



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Jere Lassila

# **Suomen sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja häiriönsietokyky**

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö  
Kandidaatintutkielma  
Sähkö- ja energiatekniikka

Vaasa 2026

---

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

<b>Tekijä:</b>	Jere Lassila		
<b>Tutkielman nimi:</b>	Suomen sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja häiriönsietokyky		
<b>Tutkinto:</b>	Tekniikan Kandidaatti		
<b>Koulutusohjelma:</b>	Sähkö- ja energiatekniikka		
<b>Opintosuunta:</b>	Sähkötekniikka		
<b>Työn ohjaaja:</b>	Kimmo Kauhaniemi		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2026	<b>Sivumäärä:</b>	30

---

**TIIVISTELMÄ:**

Tutkielman tavoitteena on selvittää, mitkä ovat merkittävimmät tekniset ja turvallisuuspoliittiset riskit Suomen sähköjärjestelmän toimitusvarmuudelle ja millaisilla teknisillä ratkaisuilla näitä riskejä hallitaan.

Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja lähteinä käytettiin alan perusteoksia sekä viranomaisten julkaisemia tiedotteita ja valtionvirastojen dokumentteja.

Tutkielmassa tutkittiin sähköverkon rakennetta ja sähköntuotantoa ja kulutusta. Eri käsitteet käytiin läpi kuten toimintavarmuus, käyttövarmuus ja häiriönsietokyky eli resilienssi. Tämän jälkeen tutkielmassa käytiin läpi mahdolliset uhat kyberturvallisuuden kannalta ja teknisten ratkaisuiden kautta. Lopuksi myös käytiin läpi, millä näitä pystytään ehkäisemään.

Tutkielmassa todettiin turvallisuuspoliittisiksi riskeiksi valtiollisten toimijoiden aiheuttamat kyber- ja hybridiuhat. Teknisellä puolella suurimpia uhkia on käynnissä oleva energiamurros. Uusiutuvan energian tuottaminen vähentää verkosta luonnollista inertiaa. Näihin riskeihin vastataan STATCOM-kompensointilaitteilla ja tulevaisuudessa myös akkuvarastoilla.

Johtopäätöksenä todetaan, että sähköverkon toimintavarmuus nojaa nykyisin laajempaan kansainväliseen yhteistyöhön, koska Suomen sähköverkko on osana pohjoismaista synkronialuetta. Tämä korostaa tiiviin kansainvälisen yhteistyön merkitystä

---

**AVAINSANAT:** Sähköjärjestelmä, häiriönsietokyky, toimintavarmuus, kyberturvallisuus, huoltovarmuus

## Sisällys

1	Johdanto	5
2	Suomen sähköjärjestelmän rakenne ja nykytila	7
2.1	Sähköntuotanto	7
2.2	Kantaverkko ja siirtoyhteydet	9
2.3	Sähköjärjestelmän tasapainon hallinta	10
3	Toimintavarmuuden ja häiriönsietokyvyn käsitteet	12
3.1	Toimintavarmuus	12
3.2	Käyttövarmuus	13
3.3	Häiriönsietokyky	14
4	Keskeiset haasteet ja riskitekijät	16
4.1	Tuotantorakenteen muutos	16
4.2	Geopoliittiset ja fyysiset uhat	17
4.3	Kyberturvallisuus ja digitaalinen haavoittuvuus	18
5	Keinot sähköjärjestelmän turvaamiseksi	21
5.1	Teknologiset ratkaisut ja joustavuus	21
5.2	Huoltovarmuus ja varautuminen	22
5.3	Kansainvälinen yhteistyö	23
6	Johtopäätökset	26
	Lähteet	28

## Kuvat

Kuva 1.	Suomensähköntuotanto prosentteina vuonna 2024 (Tilastokeskus, 15.4.2025)	8
Kuva 2.	Suomen sähköntuotanto lukuarvoina vuonna 2024 (Tilastokeskus, 15.4.2025)	8
Kuva 3.	Suomen kantaverkko kartalla (Fingrid Oyj, 2024, n.d.)	10
Kuva 4.	Pohjoismaiden ja Baltian kantaverkko (Fingrid Oyj, n.d)	24

## Lyhenteet

CHP	Combined Heat and Power
GWh	gigawattitunti
BRP	Balance Responsible Party
POD	Power Oscillation Damping
STATCOM	Static Compensator
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
ACER	Agency for the Cooperation of Energy Regulators
EU	Euroopan unioni
ENTSO-E	the European Network of Transmission System Operators for Electricity

# 1 Johdanto

Sähkö on nykypäivänä kriittinen elementti yhteiskunnalle. Sähkö ei ole enää pelkästään vain valoa hehkulampussa vaan se on nykyään kriittinen tekijä liikenteessä, tietoliikenteessä, terveydenhuollossa ja lämmityksessä. Tavallisen infrastruktuurin kannalta sähkö on siis elintärkeä osa, koska lähes kaikki yhteiskunnan toiminnot on sidottuna sähköön ja sähköverkkoon. Ilman sähköä nyky-yhteiskunta pysähtyy muutamissa tunneissa. Sähköjärjestelmä on tällä hetkellä isossa murroksessa, kun myös sähköntuotanto on siirtymässä fossiilisista polttoaineista kohti uusiutuvia energiamuotoja. Monia voimalaitoksia, jotka käyttävät fossiilisia polttoaineita ajetaan alas ja tilalle rakennetaan paljon tuuli- ja aurinkoenergiaa käyttäviä voimaloita (Fingrid, Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024-2033, 2024). Muutos on ympäristölle hyvä, mutta se tekee sähköjärjestelmästä teknisesti vaikeamman hallita niin luonnon ja sääolosuhteiden kannalta, kuin teknisten toteutustenkin kannalta. Säariippuvaisen tuotannon kasvu vähentää järjestelmän luonnollista inertiaa ja lisää tarvetta nopealle säätökyvyille. Samanaikaisesti sähkön kulutus kasvaa myös koko ajan, teollisuuden sähköistyessä ja uusien tulevien datakeskushankkeiden myötä, joten näidenkin kannalta Suomen sähköjärjestelmä on asetettu uudenlaisen haasteen eteