ja 36 prosenttia sähköstä. Yhteistuotantolaitokset polttavat maakaasua, hiiltä ja öljyä sekä biomassoja, kuten puuta ja turvetta hyödynnetään etenkin sisämaassa. Yhteistuotanto on tehokas tapa tuottaa sähköä ja lämpöä. Tällöin hyötysuhde on erittäin hyvä ja polttoaineen energiasta saadaan otettu jopa 90 % hyöty (Hiilitieto, 2025a).

### 2.2.6 Turve

Turve on suokasvien jäännöksistä epätäydellisen hajoamisen tuloksena muodostunutta eloperäistä maa-ainesta, jota kerrostuu muodostumispaikalleen. Turvetta syntyy kuolleista kasvin osista maatumalla hyvin kosteissa olosuhteissa. Suomessa olosuhteet ovat suotuisat turpeen muodostumiselle, ja turvetta muodostuu jatkuvasti lisää. Suomi on maailman soistuneimpia maita. Turvemaita on kaikkialla Suomessa eniten Pohjois-Suo-

nessa. Suomen maapinta-alasta on soita ja turvemaita lähes kolmasosa eli 9,08 miljoonaa hehtaaria. Suurin osa Suomessa nostetusta turpeesta on tähän saakka käytetty energian tuottamiseen (Bioenergia, 2024).

Turve on viime vuosikymmeninä ollut kotimaisena polttoaineena olennainen osa Suomen energiahuoltoa ja omavaraisuutta. Energiaturve on korvannut ennen kaikkea kivihiiltä. Turpeen merkitystä on lisännyt se, että turve mahdollistaa seospoltossa muiden vaikeammin hyödynnettävien polttoaineiden, kuten metsähakkeen ja peltobiomassojen, käyttöä. Etuna on myös tasalaatuisuus ja pitkäaikaisen varastoinnin kestävyys (Bioenergia, 2024).

Energiaturpeen osuus Suomen energiatuotannosta on supistunut viime vuosina pariin prosenttiin ja kymmeneen prosenttiin kaukolämmön tuotannossa. Turpeen energiakäyttö on puolittunut viime vuosikymmenen noin 16 TWh:n vuosituotannosta. Sillä on kuitenkin edelleen iso merkitystä huolto- ja toimitusvarmuuden kannalta ja sitä on ostettu valtion ylläpitämiin varmuusvarastoihin vuosina 2022 ja 2023. Huoltovarmuuden kannalta tärkeää on kuitenkin jatkossa, että toimitusketjut ja osaaminen säilytetään ja turpeella on riittävästi kaupallista käyttöä (Bioenergia, 2024).

### 3 Suomen sähköverkon toimitusvarmuus

Tämä luku käsittelee Suomen sähköverkkoa ja sen toimitusvarmuutta. Suomen sähköverkon toimitusvarmuus koostuu useista keskeisistä elementeistä, jotka yhdessä varmistavat sähkön jatkuvan saannin ja luotettavan toimitusvarmuuden. Toimitusvarmuus voidaan jakaa kahteen keskeiseen asiakokonaisuuteen, jotka ovat siirtoyhteyksien toimivuus ja riittävä siirtokapasiteetti sekä tietysti riittävä sähkön tuotanto. Nämä asiat pitävät sähköverkkoa tasapainossa.

Suomessa on kattava sähköverkko, joka voidaan jakaa kolmeen kategoriaan niiden jännitetasojen ja käytön mukaisesti. Ne ovat kantaverkko, suurjännitteinen jakeluverkko (ts. alueverkko) ja jakeluverkko. Kantaverkko toimii Suomessa sähköverkon selkärankana, joka siirtää sähköä suurella jännitteellä pitkiä matkoja. Jakeluverkko toimii vastaavasti pienellä jännitteellä lähellä loppukuluttajaa tarjoten sähköä kotitalouksiin (Energiateollisuus, n.d.c).

Energiavirasto valvoo Suomessa sähköverkon toimintaa. Sen tehtäviin kuuluu myös edistää ja kehittää sähköverkon toimintaa joustavammaksi ja toimitusvarmemmaksi kokonaisuudeksi, jossa uusiutuva energiantuotanto ja tämän myötä lisääntynyt säätövoima voidaan liittää sähköverkkoon verkkokapasiteetin näkökulma huomioon ottaen. Energiavirasto on sitoutunut vastuulliseen toimintaan ja tiedostaa merkityksensä kestävässä kehityksessä ilmasto- ja energiapolitiikan toimeenpanijana Suomen energiajärjestelmässä (Energiavirasto, 2023c).

#### 3.1 Toimitusvarmuus

Sähköverkossa toimitusvarmuus tarkoittaa ennen kaikkea sähkön toimituksen luotettavuutta. Kykyä toimittaa sähköä asiakkaille ilman keskeytyksiä tai häiriöitä. Toimitusvarmuus on yksi sähköverkon ja koko sähköjärjestelmän tärkeimmistä termeistä. Hyvän toimitusvarmuuden takana on useat osatekijät. Kuten hyvin suunniteltu ja monimuotoinen

sähköverkon rakenne, vikatilanteiden nopea reagointi ja hallinta sekä erilaiset hallintajärjestelmät ja varavoima.

Toimitusvarmuus jakaantuu kahteen asiakokonaisuuteen. Ne ovat siirto- ja jakeluverkkojen toimitusvarmuus sekä energian ja tehon riittävyys (Energiavirasto, n.d.a). Tämä energian ja tehon riittävyys tarkoittaa sitä, että tuotannon ja kulutuksen on oltava tasapainossa. Eli energiaa on tuotettava kulutettu määrä, muuten sähköverkossa aiheutuu vakavia häiriöitä. Kulutuksen ja tuotannon hetkellinen tasapaino ilmenee sähköverkon taajuudessa. Taajuus laskee alle 50 Hz nimellisarvon, kun kulutus on tuotantoa suurempaa. Vastaavasti taajuus ylittää 50 Hz arvon, kun tuotanto on kulutusta suurempi. Taajuuden sallitaan vaihdella normaalitilanteissa vain 49,9 ja 50,1 hertsin välillä (Fingrid 2016, 11).

Sähkömarkkinalain 9.8.2013/588 yhtenä tarkoituksena on varmistaa edellytykset toimivalle sähköverkolle (Finlex, n.d.c). Laki ohjaa verkkoyhtiöitä kehittämään verkkoa kestäväksi, tehokkaaksi ja vastaamaan ajan tuomia haasteita ja muutoksia vastaan. Yksi verkon toimitusvarmuutta kehittävä tekijä oli laissa mainittu sähkönjakelun toimitusvarmuuden tavoitetasot. Tavoitetasot tarkoittavat, etteivät esimerkiksi myrsky tai lumi-kuorma aiheuta asemakaava-alueella yli 6 tunnin sähkökatkoa ja muulla alueella yli 36 tunnin sähkökatkoa (Energiateollisuus, n.d.a).

### **3.1.1 Tehoreservi**

Tehoreservijärjestelmän tarkoituksena on turvata sähköjärjestelmän toiminta ja varmistaa sähkön kysynnän ja tarjonnan tasapaino tehovajeen aikana. Silloin kun markkinaehtoisesti tarjottu sähkön tuotantokapasiteetti ei pysty vastaamaan kysynnän tehontarpeeseen. Tällainen tilanne voi aiheutua esimerkiksi sähkön tuotantolaitoksen vikaannuttua, jolloin sen ajateltu tuotantokapasiteetti ei toteudu markkinoille ja se joudutaan tuottamaan tehoreservin kautta. Se koostuu käyttövalmiudessa olevasta voimalaitosreservistä, sähkövarastoista ja kulutusjoustosopimuksista sellaisten toimijoiden kanssa, jotka voivat tarvittaessa vähentää sähkön tarvettaan (Energiavirasto, 2023a).

Tehoreservijärjestelmä käyttö on turvattu lainsäädännöllä. Laki sähköntuotannon ja -kulutuksen välistä tasapainoa varmistavasta tehoreservistä (11.2.2011/117). Tarvittava tehoreservin määrä on mitoitettava sähköntoimitusvarmuuden tavoitetasosta annetun valtioneuvoston päätöksen mukaisesti. Energiavirasto määrittelee tarvittavan tehoreservin määrän. Energiavirasto voi hyväksyä tehoreservijärjestelmään vaatimukset täyttäviä voimalaitosyksiköitä, energiavarastoja ja sähkönkulutuksen joustoon kykeneviä kohteita tehoreservin tarpeen edellyttämän määrän. Järjestelmä rahoitetaan kantaverkon siirto- palvelun käyttäjiltä kerättävillä tehoreservimaksuilla, joiden keräämisestä vastaa järjestelmävastaava kantaverkonhaltija Fingrid. Maksujen määräytymisperusteiden tulee olla tasapuolisia ja niillä katetaan aiheutuneet kohtuulliset kustannukset sekä kohtuullinen korvaus järjestelmän hoitamisesta (Finlex, n.d.b).

### **3.1.2 Energiavirasto**

Energiavirasto on Suomessa toimiva työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalan asiantuntija- ja valvontavirasto, joka vastaa energiapolitiikan toimeenpanosta ja energiamarkkinoiden sääntelystä. Sen tehtävänä on edistää energiamarkkinoiden toimivuutta, reilua kilpailua ja kestävää kehitystä. Energiavirasto valvoo sähköverkon toimintaa sen luonnollisen monopoliasemansa takia. Lisäksi virasto ohjailee markkinoita ja samalla kehittää verkkojen toimitusvarmuutta ja niiden tehokkuutta. Energiavirastolle kuuluu myös muita energia- ja ilmastopolitiikan toimeenpanotehtäviä kuten ilmastotavoitteiden toteutumisen valvontaan ja edistämiseen liittyviä asioita. Yhtenä keskeisenä energiaviraston tavoitteena on luoda toimiva ja kestävä energiajärjestelmä, joka tukee ilmastotavoitteita ja talouden kehitystä entistä toimitusvarmemmassa sähköverkossa (Energiavirasto, 2023c).

## 3.2 Suomen sähköverkko

Suomen sähkönjakelu koostuu 3 osasta, jotka ovat kantaverkko, suurjännitteinen jakeluverkko (ts. alueverkko) ja jakeluverkko. Siirtoverkkojen lajittelu perustuu jännite-eroihin sähköverkossa. Pitkillä siirtoyhteyksillä käytetään korkeita jännitteitä siirtohäviöiden pienentämiseksi. Lähellä kuluttajaa jännitetaso puolestaan tiputetaan muuntajien avulla vastaamaan kulutuksen käyttämiä standardeja. Valtakunnallinen sähkön siirtoverkko kuuluu yhteiskunnan tärkeimpiin infrastruktuureihin. Suomen sähköjärjestelmä on yhdistetty osaksi Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan järjestelmien kanssa. Lisäksi Virossa on Suomeen tasasähköyhteys, jolla pohjoismainen järjestelmä on yhdistetty Baltian sähköjärjestelmään (Fingrid, n.d.a).

### 3.2.1 Kantaverkko

Kantaverkko toimii Suomessa sähkönsiirron runkona ja peruspilarina. Se käyttää korkeaa jännitetasoa siirtohäviöiden pienentämiseksi pitkissä sähkön siirroissa. Suomen sisäisissä yhteyksissä käytetään tällä hetkellä pelkästään vaihtovirtayhteyksiä, koska se on teknistaloudellisesti järkevää. Suomen kantaverkon ylläpitämisestä vastaa Fingrid. Kantaverkkoon kuuluu kaikki silmukoidussa käytössä olevat 400, 220 ja 110 kilovoltin suurjännitejohdot ja sähköasemat. Vuonna 2023 kantaverkkoon kuului noin 14 500 km voimajohtoa ja 121 sähköasemaa. Kantaverkon kautta siirretään noin 75 % kaikesta Suomessa siirretystä sähköstä (Fingrid, n.d.a).

Kuvassa 7 on Fingridin hallinnoima kantaverkko. Kuvasta voidaan huomata, että valtaosa sähkön päälinjoista kulkee pohjois-eteläsuunnassa. Lisäksi kantaverkon painopiste sijoittuu Suomen länsiosiin. Suurimmat sähköntuotantolaitokset Suomessa sijaitsevat pääasiassa etelässä ja lännessä. Tämä liittyy siihen, että Etelä- ja Länsi-Suomessa sijaitsee suurin osa ydinvoimasta ja tuulivoimasta. Lisäksi Pohjois-Suomen runsas vesivoima ja ulkomaan siirtoyhteydet tuovat tarpeen siirtää sähköä Etelä-Suomen suurimpiin kaupunkeihin, missä kulutus on suurempaa. Yhteenvetona voidaan todeta, että Suomen sähkön

kantaverkko on rakennettu vastaamaan maantieteellisiä ja taloudellisia realiteetteja. Tuotannon ja kulutuksen painopisteet ovat Etelä- ja Länsi-Suomessa, joten verkon rakenne heijastelee tätä.



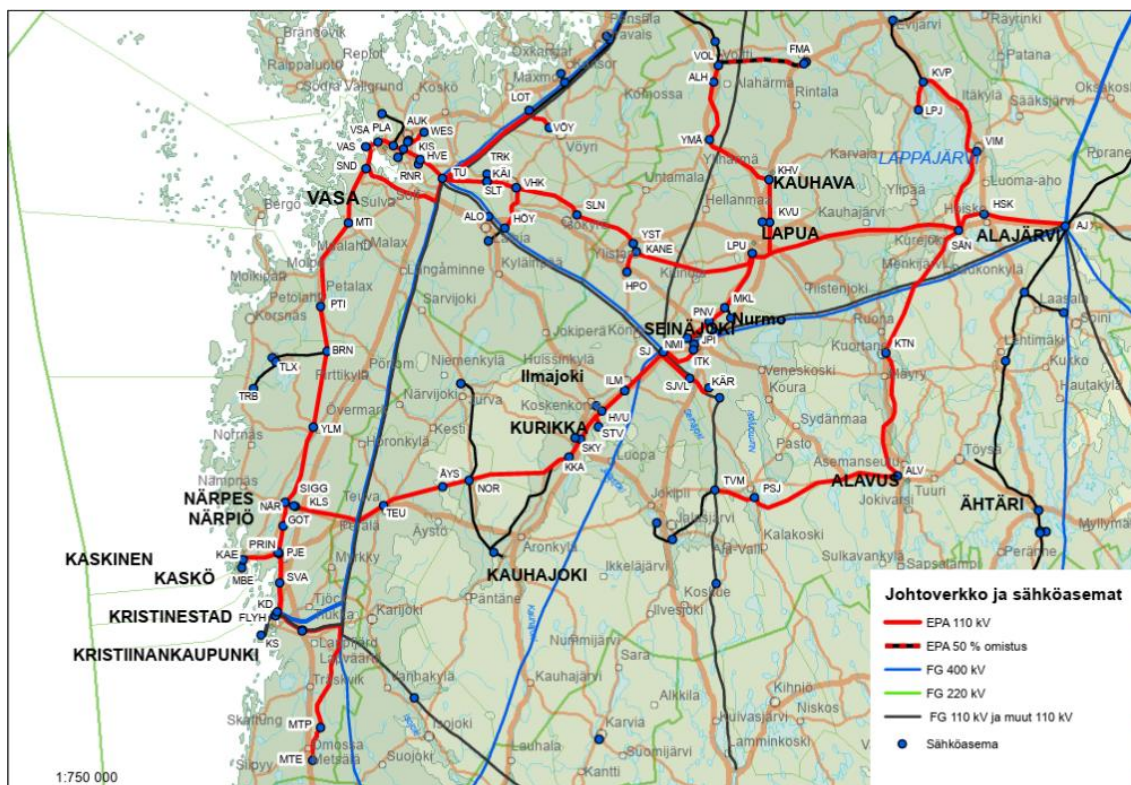
**Kuva 7.** Suomen kantaverkon voimajohdot (Energiateollisuus, n.d.c).

Suomi on osa pohjoismaista sähköjärjestelmää eli synkronialuetta. Synkronialueella tarkoitetaan aluetta, jossa sijaitsevat sähköverkot ovat toisiinsa yhteydessä vaihtosähköyhteyksillä. Suomen kanssa samaan synkronialueeseen kuuluvat Ruotsi, Norja ja Itä-Tanska.

Suomen kantaverkko liittyy Ruotsin sähköverkkoon kahdella 400 kilovoltin vaihtosähköyhteydellä Pohjois-Suomessa ja Norjan sähköverkkoon on Inarista 220 kilovoltin vaihtosähköyhteys. Lisäksi Suomesta on lukuisia tasasähköyhteyksiä kuten Fenno-Skan 1 ja Fenno-Skan 2 Ruotsiin sekä EstLink 1 ja EstLink 2 Viroon. Lisäksi Ahvenanmaalle on tasasähköyhteys, jonka omistaa ja jonka käytöstä vastaa Kraftnät Åland. Venäjälle kulkeneet tasasähköyhteydet ovat poistettu käytöstä toukokuussa vuonna 2022 (Fingrid, n.d.d).

### **3.2.2 Suurjännitteinen jakeluverkko**

Verkkohierarkiassa seuraavana kantaverkosta sijaitsee alueverkko eli suurjännitteiset jakeluverkot, jotka toimivat 110 kilovoltin jännitteellä. Niiden tehtävänä on siirtää sähköä alueellisesti. Alueverkot ovat liitettynä kantaverkkoon ja siirtävät kantaverkon kuljettaa sähköä yleensä tietyn maakunnan sisäisesti lähemmäs siellä olevia kuluttajia. Alueverkkojen tarkoitus sähkön toimituksessa on toimia linkkinä suurjännitteisen kantaverkon ja loppukäyttäjien kuten kotitalouksien, yritysten ja teollisuuden välillä. Suomessa on vajaa 10 suurjännitteisiä jakeluverkonhaltijayhtiötä eli alueverkkoja. Suomen yksi merkittävämpiä alueverkkoyhtiötä on EPV alueverkko Oy. Se siirtää sähköä Pohjanmaan, Etelä-Pohjanmaan, Kokkolan ja Tornion alueilla sekä Pohjois-Suomessa Iijoella ja Kemijärvellä (EPV alueverkko, n.d.a). Alla olevasta kartasta (kuva 8) voi hahmottaa tätä alueverkon toiminta-alueen kattavuutta.



Kuva 8. EPV:n alueverkkoa Pohjanmaalla ja Etelä-Pohjanmaalla (EPV alueverkko, n.d.b).

### 3.2.3 Jakeluverkko

Kodit saavat sähkönsä jakeluverkon kautta. Suurjännitteiset jakeluverkot siirtävät sähkön lähelle kulutusta, jossa sen jännite tiputetaan 20 kilovolttiin. Edelleen jakelumuuntamot muuntavat sähkön siirtojännitteet sähkön käyttäjille soveltuvaksi pienjännitteeksi. Jakeluverkon jännitetaso vaihtelee keski-jännitteen (1–36 kV) ja pienjännitteen (0,4–1 kV) välillä. Jossain syrjäisemmillä alueilla voidaan vielä nähdä 45 kV jakeluverkkoa, mutta vähenevässä määrin. Näitä on korvattu vahvistamalla 20 kV verkkoa tai rakentamalla 110 kV verkkoa (Energiäteollisuus, n.d.c).

Eri jakeluverkkoyhtiöt ovat viimeisen kymmenen vuoden aikana maakaapeloineet sähköverkkoa huomattavissa määrin. Tämän taustalla olevana syynä voidaan pitää sähkömarkkinalain (588/2013) pykälän 51 toimitusvarmuusvaatimusta, joka määrittää jakelu-

verkon sähkönjakelun keskeytyksen enimmäisajat (Finlex, n.d.c). Kyseiselle vaatimukselle on samassa laissa (588/2013) pykälässä 119 määritetty siirtymäaika säävarman sähköverkon toteutumisen tavoitteelle. Vuosina 2019–2028 jakeluverkkojen asiakkaiden tulee olla säävarman jakeluverkon piirissä (Finlex, n.d.c). Tämä on aiheuttanut jakeluverkkoyhtiöille merkittäviä investointeja verkkoihinsa. Energiavirastolle toimitettujen arvioiden ja suunnitelmien mukaan jakeluverkkoyhtiöiden kokonaisinvestointien määrä vuosina 2014–2028 on noin 9,5 Mrd. euroa (Partanen 2020, 7).

Jakeluverkkoja ylläpitävät yhteensä noin 80 sähköverkkoyhtiötä. Suomen suurimmat jakeluverkkoyhtiöt ovat Caruna Oy, Elenia Verkko Oyj ja Helen Sähköverkko Oy. Yhteensä Suomen viisitoista suurinta sähkönjakeluverkkoyhtiötä kattavat noin 70 prosenttia jakeluverkoista, sähkön käyttäjistä ja yhtiöiden liikevaihdosta. Kaikkein pienimmät sähköverkkoyhtiöt Suomessa toimivat yhden kunnan alueella ja palvelevat muutamaa tuhatta asiakasta. Suurin osa Suomen vajaasta 80 jakeluverkkoyhtiöstä onkin kunnan tai kuntaenemistöisen osakeyhtiön omistuksessa (Energieollisuus, n.d.d). Ulkomaiset sijoittajat ovat myös olleet kiinnostuneita Suomen suurista jakeluverkkoyhtiöistä. Esimerkiksi Caruna Oy:n omistaa suomalainen eläkevakuutusyhtiö Elo (7,5 %) sekä kansainväliset sijoittajat KKR (40 %), Ontario Teachers' (40 %) ja AMF (12,5 %) (Caruna, n.d.). Elenia Oyj:n omistaja pohja on hyvin samankaltainen; valtion Eläkerahasto (VER), Allianz Capital Partners (ACP) ja Macquarie Super Core Infrastructure Fund. (Elenia, n.d.).

### **3.3 Suomen sähkösiirron tulevaisuus**

Maailman sähköistyessä sähkön tarve tulee lisääntymään. Se tarkoittaa sitä, että olemassa olevan siirtoverkon tulisi siirtää myös aikeisempaa enemmän sähköä tuotannosta kulutuksen piiriin. Asutuksen keskittyminen pääkaupunkiseudulle tarkoittaa sähkön kulutuksen kannalta sitä, että siellä sähköä myös kuluu muuta Suomea enemmän. Kun sähköntuotannon pääpaino on esimerkiksi tuulivoiman osalta länsirannikolla ja vesivoiman osalta Pohjois-Suomessa, syntyy tilanne, missä sähköä pitää kuljettaa pitkiä matkoja

kohti Etelä-Suomea. Tämä johtaa kehitykseen, missä siirtolinjoja pitää suurentaa tai lisätä, jotta siirtokapasiteettia saadaan kasvatettua.

Fingridin kantaverkon kehittämissuunnitelma 2022–2031 esittää suunnitelmat kantaverkon lähitulevaisuuden tavoitteista. Tavoitteena on varmistaa, että kantaverkko palvelee asiakkaita ja yhteiskuntaa sekä täyttää sille asetetut vaatimukset muuttuvassa toimintaympäristössä myös tulevaisuudessa. Lisäksi tavoitteena on tukea Suomen hiilineutraalisuustavoitetta. Suunnitelmassa investoidaan noin 2,1 miljardia euroa kantaverkon kehittämiseen, keskittyen erityisesti pohjois-eteläsuuntaisten yhteyksien vahvistamiseen lisäten tehonsiirtokapasiteettia. Tämä tukee sekä tuotannon että kulutuksen maantieteellistä sijoittumista sekä mahdollistaa uusiutuvan energian, kuten tuulivoiman, kasvavan osuuden integroimisen sähköverkkoon (Fingrid, n.d.b).

Rinnakkaiskompensointi mahdollistaa kantaverkon tehokkaan käytön kasvattamalla sekä nykyisten että tulevien voimajohtojen siirtokykyä. Rinnakkaiskompensoinnilla lisätään siirtokapasiteettia nopeasti, kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Fingrid toteuttaa rinnakkaiskompensointia usealle sähköasemalle lisättävien kondensaattoreiden avulla. Fingrid arvioi, että rinnakkaiskompensointi-investointien myötä kantaverkon siirtokyky Etelä-Suomeen kasvaa arviolta 1000 megawattia (Fingrid, n.d.e). Rinnakkaiskompensointi tarkoittaa menetelmää, jolla pyritään parantamaan sähköverkon energiatehokkuutta ja vakautta kompensoimalla reaktiivista tehoa eli loistehoa. Loisteho on sähköverkon osatekijä, joka ei tee työtä, mutta on välttämätön osa sähkömagneettisten kenttien luomiseksi esimerkiksi moottoreissa ja muissa laitteissa. Loisteho aiheuttaa jännitehäviöitä ja heikentää tehon siirtokapasiteettia. Rinnakkaiskompensoinnissa käytetään erityisesti kondensaattoreita verkon solmupisteissä, missä loisteho on puutteellinen ja näin parannetaan jännitteen laatua ja tehokkuutta sekä tasapainotetaan verkkoa. Tätä käytetään erityisesti pitkillä sähkönsiirtoyhteyksillä, joissa loistehon hallinta on erityisen tärkeää (J. Duncan Glover 2015, 289).

ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators - Electricity) on vuonna 2009 toimintansa aloittanut eurooppalainen kantaverkkoyhtiöiden yhteistyöjärjestö. Eurooppalainen yhteistyö tapahtuu ENTSO-E järjestön kautta, johon kuuluu 42 kantaverkkoyhtiötä 35 eri maasta. Sen tehtävänä on Euroopan unionin sähkömarkkinoiden kehittäminen ja kantaverkkoyhtiöiden yhteistyön parantaminen (ENTSO-E, 2025a). ENTSO-E laatii myös Euroopan sähköverkkojen kehittämiseksi kymmenvuotissuunnitelmat TYNDP (Ten Year Network Development Plan), jotka pohjautuvat tulevaisuuden skenaarioihin sähköjärjestelmän suuntauksista alueellisesti. Sen tarkoituksena on tarkastella Euroopan sähköverkkojen toimivuus ja kestävyys pitkällä aikavälillä, erityisesti ottaen huomioon tulevaisuuden energiamarkkinat, uusiutuvan energian integrointi ja rajasiirtoyhteyksien tarpeet eri maitten välillä (ENTSO-E, 2025b).

### **3.3.1 Resilientit sähköverkot**

Resilientti sähköverkko tarkoittaa sähköverkon kykyä sopeutua, joustaa, kestää ja palautua tehokkaasti erilaisista sähköverkkoa uhkaavista häiriöistä, kuten luonnonmullistuksista, teknisistä vioista tai kyberhyökkäyksistä, ja varmistaa sähkötoimituksen jatkuvuus ja luotettavuus. Resilienssi ei tarkoita pelkästään kykyä estää ja ennaltaehkäistä ongelmia, vaan myös tehokasta reagointia olemassa oleviin ongelmiin ja verkon palauttamista nopeasti normaalitilaan. Ennakointi tilanteisiin on avainasemassa ja siksi verkon haltijat, suunnittelijat ja muut toimijat arvioivat jatkuvasti sähköjärjestelmän muuttuvia uhkia ja olosuhteita ja varautuvat näihin tilanteisiin (NREL, 2025).

Vaikka resilienssin määritelmä on hyvin kirjava, sen tarkoitus ja tavoite kaikille alan päättäjille on hyvin johdonmukainen. Sähköverkon kestävyuden parantaminen. Sen takana on useita toimenpiteitä, mutta sieto- ja sopeutumiskykyä voidaan pitää tärkeimpinä asioina. Sietokyky mahdollistaa erilaisten uhkien läsnäolon ja sopeutumiskyky lieventää katastrofin ollessa valloillaan. Tämä edellyttää, että verkko pystyy pysymään toiminnassa ja toimimaan äärimmäisissä ja odottamattomissa tapahtumissa poikkeusoloista huoli-

matta. Vahinkojen lieventämiseen tehtävien toimenpiteiden määrittäminen on yhtä tärkeää kuin kyky hallita sähköverkkoa häiritsevän tapahtuman aikana. Lisäksi nopea toipuminen tapahtuman jälkeen on tärkeää, joka tarkoittaa sähköverkon palauttamista normaalitilaan (Shunbo 2023, 4-5).

Sähköjärjestelmän resilienssin viitekehyksen mukaan toimia tarvitaan kolmessa vaiheessa, jotka ovat ennen tapahtumaa, tapahtuman aikana ja tapahtuman jälkeen. Ennen tapahtumaa ennakoitaan ja otetaan käyttöön ennaltaehkäiseviä strategioita ja arviointoja, jotka parantavat järjestelmän kykyä pitää toimintansa yllä katastrofin osuessa kohdalla. Nämä arvioinnit perustuvat yleensä aikaisempiin tapahtumiin ja regressiomalleihin. Tapahtuman aikana tarvitaan reaaliaikaisia strategioita tehostamaan järjestelmän kykyä hallita vaikutuksia poikkeusoloissa. Tapahtuman jälkeen vastaavasti tarvitaan palautusstrategioita järjestelmän palauttamiseksi normaaliin toimintatilaan mahdollisimman nopeasti. Näiden strategioiden sisältö riippuu katastrofin laadusta eli millaisia vahinkoja sähköjärjestelmä on kohdannut. Korjaustoimenpiteiden tarkoitus on olla tehokkaita ja johdonmukaisia (Shunbo 2023, 122).

Resilienssin vahvistamiseen on useita tapoja, joilla pyritään helpottamaan odottamattomista olosuhteista toipumista ja edistämään vakautta sähköverkossa epävarmoissa tilanteissa. Nämä toimenpiteet auttavat myös lieventämään odottamattomien tapahtumien, kuten sähkökatkojen, vaikutuksia. Odottamattomia tai joustamattomia tapahtumia voi olla myös sähköjärjestelmän sisällä. Joustamattomien uusiutuvien energiatuotantomuotojen liittäminen sähköverkkoon on välillä vaikeaa, koska tuotanto vaihtelee säästä ja vuorokaudenajasta riippuen, mikä edellyttää pitkälle kehitettyä verkonhallintaa, energian varastointia ja kysyntään reagoivia mekanismeja järjestelmän tasapainon ja kestävyden ylläpitämiseksi. Resilienssissä on kyse myös sähköjärjestelmän luotettavuudesta ja kestävydestä (Mohanty, A 2024, 261).

Sähköverkon resilienssi on keskeinen tekijä verkon luotettavassa toiminnassa, ja sen parantaminen vaatii edistyksellistä teknologiaa, älykästä verkko-ohjausta ja jatkuvaa kehitystä infrastruktuurissa. Resilienssi auttaa varmistamaan, että sähköverkko pystyy sopeutumaan ja palautumaan nopeasti häiriöistä, mikä on erityisen tärkeää nykypäivän digitaalisessa ja ilmastonmuutoksen sekä hybrdivaikuttamisen myötä yhä haavoittuvamassa maailmassa.

## 4 Erilaiset kriisit ja uhkakuvat

Maailma muuttuu ja kehittyy nopeaa vauhtia, jonka takia myös sitä kohtaavat uhat monipuolistuvat. Uusi maailma luo uudenlaisia uhkakuvia ja erilaisten uhkien yhdistelmiä. Muutostekijät näille uusille uhkakuville ovat esimerkiksi globalisaatio, taloustilanne, digitalisaatio, ilmastonmuutos, Suomen kansainvälinen asema ja kilpailukyky sekä kansainväliset poliittiset suhteet. Nämä edellyttävät myös huoltovarmuudelta uusia tapoja varautua ja reagoida näihin muuttuneisiin uhkakuviin (Klemm 2019, 46–47).

Varautuminen näihin uhkiin ja muutostekijöihin vaatii toimijoilta myös uudenlaisia toimenpiteitä ja resursseja. Se vaatii ennakointia, aktiivisia ja joustavia toimia, nopeaa ja ajantasaista tiedonvälitystä sekä luottamusta ja avoimuutta eri toimijoiden kesken. Kansainvälistyminen antaa myös mahdollisuuden luoda kansainvälistä yhteistyötä uhkien ratkaisemiseksi. Tämä kansainvälisen yhteistyön merkitys on korostunut huoltovarmuuden kehittämisessä (Klemm 2019, 46). Euroopan hybridiuhkien torjunnan osaamiskeskus (Hybrid CoE) aloitti toimintansa syyskuussa vuonna 2017. Sen keskeisenä tavoitteena on lisätä tietoisuutta hybridiuhkista ja yhteiskuntien haavoittuvuuksista, joita voidaan hyödyntää hybridioperaatioissa. Lisäksi sen tehtävänä on vahvistaa osallistuvien valtioiden ja organisaatioiden turvallisuutta tarjoamalla asiantuntemusta ja koulutusta hybridiuhkien torjuntaan. Keskukseen voivat liittyä Euroopan unionin ja Naton jäsenvaltiot. Sen toimipaikka sijaitsee Helsingissä (Hybrid CoE, n.d.).

Tämä luku tarjoaa erilaisia uhkakuvia ja asioita, jotka vaarantavat energiasektorin toimintaa kuten turvallista sähköntuotantoa ja luotettavaa toimitusvarmuutta. Uhkia lähestytään kolmelta näkökannalta, jotka ovat hybridi-vaikuttamisen uhka, ilmaston aiheuttama uhka ja epidemian aiheuttama uhka. Näistä uhkakuvista on kerrottu pääpiirteittäin niiden ominaispiirteet ja vaikutukset energiasektoriin. Erilaisia uhkia kuvaillaan monipuolisesti ja tapauskohtaisesti, että saisimme käsityksen niiden kokonaisvaikutuksista niin sähköntuotantoon kuin sen siirtoonkin.

#### 4.1 Hybridivaikuttamisen aiheuttama uhka

Hybridivaikuttaminen tarkoittaa sitä, että valtiollinen tai muu toimijataho pyrkii vaikuttamaan suunnitelmallisesti ja eri keinoja käyttäen kohteeseen omien tavoitteidensa saavuttamiseksi tai niitä eteenpäin ajaviksi. Hybridivaikuttamisen eri keinovalikoima on laaja ja siihen voi kuulua poliittisia, taloudellisia ja sotilaallisia keinoja sekä informaatio- ja kybervaikuttamista. Vaikuttaminen on vahingollista ja sitä pyritään usein tekemään niin, että se on kiistettävissä. Toiminta voi pitää sisällään niin laittomia kuin laillisia keinoja. Vaikuttaminen voi olla satunnaista tai pitkäkestoista. Hybridiuhkissa ulkoinen ja sisäinen turvallisuus liittyvät voimakkaasti toisiinsa. Vaikuttaminen voi kohdistua johonkin valtioon suoraan tai välillisesti jonkun yhdistyksen tai liittouman kautta esimerkiksi länsimaiden tai EU:n yhtenäisyyteen tai EU:n sisäiseen päätöksentekoon ja sen toimintaan vaikuttamalla. Hybridivaikuttaminen voi kohdistua kaikkiin yhteiskunnan elintärkeisiin toimintoihin ja infrastruktuuriin. Hybridivaikuttamiselle tyypillistä on pyrkiä vaikuttamaan yhteiskunnan eri osiin vaivihkaa ja samanaikaisesti siten, että vaikuttamisen kohteena oleva maa tai yhteisö päätyisi tekemään omasta tahdostaan itselleen haitallisia, vaikuttajan päämääriä tukevia päätöksiä. Toiminnan yhtenä tavoitteena on heikentää yhteiskunnan päätöksentekokykyä ja sen toimivuutta (Sisäministeriö 2023, 25–26).

Yksi keskeinen vaikuttamisen työkalu on talous ja siihen liittyvät toimitusketjut ja riippuvuussuhteet. Ulkomaisten investointien kasvaessa, kiinteän omaisuuden ja yritysten omistajiksi voi tulla toimijoita, joiden intresseissä on toimia kansallista etua vastaan ajaen omaa agendaansa. Omaisuuden hallinnan kautta avautuu mahdollisuus käyttää sitä hyväksi yhteiskunnan elintärkeitä toimintoja vastaan. Lisäksi hybridivaikuttamisessa voi esiintyä myös fyysisiä vaikuttamiskeinoja kuten sabotaaseja tai iskuja kriittistä infrastruktuuria kohtaan. Fyysisillä vaikuttamiskeinoilla tapahtuvalla vaikuttamisella tavoitellaan usein myös psykologista vaikutusta kansaan tai sen osaan. Hybridivaikuttamiselle on ominaista, että sen selvittäminen ja tekijöiden kiinni saaminen on vaikeaa. Siinä yhdistellään laillisia ja laittomia keinoja, jotka kohdistuvat eri viranomaisten vastuualueille ja teko voidaan kokea vahinkona, jolloin sen olemassaoloa ei tunnisteta (Sisäministeriö 2023, 27).

Maailman poliittinen tilanne on aiheuttanut epävarmuutta ympäri maailman. Valtataistelua käydään ehkä kiivaimmin kuin koskaan aikaisemmin. Suomi ei voi välttyä geopolittisen asemansa vuoksi tästä valtataistelusta. Suomi on jo kohdannut hybridivaikuttamista ja varmasti tulee vielä sitä tulevaisuudessa kohtaamaan. Erityisen aktiivista vaikuttaminen on ollut viime aikoina Itämerellä. Siellä eri maiden alla seilanneet rahtilaivat ovat aiheuttaneet vakavaa sabotaasia rikkoen useita datakaapeleita, EstLink 2 tasasähköyhteyden ja Baltconnector-kaasuputken lyhyen ajan sisällä (YLE, 2024e). Nämä toimet olisivat voineet vaikuttaa suuresti myös Suomen sähköjärjestelmään, mutta onneksi tältä vältyttiin varautumisen ja hyvien olosuhteiden ansiosta.

EstLink 2 katkeaminen ei vaikuttanut suuresti Suomen sähköjärjestelmään. Syitä tähän olivat lähinnä lauha ja tuulinen sää sekä teollisuuden vähäinen sähköntarve joulun lomakauden vuoksi. Juuri ennen häiriötä EstLink 2 kaapeli kuljetti sähköä Suomesta Viroon 658 MW teholla (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2024). Voidaankin todeta, että kaapelin katkaisulla oli suurempi vaikutus Viron sähköjärjestelmään. Viron sähköverkon kantaverkkoyhtiö Elering kertoo, että EstLink 2 -vika ei silti estä Baltian maiden suunniteltua irtautumista Venäjän sähköverkosta ja liittymistä Manner-Euroopan synkronointialueeseen. EstLink 2:n vika saattaa vaikuttaa sähkön hintoihin Virossa ja muiden Baltian maiden pörssissä, jos uusiutuvan energian tuotanto on matalalla tasolla olosuhteiden takia (Elering, 2024).

## 4.2 Ilmaston aiheuttama uhka

Sisäministeriön Kansallisessa riskiarviossa (2023) kerrotaan, että ilmastonmuutos vaikuttaa kolmella eri tavalla yhteiskuntaan ja sen elintärkeisiin toimintoihin. Sään ääri-ilmiöt lisääntyvät ja muuttavat muotoaan ilmastonmuutoksen myötä. Lisäksi ilmastonmuutos synnyttää uusia riskejä Suomen ekosysteemeille, ihmisten terveydelle ja hyvinvoinnille sekä elinkeinoille ja kriittiselle infrastruktuurille. Ilmastonmuutos kiihdyttää luontokatoa

ja luontokato vastaavasti voimistaa ilmastonmuutosta. Toinen asia on, että ilmastonmuutos lisää Suomessa sellaisten riskien todennäköisyyttä, jotka heijastuvat maailmalta rajat ylittävien vaikutusten kautta. Kolmanneksi ilmastonmuutoksen hillintäpolitiikkaan liittyvät riskit, niin sanotut siirtymä riskit, ovat nousseet entistä merkittävämpään asemaan viime aikoina (Sisäministeriö 2023, 28).

Suomessa pääosa säähän liittyvistä häiriötilanteista ovat tähän asti olleet alueellisia. Yleisimpiä sään ääri-ilmiöitä ovat erilaiset myrskyt ja rajuilmat sekä sateet ja tulvat. Lisäksi pitkäkestoiset hellejaksot ja niiden aiheuttama kuivuus voivat aiheuttaa vakavia uhkia muun muassa metsäpalojen muodossa. Pitkäjaksoinen kuivuus heikentää myös vesivoiman tuotantomäärää Suomessa ja muualla Pohjoismaissa. Tällä on vaikutusta säätövoiman määrään. Nämä aiheuttavat merkittäviä alueellisia häiriötilanteita ja niillä on suuria taloudellisia vaikutuksia. Ilmastonmuutos vaikuttaa näihin riskeihin muuttamalla sään ääri-ilmiöiden voimakkuutta, esiintymistiheyttä ja tyypillistä esiintymisajankohtaa, jolloin niihin liittyvät yhteiskunnalliset riskit muuttuvat (Sisäministeriö 2023, 28).

Ilmastonmuutos aiheuttaa myös riskejä, jotka heijastuvat Suomeen maan rajojen ulkopuolelta. Ilmastonmuutos lisää muuttoliikennettä tulevana vuosikymmeninä. Syinä tähän voivat olla äkillinen katastrofi tai myös hitaammin etenevä elinolosuhteiden heikkeneminen, joka voi heijastua alueen poliittiseen vakauteen ja näin ollen aiheuttaen väestön liikehdintää. Lisäksi ilmastopolitiikalla ajetaan siirtymää kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Siirtymävaikutukset voivat liittyä esimerkiksi energiamurrokseen vaadittujen raaka-ainesten turvaamiseen tai fossiilisesta tuotannosta luopumisesta seuraaviin geopolittisiin muutoksiin sekä energiapolitiittisiin kysymyksiin ja sen käyttöön vallan välineenä (Sisäministeriö 2023, 29–30).

Ilmastonmuutos on lisännyt säiden eri ääri-ilmiöitä. Sään ääri-ilmiöiden uhka koskettaa erityisesti sähköverkkoa. Historiassa on uutisoitu monista isoista myrskytuhoista ja laajoista sähkökatkoksista. Vuonna 2010 oli neljä perättäistä rajuilmaa viikon sisällä, jotka

tuhosivat kymmeniä tuhansia kilometrejä sähkölinjoja. Asta-myrsky oli niistä ensimmäinen, joka runnoi Suomea tavalla, joka muutti viranomaisten sekä sähkö- ja teleyritysten tapaa varautua poikkeusoloihin. Silloin ennätysellisen pitkät helteet päättyivät rajuilmaan, joka yllätti Suomen rajuudellaan ja laajuudellaan. Enimmillään ilman sähköä oli lähes puoli miljoonaa suomalaistaloutta ja pisimmät sähkökatkot kestivät kuusi viikkoa (YLE, 2020).

Vuoden 2011 tapaninpäivän myrsky paljasti suomalaisten sähköverkkojen loput haavoittuvaisuudet. Tämän seurauksena sähkömarkkinalakia muutettiin. Tavoitteeksi asetettiin sellainen lainsäädäntö, joka varmistaisi säävarmojen sähköverkkojen syntymisen ja kehittymisen Suomeen. Sähkömarkkinalain tavoitetasot edistivät verkon säävarmuutta, kun ilmajohtoja alettiin korvaamaan maakaapeleilla. Lisäksi ilmajohtoja siirrettiin metsistä maanteiden varsille, jossa niitä oli helpompi huoltaa. Säävarmuutta lisätään myös modernilla verkostoautomaatiolla ja sähköjakeluverkkoihin rajoittuvien metsäalueiden tehostetuilla hoitotoimilla ja ennakkoraivaustöillä. Investointityön taustalla vaikuttavat sähköverkkoyhtiöille asetetut lainsäädännölliset velvoitteet sähkömarkkinalaissa kehittää sähköverkkoja (Energiautiset, 2020).

Säävarman sähköverkon investoinnit ovat näkyneet vähentyneissä myrskytuhojen katkoissa ja sähköjen keskeytyksissä. Energiateollisuus ry:n keskeytystilaston mukaan alueellisia eroja on paljon eri jakelualueiden kesken, riippuen ilma- ja maakaapeleiden välisestä suhteesta sekä ympäristöolosuhteista, joissa sähkölinjat kulkevat. Tilastoissa huomataan, että noin 60 prosenttia sähkökatkoista johtui myrskyjen sekä lumen ja jääkuorman aiheuttamista vioista. Lisäksi suunniteltujen työkeskeytysten osuus oli merkittävä. Suunnitellut keskeytykset johtuvat pääosin sähköverkon laajoista uudistustöistä, kun uusia verkkoja kytetään osaksi jakeluverkkoa. Valtaosa katkoista hoidettiin verkostoautomaation avulla, jolloin asiakkaan kokema keskeytys jäi sekuntitasolle (Energiateollisuus, 2020).

Vaikka myrskytuhot ovat vähentäneetkin vikoja sähköverkossa ei niitä voida sulkea täysin pois. Koko sähköverkon tai edes koko jakeluverkon maakaapelointi olisi taloudellisesti todella suuri investointi, joten se ei ole todennäköistä tai ainakaan se ei tapahdu hetkessä. Lisäksi mitä korkeammille jännitetasoille mennään, niin sitä kalliimpaa maakaapelointi on. Yleensä myrskytuhot vaikuttavat jakeluverkkoon. Kantaverkko ja suurjännitteinen jakeluverkko säilyy vähemmällä keskeytyksillä, sillä myrskyn aiheuttamat vikatilanteet ovat niihin harvinaisia. Yksi syy tähän on korkeat pylvää ja leveät johtoaukot. Vuonna 2024 uutisoitiin, että kaksi 400 kV kantaverkon pylvästä oli kaatunut Eurajoen seudulla myrskyn seurauksena (YLE, 2024a).

### 4.3 Epidemian aiheuttama uhka

Maailman terveysjärjestö WHO:n terveysturvallisuusstrategian lähtökohta on, että myös tuntemattomien tai uudelleen ilmenevien taudinaiheuttajien pandemiauhkaan tulee varautua. Pandemiolla tarkoitetaan nopeasti ympäri maailman leviävää epidemiaa. Influenssapandemiat ovat puhjenneet noin 10–40 vuoden välein. Viimeisin näistä pandemiosta on uuden koronaviruksen (SARS-CoV-2) aiheuttama pandemia. Pandemian aikana vakavia tautimuotoja saavat myös täysin terveet nuoret ja aikuiset, eivät vain sairauden tai iän vuoksi riskiryhmiin kuuluvat. Jatkuva seuranta, ennaltaehkäisy ja varautuminen terveysuhkiin on välttämätöntä eri pandemiauhkiin varautumisessa (Sisäministeriö 2023, 70).

Pandemiat ovat yhteiskunnan kannalta merkittävä riski. Niissä suuri joukko ihmisiä sairastuu ja osa saattaa myös menehtyä. Tämän lisäksi yhteiskuntaan ja sen toimintavarmuuteen kohdistuu merkittäviä taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia. Pandemia voi vaikuttaa myös turvallisuuteen ja yhteiskunnan vakauteen. Väestössä ei ole vastustuskykyä uutta virusta vastaan ja pandemian puhjetessa ennaltaehkäisevää rokotetta ei ole, joten tartunta leviää helposti henkilöstä toiseen. Pandemia kuormittaa merkittävästi sosiaali- ja terveydenhuoltoa. Ihmisten laaja sairastuminen sekä laajat karanteenit ja mahdolliset maahantulorajoitukset vaikuttavat kuitenkin kaikkiin yhteiskunnan toimialasektoreihin

ja niiden toimintavarmuuteen, ei vain terveydenhuoltojärjestelmään ja sen toimivuuteen. Pandemia haastaa ihmisten kriisinkestävyttä ja mahdollisessa pitkäkestoisuudessaan aiheuttaa sekä psyykkisiä että sosiaalisia ongelmia. Pandemian yhteiskunnalliset, tuotannolliset ja taloudelliset vaikutukset ovat merkittävät. Henkilöstön sairastuminen ja henkilöstövajaus lisäävät työssä olevien kuormaa ja häiriöriskiä (Sisäministeriö 2023, 71–72).

## 5 Energiasektorin huoltovarmuuden systemaattinen analyysi

Tässä luvussa tarkastellaan Suomen energiatuotannon huoltovarmuutta ja sen siirtoverkon toimitusvarmuutta systemaattisen analyysin menetelmän avulla. Systemaattinen analyysi on tutkimusmenetelmä, joka keskittyy tietyn ilmiön, ongelman tai datan systemaattiseen ja järjestelmälliseen tarkasteluun. Systemaattisen analyysin tavoitteena on tarkastella ja tulkita valitusta tekstiaineistosta oleellisemmat käsitteet ja aihekokonaisuudet, joiden avulla muodostetaan pääkohdat tutkimuskohteen sisällöstä ja kokonaisuudesta. Pyrkimyksenä on selvittää tutkivaan asiaan vaikuttavat perustekijät ja niiden keskinäinen vuorovaikutus sekä ymmärtää tutkimuskohteen kokonaisuus paremmin. Laadullista tekstiaineistoa analysoitaessa kiinnitetään huomiota siihen, mitä testissä tuodaan esille, miten ajatuksia perustellaan ja mitä aspektia jätetään huomioimatta (Törmänen & Paasivaara 2009, 16).

Tarkastelun kohteeksi valikoituu nimenomaan erilaiset poikkeusolot, kriisit ja uhkakuvat sekä niistä selviytyminen. Mitkä asiat vaikuttavat mihinkin ja kuinka toimiva kokonaisuus syntyy sähköntuotannon huoltovarmuuden ja sähkönsiirtoverkon toimitusvarmuuden kannalta? Lisäksi tutkimuskysymyksiin etsitään perustellut vastaukset ja esitellään niitä puoltavat argumentit.

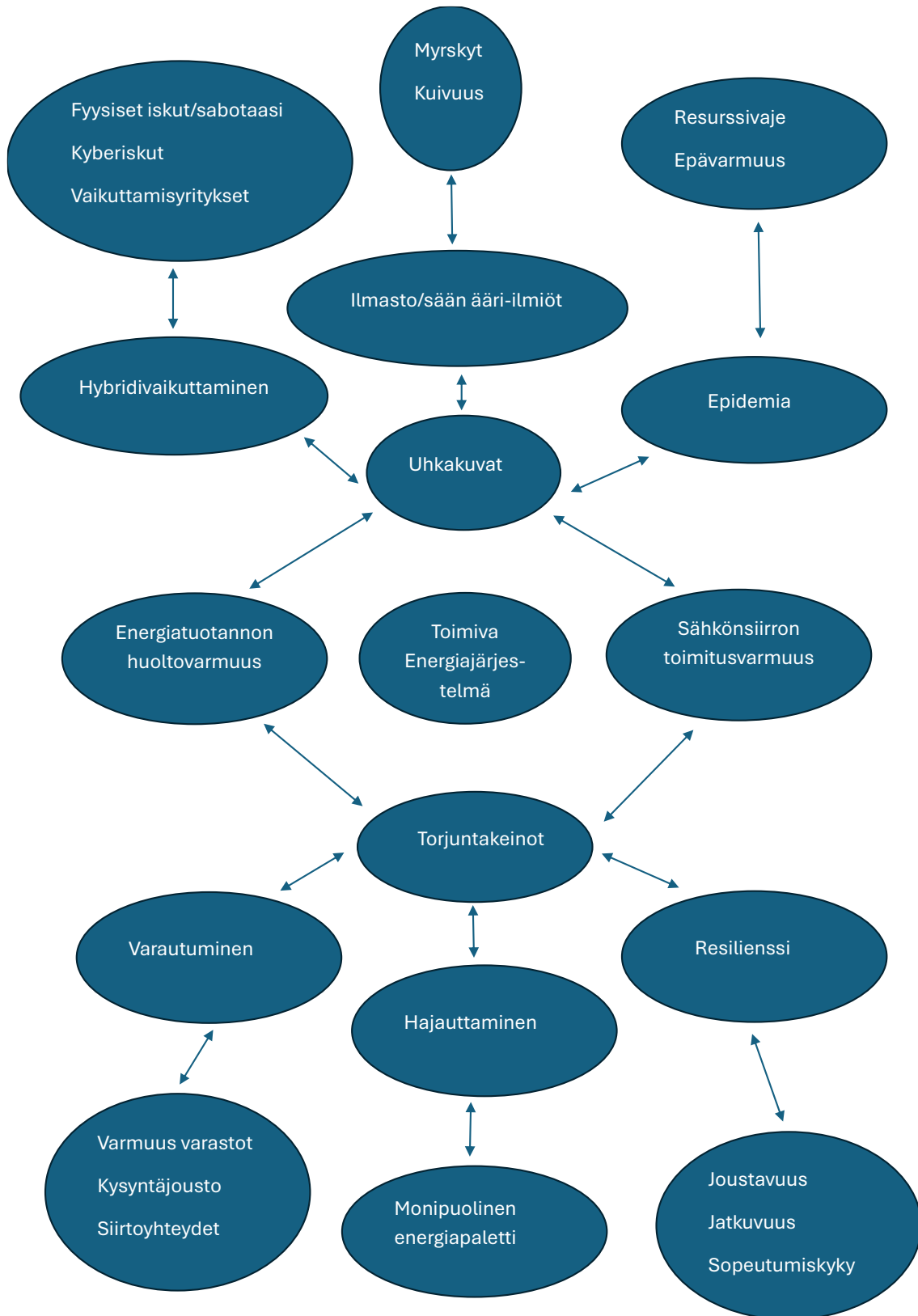
### 5.1 Sähköntuotannon huoltovarmuus erilaisissa uhissa

Sähköntuotanto saattaa keskeytyä tai häiriintyä monista syistä. Energijärjestelmän häiriöiden uhkataso on muuttunut ja laajentunut erityisesti Venäjän aloittaman hyökkäyssodan vuoksi. Energiainfrastruktuuriin kohdistuva hybridi- ja kyberoperaatioiden uhkataso on kasvanut. Vaikutukset energialähteiden raaka-aineiden saatavuuteen ovat nostaneet energian hintaa. Lisäksi geopoliittinen tilanne, kysynnän kasvu ja ilmastotavoitteet vaikuttavat energiatuotteiden hintoihin. Korkea energian hinta voi aiheuttaa sosiaalisia ongelmia ja levottomuutta kansan keskuudessa. Muita mahdollisia uhkia ovat sähköntuotannossa laajat tekniset tai ihmisen aiheuttamat häiriöt. Häiriöitä voi olla myös

voimalaitosten polttoaineiden saatavuudessa ja toimitusketjuissa. Näiden lisäksi myös sähköntuotannon käytösäännöt sekä energia- ja ilmastopolitiikan investointisuuntaukset voivat vaikuttaa olemassa olevien voimaloiden sulkemiseen (Sisäministeriö 2023, 53–54).

Suomen huoltovarmuuden on varauduttava moniin erilaisiin uhkiin ja niiden yhdistelmiin. Monet eri toimijat varmistavat yhteistyössä julkisen, yksityisen ja kolmannen sektorin kanssa toimivaa huoltovarmuuskokonaisuutta. Uusien hybridiuhkien myötä Suomi on keskeinen jäsen Euroopan hybridiuhkien torjunnan osaamiskeskuksessa. Suomella on runsaasti vahvuuksia hyvään huoltovarmuuskokonaisuuteen energiasektorilla. Niitä ovat esimerkiksi runsaat luonnonvarat, monipuolinen energiatuotanto ja varmuusvarastot. Lisäksi teknologiankehitys ja korkeakoulutusaste antaa pohjaa ammattitaitoiselle henkilökunnalle niin energiasektoriin kuin siitä päättäviin elimiin.

Alla olevassa kuvassa (kuva 9) on esitetty Suomen energiajärjestelmää kohden kohdentuvia uhkia ajatuskarttakaavion avulla. Vastaavasti ajatuskartan alalaidassa on koottu uhkien torjuntakeinoja. Näiden torjuntakeinojen tavoitteena on olla niin vahvoja, että mitkään uhat eivät saa kaadettua toimivaa ja luotettavaa energiajärjestelmää. Jos useat uhat kohdentuvat samanaikaisesti energiajärjestelmää kohtaan, niin energiajärjestelmällä on oltava myös keinoja torjua ja selviytyä tällaisista skenaarioista.



**Kuva 9.** Ajatuskartta toimivasta energijärjestelmästä kriisien keskellä.

### **5.1.1 Sähköntuotannon huoltovarmuuden oletukset**

Oletukset Suomen huoltovarmuudelle ja sen toimivuudelle ovat hyvät. Sen keskeisenä tekijänä voidaan pitää monipuolista energiatuotantoa, joka tarjoaa turvaa uhkien osuessa tiettyyn tuotantosektoriin. Suomi on käytännössä saavuttanut sähköomavaraisuuden olosuhteiden sen salliessa, joka tarkoittaa sitä, että tuotamme yhtä paljon sähköä kuin sitä kulutamme (YLE, 2025). Näin ollen emme ole enää niin riippuvaisia tuontienergiasta.

Keliolosuhteet ratkaisevat paljon tätä energiaomavaraisuutta, koska Suomessa tuulivoiman osuus on nykyään merkittävä. Säättövoiman merkitys korostuuakin kompensoitaessa ei tuulisia päiviä muilla tuotantomuodoilla. Näillä tuotantomuodoilla tarkoitetaan energialähteitä, jotka omistavat hyviä säättövoimaominaisuuksia tai energiavarastoja, jotka pystyvät vapauttamaan energiaa, kun sitä tarvitaan markkinoille. Suomessa vesivoimaa voidaan pitää vielä parhaana säättövoimana sen helppokäyttöisyyden ja hyvän varastointikykyänsä ansiosta (IHA, 2022).

Pandemian uhkakuvat osuvat pääsääntöisesti sähköntuotannon ja niiden valvomoiden ammattitaitoiseen henkilökuntaan ja resurssivajeeseen. Ilmastolliset uhat puolestaan kohdistuvat enemmän sähkön toimitusvarmuuteen eli sähkönsiirtoon. Pitkään jatkunut helle ja kuivuus vähentävät vesivoiman tuotantokapasiteettia ja myrskyt voivat aiheuttaa esimerkiksi tuulivoimaloille vaurioita, mutta pääsääntöisesti sähköverkko on alttiimpi myrskytuhoille kuin energiantuotantolaitokset.

### **5.1.2 Sähköntuotannon huoltovarmuuden analysointi**

Suomen sähköntuotannon huoltovarmuuden analyysissä keskityimme kolmeen poikkeusoloon ja niihin varautumiseen. Poikkeusolot ovat hybridi-aikeuttamisen, ilmaston aiheuttaman ja pandemian aiheuttamat uhkakuvat. Lisäksi analysoimme uhkien päällekkäisyyksiä. Tällä tarkoitetaan sitä, että on esimerkiksi kaksi uhkaa samanaikaisesti vallalla.

Hybridivaikuttaminen sähköntuotantoon on ollut olematonta ja sen todennäköisyys on pieni. Hajautettu energiatuotanto niin energialähteiden kuin laitosten sijainnin mukaan antaa turvaa ja varautumismahdollisuuksia. Tuulivoimantuotanto keskittyy länsirannikolle, vesivoima vastaavasti Pohjois-Suomeen ja erilaiset polttovoimalaitokset ovat hyvin hajautetusti ympäri Suomea. Hybridi-isku yhteen voimalaan ei aiheuta merkittävää tuhoa, koska sen tuotanto voidaan korvata helposti. Poikkeuksena tietysti ydinvoimalaitokset sen korkean tuotantokapasiteetin vuoksi sekä sen mahdolliset säteilyvaaran aiheuttamat altistukset ja muut vakavat sivuhaitat. Useammat yhtäaikaiset iskut eri voimaloihin ovat vaikeammin toteutettavissa ja niiden onnistumisen todennäköisyys pienenee. Tämän vuoksi useat ulkomaan siirtoyhteydet ovat tarpeellisia ja toimivien siirtoyhteyksien ja varavoimaloiden avulla voidaan turvata energian saanti suuremman uhan edessäkin.

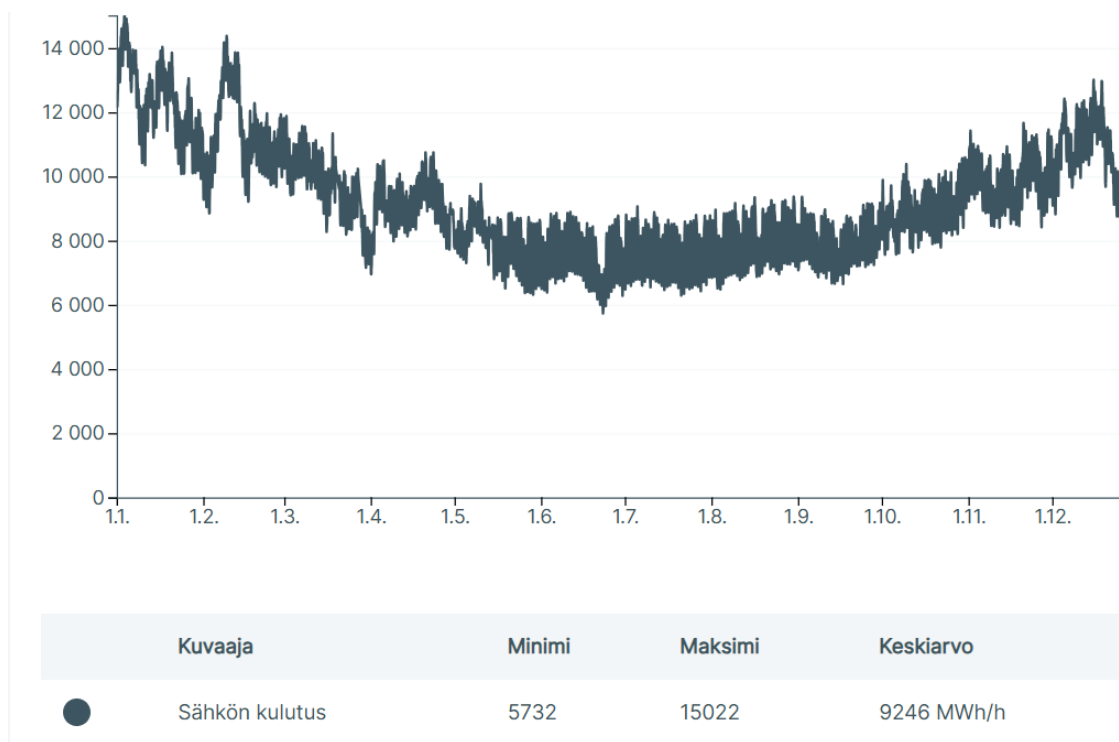
Suomen kulutushuippu tällä hetkellä on noin 15 000 MW luokkaa (YLE, 2024c) ja siirtoyhteyksillä tuotava maksimikapasiteetti on 3600 MW luokkaa (Fingrid, 2025). Se kattaa neljänneksen kulutushuipun kulutuksesta. Ydinvoiman tuotantokapasiteetti on vastaavasti 4394 MW (Fingrid, n.d.g), joka vastaa melkein kolmasosaa kulutuksesta. Tuulivoiman maksimikapasiteetti on puolestaan jo 8358 MW tasolla. Tämä Suomen kulutushuippu ajoittuu useimmiten keskitalven kylmiin pakkasjaksoihin. Kylmillä pakkasjaksoilla tuulisuus on vähäistä, joten Suomen runsas tuulivoimakapasiteetti tuottaa sähköä tällöin keskiarvoa vähemmän. Tuulivoiman tuotantokapasiteetin keskiarvo vuonna 2024 oli 2184 MW (Fingrid, n.d.f). Suomen koko vesivoimakapasiteetti on noin 3 190 MW (Motiva, 2025). Siirtoyhteyksien, ydin- ja vesivoiman yhteenlaskettu kokonaiskapasiteetti olisi 11 184 MW luokkaa. Jos oletetaan, että tuulivoima ei tuota mitään, niin kulutushuipusta jäädään vielä noin 4000 MW verran. Suomessa on lisäksi lukuisia polttovoimalaitoksia, jotka polttavat niin biomassaa, turvetta kuin kivihiihtäkin niin yhteis- kuin erillistuotantona.

Lisäksi sähkömarkkina ohjailee kulutusta sähkön hinnan avulla. Kulutusjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön muuttamista hinnan ohjaamana. Tämän on tarkoitus johtaa kulutuksen siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta edullisempaan käyttöajankohtaan. Tällainen tilanne usein syntyy, kun tuotanto ei pysty vastaamaan riittävän tehokkaasti kulutuksen tarpeisiin. Kuluttaja voi hyötyä myös kulutusjoustostaan käyttämällä sähköä edullisina ajankohtina. Lisäksi kuluttaja voi myydä tuottamaansa sähköä sähkömarkkinoille, kuten kantaverkkoyhtiön ylläpitämille reservimarkkinoille sähkön hinnan ollessa korkea. Kulutusjoustoja tarvitaan lisää, kun joustamattoman ja sääriippuvaisen tuotannon osuus Suomen sähköntuotannosta kasvaa. Sähkön kulutuksen ja tuotannon määrä on pysyttävä joka hetki tasapainossa. Kulutusjousto on tärkeässä roolissa tämän tasapainon ylläpitämisessä kustannustehokkaasti. Kulutusjoustoja on aikaisemmin kutsuttu yleisesti kysyntäjoustoksi (Fingrid, n.d.c).

Ilmaston aiheuttamat uhat sähköntuotannolle ovat rajuilmat ja kuivuus. Kuivuus näkyy nimenomaan vesivoiman tuotantokapasiteetissä. Suomessa vesivoiman osuus on merkittävä ja Norjassa sekä Ruotsissa sen osuus on vielä huomattavasti suurempi. Näin ollen sillä on vaikutusta myös sähkön tuontimääriin ja hintaan. Tämä niukka vesitilanne korostuu kesäisin ja tätä voidaan kompensoida lisääntyneellä aurinkovoimalla, koska pitkillä hellejaksoilla aurinkovoima tuottaa hyvin sähköä markkinoille. Lisäksi Suomessa energian kulutus on kesällä paljon vähäisempi kuin talvella, johtuen lämmitystarpeesta. Sähkön kulutus tippuu noin kolmanneksen kesäkaudella. Tämän voi hahmottaa kuvasta 10.

Rajuilmat ja myrskyt vaikuttavat sähköntuotannossa eniten tuulivoimaan, koska lapojen ja tornien kestävyys ovat koetuksella. Yleensä tuulivoimalat pysäytetään, kun tuulennopeus nousee pidemmäksi aikaa 25–30 m/s-tasolle, jolloin tuuli ylittää voimaloiden kestokyky- ja turvallisuusvaatimukset (Motiva, 2024c). Muuten sähköntuotantolaitokset ovat rakennettu turvallisiksi ja niissä on huomioitu rakennusteknisesti varautuminen erilaisiin rajuilmoihiin ja poikkeusoloihin. Suomessa rakentamista valvotaan ja rakentamislaissa määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaati-

mukset sekä rakentamisen lupamenettely. Voidaankin havaita, että ilmasto vaikuttaa eniten tarvittavan sähkön määrään eli kulutukseen ja uusiutuvien energialähteiden toimivuuteen.



**Kuva 10.** Suomen sähkön kulutus vuonna 2024 (Fingrid, 2024).

Edellä olevista kappaleista voidaan havaita, että Suomen kulutushuippu ajoittuu talveen ja se kestää muutamista päivistä muutamiin viikkoihin. Tämän voi lisäksi nähdä kuvasta 10. Kulutushuippujen ajankohta on kriittisin aika sähkön tuotannolle, jos voimalaitosvi-koja, sabotaasia, kyberiskuja tai muita uhkia kohdistetaan energijärjestelmään, koska sähkön tuotantokapasiteetti on jo ylärajalla. Voidaan todeta, että kulutushuipun ajan-kohta määräytyy Suomessa ilmaston luoman kylmyyden mukaisesti. Leutojen talvien myötä sähkönkulutus olisi vähäisempi, joten kulutushuippu myös näin ollen tippuisi. Li-säksi ilmasto vaikuttaa myös uusiutuvan energian tuotantomääriin samanaikaisesti. Esi-merkiksi talvella aurinkoenergian saanti on vähäistä.

Pandemian uhka liittyy energiasektoria tarkasteltaessa pitkälti henkilöstöresursseihin. Laitosten ja valvomoiden osaava työntekijämäärä voi pienentyä merkittävästi, joten voimalaitoksia saatetaan sulkea tai pienentää niiden toimintaa. Onneksi pandemioihin on myös varauduttu ja työpaikoilla on tehty määräyksiä ja ohjeita, kuinka työntekijöiden turvallisuudesta huolehditaan. Työntekijöitä pidetään erillään toisistaan ja turvataan riittävä suojarustus sekä hyvä käsihygienian taso. Osaavia työntekijöitä ei saada nopealla aikataululla tilalle tai vuokratyöntekijöitä ei voi päästää esimerkiksi ydinvoimaloihin tiukan turvallisuusvalvonnan takia. Onneksi nykyään on automatisoituja järjestelmiä, jotka helpottavat henkilöresursseja. Tosin automatisoidut järjestelmät tarkoittavat verkon kautta ohjattuja ohjelmia tai sovelluksia, jotka ovat kyberiskujen kohteena tai ainakin niiden houkutukselle alttiita. Tämä älykäs energijärjestelmä antaa paljon mahdollisuuksia, mutta on samalla haavoittuvainen moderneineen ohjelmineen.

### **5.1.3 Sähköntuotannon huoltovarmuuden tulevaisuus ja kehittäminen**

Sähköntuotannon tulevaisuuden suuntaviivat ovat monin tavoin kytköksissä kestävään kehitykseen, teknologian kehitykseen ja ilmastonmuutoksen torjuntaan. Dekarbonisaatio ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen johtaa niin sähköntuotannossa kuin liikenteessäkin fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseen ja päästöjen kompensoimiseen. Liikenteen sähköistyminen tulee olemaan räjähdysmäistä niin henkilö- kuin raskaanliikenteenkin osalta lähitulevaisuudessa (Teknologiateollisuus, 2025). Tämä johtaa siihen, että sähkön tarve tulee lisääntymään huomattavasti tulevaisuudessa. Lisäksi sähkön tärkeys korostuu yhä enemmän useammalla sektorilla kuin aikaisemmin.

Uusiutuvien energialähteiden, kuten aurinko- ja tuulivoiman, osuus kasvaa jatkuvasti. Näiden energiamuotojen kustannukset ovat laskeneet merkittävästi, ja niiden kapasiteetti kasvaa. Aurinkopaneelit ja tuuliturbiinit ovat jo tärkeitä sähköntuotannon lähteitä, ja niiden osuus tulee edelleen nousemaan. Tulevaisuudessa näiden vaihteleva tuotanto olisi saatava tasapainotettua energian varastointiteknologioiden avulla. Nämä erilaiset

varastointitekniikat kuten akkuteknologia, vety, lämpövarastot tai pumppuvoimalaitokset voivat varastoida ylijäämäenergiaa ja käyttää sitä silloin, kun uusiutuvan energian tuotanto on vähäistä. Nämä tulevatkin olemaan keskeisessä roolissa tulevaisuuden sähköjärjestelmässä ja sen huoltovarmuudessa.

Pienet ja hajautetut voimalaitokset tulevat tulevaisuudessa varmasti enemmän esille, koska näin sähköä voidaan tuottaa paikallisesti ja lähellä kulutusta. Tämä tarkoittaa sitä, että kuluttajat voivat tuottaa osan omasta energiatarpeestaan esimerkiksi aurinkopaneelien avulla. Lisäksi pienydinvoimalat kuten pienet modulaariset reaktorit (SMR) voivat toimia sähköverkon vakauttajana paikallisesti lähellä kulutusta. Niiden etuna voidaan pitää nopeaa ja tehokasta valmistusta sekä pienempää investoinnin tarvetta isoihin voimaloihin verrattuna. Lisäksi ne soveltuvat hyvin yhteistuotannon piiriin, joissa sekä sähkö- että prosessilämmöntuotanto voidaan integroida muihin teollisiin sovelluksiin (Ingersoll, D 2015, 17–18). Tämä voimaloiden oikein sijoittaminen keventää myös sähkönsiirtoverkon kuormitusta.

Tulevaisuuden sähköntuotanto tulee siis olemaan monipuolinen ja joustava kokonaisuus, joka yhdistää uusiutuvat energialähteet, älykkäät verkot ja uusia teknologioita kestävä ja luotettavan energian saannin takaamiseksi. Ennen kaikkea on kiinnitettävä huomiota monipuolisiin energialähteisiin ja niiden toimitusketjuihin sekä varmuusvarastoihin. Energiantuotanto tulee pitää yhtä hajautettuna kuin se tällä hetkellä onkin. Toiset tuotantomuodot tukevat toisiaan niiden ollessa uhattuna tai vikaantuneina. Tällä edistetään tasapainoa ja pienennetään riskiä. Uudet teknologiat ja tuotantomuodot parantavat tehokkuutta kuin ilmastoakin ja niiden eteen tehtävä kehitystyö on palkitsevaa. Kaikkea vanhaa ei kuitenkaan kannata heittää roskakoriin vaan jättää varavoimaksi pahan päivän varalle. Esimerkkinä mainittakoon turvetuotanto ja sen käyttö voimaloiden polttoaineena. Se on suomalaisin huoltovarmuus aspekti mitä on, joten sen osaamisketjut kannattaa pitää hallinnassa ja toiminnassa.

## 5.2 Sähkönsiirron toimitusvarmuus erilaisissa uhissa

Sähkön toimitusvarmuuksia on yleensä vaivannut myrskyjen tai muiden keliolosuhteiden luomat haasteet ja uhat. Useat myrskyt tai tykkylumen kaatamat puut vaurioittavat sähkölinjoja alueellisesti. Laajemmat ja rajummat myrskyt ovat harvinaisempia, mutta täysin mahdollisia ja historiassa tällaisia rajuilmoja on ollut useampi. Ilmaston muutoksen myötä on ennustettu, että sään ääri-ilmiöt tulevat lisääntymään. Nämä rajuilmat aiheuttavat merkittävää tuhoa sähkön toimitusvarmuudelle. Tätä toimitusvarmuutta on tullut haastamaan muunlaisetkin uhat kuin ilmaston aiheuttamat.

Hybridivaikuttaminen on tullut nykyään luomaan uusia haasteita sähkön siirrolle ja toimitusvarmuudelle. Merkittävä riski kohdistuu varsinkin ulkomaan siirtoyhteyksiin. Näistä uhkista olemme saaneet jo merkkejä ja viitteitä kuten esimerkiksi EstLink 2 kaapelirikko. Sabotaasit ulkomaan siirtoyhteyksiin ovat vakavia, koska sähkömarkkina-alueet ovat laajoja koko Euroopan kattavia ja sähköä liikkuu valtioiden välillä runsaasti. Nämä siirtoyhteydet usein ehjänäkin rajoittavat halvan sähkön siirtoa muihin maihin muodostaen pullonkauloja. Nämä pullonkaulat luovat painetta sähköjärjestelmän toimivuudelle ja kestävyydelle sekä aiheuttavat sosiaalista levottomuutta hintojen nousun myötä.

### 5.2.1 Sähkönsiirron toimitusvarmuuden oletukset

Suomessa sähkönsiirtoverkolla on monopoliasema, koska rinnakkaisia verkkoja ei ole teknistaloudellisesti järkevä rakentaa. Vaikka Suomessa on vain yksi verkko, niin verkko-yhtiöitä on useita. Tämä johtuu siitä, että Suomen sähköverkko on niin laaja, että se on jaettu eri yhtiöiden kesken. Vaikka verkkoja on vain yksi niin rengasyhteydet ja silmukat varmistavat sähkönsyötön toisesta suuntaa vian estäessä normaalin syöttösuunnan. Tämä antaa mahdollisuuksia verkon toimitusvarmuudelle myös sen vikaannuttua.

Jakeluverkkojen laaja maakaapelointi on vähentänyt myrskytuhojen vaikutuksia. Koko verkon maakaapelointi on todella suuri investointi, joten sitä ei lähitulevaisuudessa olla

tekemässä. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmalinjoja jää jäljelle, joka tapauksessa. Lisäksi jäljelle jäävät ilmajohtodot sijaitsevat yleensä metsäisillä ja maastoltaan vaikeilla osuuksilla, joten myrskytuhot niihin ovat varsin yleisiä.

### **5.2.2 Sähkösiirron toimitusvarmuuden analysointi**

Sähkösiirron toimitusvarmuus on parantunut paljon sähkömarkkinalain tavoitetasojen myötä. Tavoitetasot tarkoittavat, ettei esimerkiksi myrsky tai lumikuorma aiheuta asemakaava-alueella yli 6 tunnin sähkökatkoa ja muulla alueella yli 36 tunnin sähkökatkoa. Tämän myötä verkkoyhtiöiden on pitänyt investoida suuria summia säävarman sähköverkon rakentamiseen. Käytännössä tämä säävarmaverkko tarkoittaa, että ilmakaapeleita korvataan maakaapeleilla. Näin tekemällä sähköverkko on suojassa rajuilmoilta ja muilta sään ääri-ilmiöiltä (Energiateollisuus, n.d.a).

Toimitusvarmuusvaatimusten toteuttamiseen liittyvien investointien peruserä on yksinkertainen. Tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman suuri määrä asiakkaita toimitusvarmuuden piiriin käytettyä investointieuroa kohden. Käytännössä tämä on merkinnyt sitä, että investoinnit on alkuvaiheessa kohdistettu ensisijaisesti taajama-alueille, jossa asiakasmäärät ovat suurempia. Kaupungeissa ja taajamissa myös rakennusteknisistä syistä sijoitetaan sähkökaapelit maahan. Taajamien ulkopuolella toimitusvarman sähköverkon toteuttaminen voidaan tehdä useilla eri tavoilla, jotka valitaan aluekohtaisten olosuhteiden, kuten maaston, maaperän ja verkon kuormituksen perusteella. Haja-asutusalueilla keskeisiä verkonrakentamisen toimintamalleja ovat keskijänniteverkon (kj) kaapelointi, jolloin muuntopiirien syöttö on turvattu. Tällä pyritään minimoimaan sähköttömiä asiakkaiden määrää. Ilmajohtoja siirretään myös tienvarsiin, mikä parantaa myrskynkestävyyttä ja helpottaa vikojen korjausta. Myös ylileveitä johtokatuja käytetään kj-ilmajohtoverkossa myrskyvarmuuden lisäämiseksi. Lisäksi verkostoautomaatiolla, kuten kauko-ohjattavilla erottimilla ja maastokatkaisijoilla, voidaan nopeuttaa vikatilanteiden hallintaa ja rajata vika-alueita tehokkaammin, vaikka se ei vähennä vikojen määrää

sinänsä. Lisäksi helppojen maasto-olosuhteiden myötä laajat kaapeloinnit myös pienjänniteverkossa (pj) ovat mahdollisia toteuttaa haja-asutusalueella, koska investointikustannukset pysyvät maltillisina (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2018). Verkkoyhtiöt ovat tässä yhteydessä optimoineet investointejaan maakaapeloimalla ensin helposti toteutettavia osuuksia, kuten peltoalueita, joissa kustannukset ovat matalammat. Tämä herättää kuitenkin kysymyksen siitä, missä määrin toimitusvarmuus on aidosti parantunut niillä alueilla, joilla vikoja esiintyy useimmin – erityisesti metsäisillä tai vaikeakulkuisilla alueilla, joilla myrskyt aiheuttavat merkittävimpiä vahinkoja, toisin kuin avoimilla peltoalueilla, joissa häiriöt ovat harvinaisempia.

Myrskytuhot ja muut sään eri ääri-ilmiöt vaikuttavat eniten juuri tähän jakeluverkon toimitusvarmuuteen. Kantaverkko ja suurjännitteinen jakeluverkko ovat rakennettu järeimmillä ja korkeammilla pylväillä. Lisäksi niissä on leveämmät johtoaukot, joten ne ovat paremmin suojassa sääilmiöitä ja kestävätkin niiden aiheuttamaa räsitusta. Kantaverkko koostuu pääosin suurista, pitkistä linjoista kun vastaavasti jakeluverkossa on runsaasti haarautuvia linjoja. Nämä haarat lisäävät mahdollisuuksia, että jokin osa verkosta voi vaurioitua tai aiheuttaa ongelmia. Kantaverkko sähköverkon selkärankana ei kärsi samanlaista vikaherkkyttä kuin jakeluverkko, koska sähkönsiirto määrät ovat niin paljon suurempia.

Kuvassa 7 voidaan havaita, että Suomen kantaverkko ja sen linjat painottuvat Suomen länsiosiin. Sähkönsiirto on Etelä-Suomessa suurinta, joten sähköä pitää kuljettaa pohjoisesta etelään, joten siirtoverkko on kovilla tässä prosessissa. Pohjoisesta tulee neljä 400 kilovoltin pääsiirtolinjaa etelään. Ne ovat rannikko-, joki-, metsä- ja järvininja. Uudehko, vuonna 2022 valmistunut, metsälinja vahvistaa Suomen sisäistä sähköverkkoa merkittävästi. Siirtokapasiteetin vahvistaminen pohjoisen ja etelän välillä edesauttaa samalla Suomen pitämistä yhtenä sähkönsiirtoalueena ja estämästä pullonkaulatilanteiden syntymistä Suomen sisäisissä siirroissa. Lisäksi metsälinjan myötä sähkönsiirtokyky kasvaa ja uusiutuvaa energiaa pystytään liittämään ja siirtämään yhä paremmin maan

pohjoisosista kohti etelän kulutusta. Tämä edes auttaa Etelä-Suomen lämpövoimalaitosten energiantuotannon korvaamisen pohjoisen hiilineutraalilla tuulivoimalla (Fingrid, 2022).

Hybridivaikuttaminen on näkynyt viime aikoina erityisesti Itämerellä. Iskun kohteiksi on joutunut erilaiset verkkoinfrastruktuurit. Esimerkiksi EstLink 2 siirtoyhteyskaapeli Viroon on joutunut iskun kohteeksi. EstLink 2 on vedenalainen tasavirtakaapeli, joka kulkee Suomen ja Viron välillä. Nämä ulkomaan siirtoyhteydet, jotka sijaitsevat meren pohjassa osin kansainvälisillä vesialueilla ovat houkuttelevia kohteita tehdä sabotaasia. Onnistuneet iskut siirtoyhteyksiin voivat johtaa kyseisen valtion sähköverkon eriytymiseen omasta synkronialueestaan (Elering, 2024). Tämän ongelman kautta on hyvä pohtia energiantuotannon omavaraisuutta ja sen tärkeyttä. Lisäksi on tärkeää, että siirtoyhteyksiä on useampaan naapurimaahan ja hajautetusti eri puolilla maan rajoja.

Suomessa sähkön tarve on suurinta Etelä-Suomessa. Samalla Pohjois-Suomi on ylijäämäinen sähkön osalta. Sähköä siirretäänkin etelää kohden neljällä 400 kV siirtolinjalla, joidenka nimet viime kappaleessa on kerrottu. Analysoidaan tilannetta, jossa yksi näistä neljästä linjasta joutuu hybridi-iskun kohteeksi. Neljäs linja, metsälinja, valmistui vuonna 2022 eli käytännössä tilanne palautuisi verkkorakenteen osalta sitä edeltävään aikaan. Tuulivoiman tuotanto on tämän jälkeen lisääntynyt huomasti, joten kolme jäljellä olevaa siirtolinjaa ei välttämättä kykene siirtämään tuulivoiman tuottamaa sähköä riittävästi. Tämä voi johtaa tilanteisiin, missä osa tuulivoima tuotannosta irrotetaan verkosta. Jos yksi 400 kV siirtolinja neljästä menee epäkuntoon, ei todennäköisesti aiheuta suurta katastrofia, mutta voi heikentää hetkellisesti sähkönsiirron kapasiteettia ja johtaa alueellisiin häiriöihin tai sähkökatkoksiin, erityisesti jos muu verkko on jo kuormittunut. Verkossa on kuitenkin monia suojausmekanismeja, jotka minimoivat laajamittaiset häiriöt ja mahdollistavat verkon palauttamisen nopeasti.

### 5.2.3 Sähkösiirron toimitusvarmuuden käytännön toimenpiteet

Mikäli sähkökatkon syy on jakeluverkossa, on jakeluverkonhaltija vastuussa vian korjauksesta ja sähköjakelun palauttamisesta. Jos vika on muualla, kuten kantaverkossa, jakeluverkonhaltijan rooli rajoittuu lähinnä tiedonvälitykseen. Suurhäiriöihin on ennakko-varauduttava. Jakeluverkonhaltija nostaa valmiutta esimerkiksi sääennusteen perusteella ja varaa yhteistyökumppaneidensa resurssit käyttöönsä. Heidän tulee myös tiedottaa asiakkaille ja viranomaisille odotettavissa olevista häiriöistä ja valmiustoimista. Vastaavasti vikailmoitusten vastaanottoon ja niiden käsittelyyn tarvitaan riittävät resurssit. Samalla vikoja etsitään ja niiden aiheuttamia vahinkojen laajuutta kartoitetaan. Jatkuva tilannekuvan luominen ja ylläpito oman verkon tilasta on tärkeää suurhäiriön hallinnan kannalta. Samalla pitää pystyä priorisoimaan vikojen korjaamisjärjestystä ja varavoiman rajallisia käyttömahdollisuuksia. Materiaalin ja kaluston riittävyys tulee turvata suurhäiriöiden varalle. Varautumissuunnitelma on hallinnan pohjana näille kaikille toimenpiteille, kun sähköverkko on suurhäiriön kohteena (Verho, P 2012, 26–27).

Sähköverkonhaltijoiden on laadittava varautumissuunnitelma häiriötilanteita, sähkönsaannin häiriöihin liittyviä säännöstelytoimia sekä valmiuslakiin liittyviä poikkeusoloja varten. Sähköverkonhaltijoiden on pitänyt päivittää varautumissuunnitelma vähintään kerran kolmessa vuodessa vuodesta 2019 alkaen. Verkonhaltijoiden varautumisen tueksi Energiavirasto on laatinut ohjeistuksen ja mallipohjan, joita voidaan hyödyntää sekä normaaliolojen häiriötilanteisiin että valmiuslain tarkoittamiin poikkeusoloihin varautumisessa. Lisäksi verkonhaltija voi arvioida omaa varautumisen tasoa eri osa-alueiden osalta varautumis- ja valmiussuunnitelman pohjalta täytettävällä itsearviointi-Excel-lomakkeella (Energiavirasto, n.d.b).

Vuonna 2022 energiakriisi syveni merkittävästi Venäjän toimien ja etenkin sen Ukrainaan tekemän hyökkäyksen takia. Tällä oli vaikutuksia myös Suomen jakeluverkkotoimintaan, jossa ryhdyttiin tehostettuihin varautumistoimiin sähköpulatilanteiden ehkäisemiseksi ja niiden hallitsemiseksi. Energiavirasto keräsi kesällä 2022 sähköverkonhaltijoilta ajanta-

saiset varautumis- ja valmiussuunnitelmat, joiden tavoitteena oli varmistaa verkkoyhtiöiden toimintavalmius poikkeuksellisissa olosuhteissa. Sähköpulan riski arvioitiin kasvaneeksi talvea 2022–2023 kohden. Tämän takia Energiavirasto katsoi, että alkuperäiset suunnitelmat eivät vastanneet enää muuttunutta tilannekuvaa, ja se edellytti verkkoyhtiöitä täsmentämään ja päivittämään niiden varautumis- ja valmiussuunnitelmat. Suunnitelmat käytiin läpi Energiaviraston toimesta, eikä tarkastuksissa havaittu tarvetta välitömiin lisätoimiin. Lisäksi säädettiin valtioneuvoston asetus 981/2022, jossa määriteltiin sähkönkäyttöpaikkojen etusijajärjestys mahdollisissa sähkökatkoissa. Asetuksen 6 §:n mukaisesti verkonhaltijoiden tuli päivittää varautumissuunnitelmansa erityisesti kriittisten sähkönkäyttökohteiden osalta tammikuun 2023 alkuun mennessä. Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi Energiavirasto osallistui myös muuhun varautumiseen ja siihen liittyviin harjoituksiin vuoden 2022 aikana (Energiavirasto, 2023b).

#### **5.2.4 Sähkönsiirron toimitusvarmuuden tulevaisuus ja kehittäminen**

Sähkönsiirron toimitusvarmuuden tulevaisuus on keskeinen osa energiajärjestelmän kehittämistä, erityisesti siirryttäessä kohti hajautettua ja uusiutuvaan energiaan perustuvaa sähköntuotantoa. Toimitusvarmuuden merkitys kasvaa entisestään ilmastonmuutoksen aiheuttamien sään ääri-ilmiöiden lisääntyessä sekä digitalisaation myötä, kun yhteiskunnan riippuvuus sähköstä kasvaa kaikilla sektoreilla. Toimitusvarmuuden kehittäminen ei perustu yhteen ratkaisuun, vaan laajaan kokonaisuuteen, jossa yhdistyvät teknologinen kehitys, investoinnit, ohjauskeinot sekä yhteistyö eri toimijoiden välillä. Tulevaisuuden sähköverkko on yhä enemmän älykäs, joustava ja resilientti, mikä mahdollistaa paitsi häiriöiden nopean hallinnan, myös niiden ennakoinnin.

Sähkönjakelun toimitusvarmuutta voidaan parantaa monin eri keinoin. Esimerkiksi verkkoinvestointien kohdentaminen erityisesti keskijänniteverkon maakaapelointiin, jolloin on vähemmän ilmassa kulkevia avojohtoja, jotka ovat alttiita luonnonilmiöille ja niiden

aiheuttamille vahingoille. Lisäksi voidaan leventää niin sanottuja johtokatuja. Tämä tarkoittaa sitä, että johtojen ympärillä olevaa puutonta aluetta levennetään ja raivataan linjojen alusia. Ilmajohtoja voidaan siirtää syrjäisiltä metsätaipaleilta tieverkoston viereen, jolloin niiden korjaaminen on helpompaa ja nopeampaa. Taajamissa ja keskustoissa tehokas parannuskeino on varasyöttöyhteyksien ja rengasyhteyksien rakentaminen. Tällöin vikatilanteessa voidaan sähköttömäksi jäävää aluetta syöttää toista kautta. Lisäksi toimitusvarmuuden parantamisessa keskeistä on verkkoautomaation laajentaminen, kuten kauko-ohjattavien erotinasemien ja maastokatkaisijoiden hyödyntäminen, jotka nopeuttavat vikatilanteiden hallintaa ja sähköön palauttamista verkkoihin. Samalla tieto sähkökatkosta ja tarkasta vikapaikasta saadaan nopeammin verkkoyhtiön käyttöön (Energiateollisuus, n.d.a).

Digitalisaation myötä myös verkon kunnossapitoa voidaan kehittää ennakoivammaksi. Esimerkiksi sensoritekniikka, paikkatietopohjaiset analyysit ja koneoppiminen mahdollistavat verkon kunnan jatkuvan seurannan ja vikojen ennustamisen. Samalla älykkäät energiavarastot ja hajautettu tuotanto voivat tukea sähkönjakelua kriisitilanteissa, parantaen järjestelmän kokonaisresilienssiä (Fingrid, n.d.b). Toimitusvarmuuden kehittäminen ei rajoitu vain teknisiin ratkaisuihin. Myös operatiivinen varautuminen, selkeät ohjeistukset sähköpulatilanteisiin ja sidosryhmäyhteistyö ovat olennainen osa kokonaisuutta. Esimerkiksi sähkönkäyttöpaikkojen etusijajärjestyksen määrittely kriisitilanteisiin perustuu valtioneuvoston asetukseen (981/2022), ja siihen sisältyvät verkonhaltijoiden velvoitteet päivittää varautumissuunnitelmiansa kriittisten kohteiden osalta (Energiavarasto, 2023b).

Luvussa 3.3 kerrottiin kantaverkon kehittämisestä ja sen tulevaisuuden näkymistä, jotka koskevat pitkälti kantaverkon vahvistamista pohjois-eteläsuunnassa. Fingrid investoi lähitulevaisuudessa huomattavasti sähköverkkoon, jolloin sillä on kykyä palvella paremmin uusiutuvien energialähteiden ja vihreän siirtymän innovaatioiden integroimista verkkoon. Tämä antaa verkolle lisää mahdollisuuksia ja sietokykyä erilaisia uhkia vastaan.

Verkkoinvestoinnit palvelevat niin toimitusvarmuuden kuin huoltovarmuudenkin parantamista. Sähköverkon merkitys vain kasvaa tulevaisuudessa ja siitä tulee merkittävin mahdollistaja tulevaisuuden kehittämiseksi ja kilpailukyvyille (Fingrid, 2022).

Sähkönsiirron toimitusvarmuus on kriittinen osa yhteiskunnan toimivuutta ja huoltovarmuutta. Sähköjärjestelmän toimintaympäristö muuttuu nopeasti, ja tulevaisuudessa toimitusvarmuuden merkitys korostuu entisestään ilmastonmuutoksen, uusiutuvan energiantuotannon kasvun sekä sähköistymisen myötä. Ilmaston ääri-ilmiöt, kuten myrskyt ja rankkasateet, aiheuttavat kasvavaa painetta kehittää erityisesti jakeluverkkojen säävarmuutta. Yhteenvedona voidaan todeta, että sähkönsiirron toimitusvarmuuden tulevaisuus rakentuu älykkäiden, säävarmojen ja skaalautuvien verkkoratkaisujen ympärille. Toimitusvarmuuden turvaaminen edellyttää pitkäjänteisiä investointeja, ennakoivaa suunnittelua ja tiivistä yhteistyötä viranomaisten ja verkkoyhtiöiden välillä.

## 6 Johtopäätökset ja pohdinta

Tutkimuksen tehtävänä oli selvittää Suomen sähköntuotannon huoltovarmuutta ja sähkönsiirron toimitusvarmuutta erilaisissa uhissa ja poikkeusoloissa aineistolähtöisesti. Tutkimuskysymykset olivat, mitkä asiat vaikuttavat sähköntuotannon huoltovarmuuteen poikkeusoloissa sekä mitkä asiat vaikuttavat sähköverkon toimitusvarmuuteen poikkeusoloissa. Systemaattisen analyysin myötä aineistosta on pyritty löytämään ja nostamaan edellä mainittuihin seikkoihin liittyviä asioita esiin.

Suomen energiasektorin huolto- ja toimitusvarmuus on hyvin laaja ja monisäikeinen kokonaisuus, johon vaikuttavia asioita on paljon. Tutkielman näkökannoista suurimmiksi nousivat ilmaston aiheuttamat uhkakuvat ja hybridivaikuttaminen. Epidemiat jäivät tutkielmassa vähemmälle tarkastelulle, koska aineistoon perehtyessäni huomasin, että niillä ei havaittu olevan riittävästi suoranaisia vaikutuksia energiasektorin toimivuuteen. Epidemian vaikutukset jäivät välillisiksi, koska ne vaikuttavat lähinnä ihmiseen niin fyysisesti kuin henkisestikin ja näiden tekijöiden myötä yhteiskunnan vakauteen ja toimivuuteen, joten nämä asiat eivät suoraan vaikuta sähköverkon tai sähköntuotannon toimivuuteen.

Ilmaston aiheuttamat sään ääri-ilmiöt, kuten myrskyt, vaikuttavat suuresti sähköntuotannon toimitusvarmuuteen. Lisäksi ilmasto aiheuttaa pitkäkestoisia kausia niin kylmyyden kuin kuumuuden osalta, jotka ajavat Suomen sähköntuotantoa haasteisiin. Esimerkiksi Suomen sähköntuotannon kulutushuippu on ilmaston aiheuttamaa, koska kylmyys lisää energian tarvetta. Lisäksi uusiutuvat energianlähteet ovat riippuvaisia sääolosuhteista, joten sillä on vaikutusta moneen eri tuotantomuotoon niin hyvässä kuin pahassa. Ilmaston aiheuttamat sään ääri-ilmiöt voivat avata otollisia aikaikkunoita, jolloin hybridivaikuttamisen vaikutukset olisivat monin kerroin suuremmat kuin ihanteellisilla sääolosuhteilla. Tällä tarkoitetaan sitä, että ilmasto luo usein puitteet meidän sähköjärjestelmällemme, joka on yhä enemmän uusiutuvien energialähteiden muovaama. Vastaavasti nämä energialähteet ovat riippuvaisia ihanteellisista sääolosuhteista, jolloin syntyy tilanne tasapainottaa sähköjärjestelmää. Onneksi Suomessa on monipuolinen energiantuotanto, joilla pystytään

korvaamaan vaihtelevaa uusiutuvaa energiaa, ja säätövoiman avulla luomaan tasapainoa sähköjärjestelmään.

Hybridivaikuttaminen voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan, jotka ovat pienet jatkuvat sabotaasit tai yksittäinen tarkkaan harkittu hybridi-isku. Nämä pienet hybridivaikuttamisen kategoriassa olevat iskut eivät vaaranna merkittävästi sähköjärjestelmän toimintaa, vaan niillä on enemmän tarkoitus toimia pelotteena ja vallanvälineenä. Tarkoituksena on saada aikaan sisäistä levottomuutta esimerkiksi luomalla kansaan painetta asettumalla toisiaan vastaan tai ohjata sitä kautta poliittisia päätöksiä. Toisessa kategoriassa ovat taas yksittäiset tarkkaan harkitut iskut, joilla pyritään saamaan mahdollisimman paljon vahinkoa aikaan. Nämä kohdistuvat suurella todennäköisyydellä merkityksellisempiin ja suurimpiin kohteisiin. Tällaiset iskut ovat todennäköisimpiä ennen laajamittaista aseellista hyökkäystä tai muuta vastaavaa vallankumouksellista toimintaa.

Tehdystä analyysistä voidaan havaita, että ilmasto tarjoaa erilaisia olosuhteita sähköntuotannolle ja -siirrolle. Nämä ilmaston tarjoamat olosuhteet voivat palvella tai uhata sähköntuotantoa ja -siirtoa. Olosuhteiden tarjoamat uhat altistavat ja kuormittavat energiasektoria. Tällöin usein niin sähköntuotanto kuin sen siirtokin ovat ylärajalla ja epämu-kavuusalueella. Tämä avaakin otollisimman hetken hybridivaikuttamiselle ja sen todelliselle uhalle testatakseen Suomen energiasektorin valmiutta ja kykyä toimia todellisessa poikkeustilanteessa. Mitä useampi uhka tai poikkeustila on yhtäaikaisesti valloillaan, sitä suuremmin se uhkaa myös energiasektoria. Uhkat, jotka saapuvat yksi kerrallaan, eivät aiheuta merkittävää vaaraa, ja ne ovat yleensä helposti korjattavissa ja kokonaisuus näin ollen hallittavissa.

Tutkielman myötä aiheen keskeisimmiksi asioiksi nousivat sähköntoimitus- ja huoltovarmuuden osalta se, että Suomessa panostetaan monipuoliseen ja hajautettuun energia-tuotantoon sekä kattavaan, resilienttiin ja älykkääseen sähköverkkoon. Lisäksi useampi siirtoyhteys ulkomaille antaa turvaa, mutta omavaraisuus on aina kriiseissä ja poikkeus-tilanteissa avainasemassa.

Tutkielma osoittautui aineistoon perehtymisen kautta paljon laajemmaksi ja haastavammaksi kokonaisuudeksi, mitä osasin alussa kuvitella. Aihetta olisi pitänyt rajata enemmän, jotta aineiston analyysi olisi ollut helpompaa ja kattavampaa. Systemaattinen analyysi mahdollistaa erilaisia tapoja, mutta myös se loi omanlaiset haasteensa tutkielman tekemiselle. Haasteista huolimatta löysin punaisen langan, jolla sain nivottua tutkielman kasaan ja onnistuin tuomaan sähköntoimitus- ja huoltovarmuuden uhat ja mahdollisuudet esiin. Sähköntoimitus- ja huoltovarmuus ovat ja tulevat olemaan Suomen yhteiskunnalle merkittävä asia muuttuvassa maailmassa, jossa erilaiset uhkakuvat luovat oman varjonsa. Varautumalla ja uusia toimintatapoja etsimällä voimme säilyttää turvallisuutemme ja kilpailukykyisyytemme.

## Lähteet

- Alasuutari, Pertti. (2011). *Laadullinen tutkimus 2.0*. Vastapaino ISBN: 978-951-768-503-0.
- Bioenergia. (2024). *Turve*. Noudettu 22.1.2025 osoitteesta <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/turve/>
- Caruna. (n.d.). *Caruna lyhyesti*. Noudettu 13.3.2025 osoitteesta <https://caruna.fi/tietoa-meista/caruna-lyhyesti>
- Elenia. (n.d.). *Tietoa Eleniasta*. Noudettu 13.3.2025 osoitteesta <https://www.elenia.fi/elenia/elenia-yrityksena/tietoa-eleniasta>
- Elering. (2024). *The suspected fault in EstLink 2 is located on the seabed of the Gulf of Finland*. Noudettu 20.2.2025 osoitteesta <https://elering.ee/en/suspected-fault-estlink-2-located-seabed-gulf-finland>
- Energiamaailma. (2025). *Ydinvoima*. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta <https://energia-maailma.fi/energiasta/energiantuotanto/ydinvoima/>
- Energiateollisuus. (2020). *Sähkön keskeytystilastot 2010–2019*. Noudettu 21.2.2025 osoitteesta <https://energia.fi/tilastot/sahkon-keskeytystilastot-2010-2019/>
- Energiateollisuus. (n.d.a). *Sähkönjakelun luotettavuus*. Noudettu 12.2.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/sahkonjakelun-luotettavuus/>
- Energiateollisuus. (n.d.b). *Sähköntuotanto*. Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/>
- Energiateollisuus. (n.d.c). *Sähköverkot*. Noudettu 12.3.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/>
- Energiateollisuus. (n.d.d). *Sähköverkkoyhtiöt*. Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiöt/>
- Energiateollisuus. (n.d.e). *Tuulivoima*. Noudettu 17.1.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/tuulivoima/>
- Energiateollisuus. (n.d.f). *Vesivoima*. Noudettu 15.1.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima/>

- Energiateollisuus. (n.d.g). *Ydinvoima*. Noudettu 17.1.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/ydinvoima/>
- Energia uutiset. (2020). *Monenlaiset myrskyt*. Noudettu 21.2.2025 osoitteesta <https://vanhalehti.energiauutiset.fi/sahkoverkot/monenlaiset-myrskyt.html>
- Energiavirasto. (2023a). *Sähkön toimitusvarmuus vuonna 2023*. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13026619/S%C3%A4hk%C3%B6n+toimitusvarmuus+vuonna+2023.pdf/74a1194f-91cb-d28b-06bb-d5df663b06e1/S%C3%A4hk%C3%B6n+toimitusvarmuus+vuonna+2023.pdf?t=1701326930016>
- Energiavirasto. (2023b). *Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys, sähköverkon toimitusvarmuus ja valvonnan vaikuttavuus 2022 –*. Noudettu 12.4.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/160912074/Vaikuttavuusraportti+2022.pdf/41fec096-38e9-cf39-550c-bda74289ba7f/Vaikuttavuusraportti+2022.pdf?t=1686308327503>
- Energiavirasto. (2023c). *Vastuullisuus Energiavirastossa*. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/vastuullisuus-energiavirastossa2023>
- Energiavirasto. (n.d.a). *Toimitusvarmuus*. Noudettu 12.3.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/toimitusvarmuus>
- Energiavirasto. (n.d.b). *Verkonhaltijoiden varautuminen*. Noudettu 12.4.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/varautuminen>
- Enertec. (n.d.). *Tuulivoimaa kasvaa vauhdilla ja markkinaehtoisesti*. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta <https://www.enertec.fi/natiivi/2260/tuulivoimaa-kasvaa-vauhdilla-ja-markkinaehtoisesti>
- ENTSO-E. (2025a). *ENTSO-E Mission Statement*. Noudettu 20.3.2025 osoitteesta <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/objectives/>
- ENTSO-E. (2025b). *Explore the long-term network development study*. Noudettu 20.3.2025 osoitteesta <https://tyndp.entsoe.eu/explore>
- EPV alueverkko. (n.d.a). *EPV Alueverkon toiminta*. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta <https://www.epa.fi/epv-alueverkon-toiminta/>

- EPV alueverkko. (n.d.b). *Verkostokartat*. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta [https://www.epa.fi/wp-content/uploads/sites/44/2017/02/Pohjanmaa\\_verkko5\\_uusi2016.pdf](https://www.epa.fi/wp-content/uploads/sites/44/2017/02/Pohjanmaa_verkko5_uusi2016.pdf)
- Fingrid. (2016). *Yhteisillä linjoilla*. Fingrid-lehti. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/yhteisilla-linjoilla/fingrid\\_yhteisilla\\_linjoilla\\_2016\\_web.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/yhteisilla-linjoilla/fingrid_yhteisilla_linjoilla_2016_web.pdf)
- Fingrid. (2022). *Juuri valmistunut Metsälinja vahvistaa Suomen sisäistä sähköverkkoa merkittävästi*. Noudettu 28.3.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2022/juuri-valmistunut-metsalinja-vahvistaa-suomen-sisaista-sahkoverkkoa-merkittavasti/>
- Fingrid. (2022). *Kantaverkon investointitarpeet kasvavat kolmeen miljardiin euroon*. Noudettu 12.4.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2022/kantaverkon-investointitarpeet-kasvavat-kolmeen-miljardiin-euroon/>
- Fingrid. (2024). *Sähkön tuotanto ja kulutus*. Noudettu 24.2.2024 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/kulutus-ja-tuotanto/>
- Fingrid. (2025). *Sähköjärjestelmän tila*. Noudettu 24.2.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/-/custom/sahkojarjestelman-tila-169/>
- Fingrid. (n.d.a). *Fingridin sähkösiirtoverkko*. Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>
- Fingrid. (n.d.b). *Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2022–2031*. Noudettu 13.3.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon-kehittamissuunnitelma-2022-2031.pdf>
- Fingrid. (n.d.c). *Kulutusjousto*. Noudettu 25.3.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/sahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/>
- Fingrid. (n.d.d). *Osa pohjoismaista sähköjärjestelmää*. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/pohjoismainen-sahkojarjestelma-ja-liitynnat-muihin-jarjestelmiin/>

- Fingrid. (n.d.e). *Rinnakkaiskompensointi parantaa merkittävästi kantaverkon siirtokykyä Etelä-Suomeen*. Noudettu 20.3.2025 osoitteesta [https://www.fingrid.fi/ajankoh-  
taista/tiedotteet/2024/rinnakkaiskompensointi-parantaa-merkittavasti-kanta-  
verkon-siirtokyky-eta-suomeen/](https://www.fingrid.fi/ajankoh-<br/>taista/tiedotteet/2024/rinnakkaiskompensointi-parantaa-merkittavasti-kanta-<br/>verkon-siirtokyky-eta-suomeen/)
- Fingrid. (n.d.f). *Tuulivoiman tuotanto*. Noudettu 24.2.2025 osoitteesta [https://www.fing-  
rid.fi/sahkomarkkinainformaatio/tuulivoiman-tuotanto/](https://www.fing-<br/>rid.fi/sahkomarkkinainformaatio/tuulivoiman-tuotanto/)
- Fingrid. (n.d.g). *Voimalaitokset*. Noudettu 24.2.2025 osoitteesta [https://www.fing-  
rid.fi/sahkomarkkinainformaatio/alkuperatakuun-tapahtumat/voimalaitokset/](https://www.fing-<br/>rid.fi/sahkomarkkinainformaatio/alkuperatakuun-tapahtumat/voimalaitokset/)
- Finlex. (n.d.a). *Laki huoltovarmuuden turvaamisesta*. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/1992/1390>
- Finlex. (n.d.b). *Laki sähköntuotannon ja -kulutuksen välistä tasapainoa varmistavasta te-  
horeservistä*. Noudettu 19.2.2025 osoitteesta [https://www.finlex.fi/fi/laki/ajan-  
tasa/2011/20110117](https://www.finlex.fi/fi/laki/ajan-<br/>tasa/2011/20110117)
- Finlex. (n.d.c). *Sähkömarkkinalaki*. Noudettu 12.2.2025 osoitteesta [https://www.fin-  
lex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#O1L1P1](https://www.fin-<br/>lex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#O1L1P1)
- Hiilitieto. (2025a). *Energiantuotanto*. Noudettu 6.2.2025 osoitteesta [https://hiili-  
tieto.fi/hiilitietoa/hiili-suomessa/energiantuotanto/](https://hiili-<br/>tieto.fi/hiilitietoa/hiili-suomessa/energiantuotanto/)
- Hiilitieto. (2025b). *Suomi tarvitsee sähköä ja lämpöä*. Noudettu 6.2.2025 osoitteesta <https://hiilitieto.fi/hiilitietoa/hiili-suomessa/energiankulutus/>
- Huoltovarmuuskeskus. (2025a). *Huoltovarmuus Suomessa*. Noudettu 6.2.2025 osoit-  
teesta [https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/tietoa-huoltovarmuudesta/huolto-  
varmuus-suomessa](https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/tietoa-huoltovarmuudesta/huolto-<br/>varmuus-suomessa)
- Huoltovarmuuskeskus. (2025b). *Sektorit ja poolit*. Noudettu 10.2.2025 osoitteesta <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/toimialat/energiahuolto/sektori-ja-poolit>
- Huoltovarmuuskeskus. (2025c). *Talous*. Noudettu 10.2.2025 osoitteesta [https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/huoltovarmuusorganisaatio/huoltovar-  
muuskeskus/talous](https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/huoltovarmuusorganisaatio/huoltovar-<br/>muuskeskus/talous)
- Hybrid CoE. (n.d.). *What is Hybrid CoE?* Noudettu 21.2.2025 osoitteesta <https://www.hybridcoe.fi/who-what-and-how/>

- IHA. (2022). *With hydropower, we can create a renewable and resilient energy system*. Noudettu 11.3.2025 osoitteesta <https://www.hydropower.org/blog/with-hydropower-we-can-create-a-renewable-and-resilient-energy-system>
- Ilmatieteenlaitos. (n.d.). *Suomen tuuliatlas - tuulitiedot Suomen kartalla*. Noudettu 18.2.2025 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuuliatlas>
- Ingersoll, D. (2015). *Small Modular Reactors: Nuclear Power Fad or Future?* Elsevier Science & Technology. Noudettu 28.3.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02850-X>
- J. Duncan Glover, Thomas Overbye, and Mulukutla S. Sarma. (2015). *Power System Analysis and Design*. 6.Edition ISBN: 978-1-305-63213-4
- Kananen, I. (2015). *Suomen huoltovarmuus: riittääkö energia ja ruoka, toimiiko tiedonkulku*. Docendo Oy. ISBN: 978-952-291-188-9.
- Kananen, J. (2019). *Opinnäytetyön ja pro gradun pikaopas: avain opinnäytetyön ja pro gradun kirjoittamiseen*. PunaMusta Oy. ISBN: 978-951-830-521-0
- Klemm, K. (2019). *Huoltovarmuus - Varautumisella selviytymiskykyä*. Tietosanoma.
- Metsälehti. (2025). *Ruotsissa metsät sitovat hiiltä, Suomessa päästävät*. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/ruotsin-metsat-sitovat-hiilta-suomessa-paastavat/#f08f1398>
- Mohanty, A., Ramasamy, A.K., Verayiah, R., Bastia, S., Swaroop Dash, S., Cuce, E., Yunus Khan, T.M. & Soudagar, M. (2024). *Power system resilience and strategies for a sustainable infrastructure*. Alexandria Engineering Journal. Noudettu 26.3.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.06.092>
- Motiva. (2024a). *Tuet tuulivoiman rakentamiselle*. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima-suomessa/tuet\\_tuulivoiman\\_rakentamiselle](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima-suomessa/tuet_tuulivoiman_rakentamiselle)
- Motiva. (2024b). *Tuulivoima Suomessa*. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima-suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima-suomessa)

- Motiva. (2024c). *Tuulivoimateknologia*. Noudettu 13.4.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima\\_suomessa/tuulivoimateknologia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia)
- Motiva. (2024d). *Tuulivoiman ympäristö- ja muut vaikutukset*. Noudettu 18.2.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoiman\\_ymparisto- ja muut vaikutukset](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoiman_ymparisto- ja muut vaikutukset)
- Motiva. (2024e). *Voimalan sijoittaminen*. Noudettu 18.2.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima\\_suomessa/voimalan\\_sijoittaminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/voimalan_sijoittaminen)
- Motiva. (2025). *Vesivoima*. Noudettu 25.3.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/vesivoima](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima)
- Motiva. (n.d.). *Bioenergia*. Noudettu 6.2.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia)
- NREL. (2025). *Power System Resilience Basics*. Noudettu 20.3.2025 osoitteesta <https://www2.nrel.gov/research/power-system-resilience>
- Partanen, J., Lassila, J. & Haakana, J. (2020). *Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan sääntely ja kehittäminen*. LUT University. ISBN: 978-952-335-618-4.
- Posiva. (n.d.). *Posiva is the global leader in final disposal*. Noudettu 12.3.2025 osoitteesta <https://www.posiva.fi/en/index.html>
- Relander, J. (2024). *Voiko ydinvoimaa käyttää säätövoimana? Kyllä ja ei*. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/tuotanto/voiko-ydinvoimaa-kayttaa-saatovoimana-kylla-ja-ei..html>
- Räty, A. (2023). *Itäisen Suomen tuulivoimarakentamisen tehostaminen*. Noudettu 4.2.2025 osoitteesta [https://tem.fi/documents/1410877/153287519/Tuulivoimaselvitys\\_final\\_AR\\_150323.pdf/ed8981bb-e8dd-fc65-eeb1-4d999256002c/Tuulivoimaselvitys\\_final\\_AR\\_150323.pdf?t=1678882585236](https://tem.fi/documents/1410877/153287519/Tuulivoimaselvitys_final_AR_150323.pdf/ed8981bb-e8dd-fc65-eeb1-4d999256002c/Tuulivoimaselvitys_final_AR_150323.pdf?t=1678882585236)
- Shunbo, L., Yunhe, H. & Chong, W. (2023). *Power Grid Resilience Against Natural Disasters: Preparedness, Response, and Recovery*. Newark Wiley-IEEE Press. ISBN: 1-119-80147-8

- Sisäministeriö. (2023). *Kansallinen riskiarvio 2023*. Noudettu 20.2.2025 osoitteesta [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164627/SM\\_2023\\_4.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164627/SM_2023_4.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Suomen huoltovarmuusdata Oy. (n.d.). *Huoltovarmuuskriittiset organisaatiot*. Noudettu 6.2.2025 osoitteesta <https://www.suomenhuoltovarmuusdata.fi/kohderyhma>
- Suomen uusiutuvat. (n.d.). *Tuulivoimakartta*. Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoima/hankkeet-ja-voimalat-suomessa/kartta/>
- Teknolomiteollisuus. (2025). *Suomi sähköisen liikenteen edelläkävijä vuonna 2030*. Noudettu 27.3.2025 osoitteesta <https://teknolomiteollisuus.fi/emobility/tietoa-toimialasta/sahkoinen-liikenne-2030/>
- Turvallisuuspolitiikan tietopankki. (n.d.). *Huoltovarmuusorganisaatio*. Noudettu 7.2.2025 osoitteesta <https://turpopankki.fi/suomi/yhteiskunnan-turvallisuus/huoltovarmuus/huoltovarmuusorganisaatio/>
- TVO. (2025). *Onneksi on Olkiluoto*. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta <https://www.tv.fi/>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2018). *Sähkönsiirtohinnot ja toimitusvarmuus*. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 43/2018. Noudettu 12.4.2025 osoitteesta [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43\\_18\\_Sahkonsiirtohinnot\\_ja\\_toimintavarmuus.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43_18_Sahkonsiirtohinnot_ja_toimintavarmuus.pdf)
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2021). *Turvetyöryhmän loppuraportti*. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2021:24. Noudettu 12.4.2025 osoitteesta [https://tem.fi/documents/1410877/67934370/Turvetyöryhmän+loppuraportti\\_TEM\\_2021\\_24.pdf/153eaa9c-3a4c-ee27-ccfe-5bebf4af0047/Turvetyöryhmän+loppuraportti\\_TEM\\_2021\\_24.pdf?t=1652772934680&gsid=c9760946-e532-426f-be3d-da4c1abde69f](https://tem.fi/documents/1410877/67934370/Turvetyöryhmän+loppuraportti_TEM_2021_24.pdf/153eaa9c-3a4c-ee27-ccfe-5bebf4af0047/Turvetyöryhmän+loppuraportti_TEM_2021_24.pdf?t=1652772934680&gsid=c9760946-e532-426f-be3d-da4c1abde69f)
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022). *Uusimuotoinen energiahuoltosektori kokoontui*. Noudettu 10.2.2025 osoitteesta <https://tem.fi/-/uusimuotoinen-energiahuoltosektori-kokoontui>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2024). *ESTLINK 2 -sähkökaapelin vialla ei toistaiseksi vaikuta Suomen sähköjärjestelmään*. Noudettu 20.2.2025 osoitteesta

<https://tem.fi/-/estlink-2-sahkokaapelin-vialla-ei-toistaiseksi-vaikutusta-suomen-sahkojarjestelmaan>

- Törmänen & Paasivaara. (2009). *Systemaattinen analyysi tutkimusmenetelmänä - sovel-  
lus tekstiaineistoon terveyshallintotieteellisessä tutkimuksessa*. Noudettu  
17.2.2025 osoitteesta <https://journal.fi/hallinnontutkimus/article/view/100515>
- Verho, P., Sarsama, J., Strandén, J., Krohns-Välimäki, H., Hälvä, V. & Hagqvist, O. (2012).  
*Sähköhuollon suurhäiriöiden riskianalyysi- ja hallintamenetelmien kehittäminen -  
Projektin loppuraportti*. Noudettu 12.4.2025 osoitteesta [https://energia.fi/wp-  
content/uploads/2016/09/Sahkokuuollon\\_suurhairioiden\\_riskianalyysi-\\_ja\\_hal-  
lintomenetelmien\\_kehittaminen.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/09/Sahkokuuollon_suurhairioiden_riskianalyysi-_ja_hal-<br/>lintomenetelmien_kehittaminen.pdf)
- YLE. (2020). *Asta-myrsky yllätti 10 vuotta sitten loma-Suomen kesken ennätyshelteiden  
– “Näky oli kuin Raatteentieltä”, sanoo sähköyhtiön mies*. Noudettu 20.2.2025  
osoitteesta <https://yle.fi/a/3-11452973>
- YLE. (2024a). *Fingrid: Myrsky kaatoi ensimmäistä kertaa järeitä 400 kilovoltin voimalin-  
japylväitä*. Noudettu 21.2.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20121981>
- YLE. (2024b). *Olkiluodon ydinvoimalan häiriöt ovat jatkuvasti otsikoissa – näin toiminta-  
varmoja voimalat oikeasti ovat*. Noudettu 12.3.2025 osoitteesta  
<https://yle.fi/a/74-20130938>
- YLE. (2024c). *Suomessa voi rikkoutua tänään kaikkien aikojen sähkön kulutusennätys*.  
Noudettu 24.2.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20067755>
- YLE. (2024d). *Tähän monttuun piti tulla ydinvoimala – nyt sieltä puretaan keskeneräisiä-  
kin rakennuksia*. Noudettu 12.3.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20112204>
- YLE. (2024e). *Yhdeksän kysymystä ja vastausta Suomenlahdella tapahtuneista kaapeli-  
vaurioista*. Noudettu 20.3.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20133775>
- YLE. (2025). *Suomen omavaraisuus sähkössä on heikentynyt yllättävästä syystä*. Nou-  
dettu 21.2.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20132221>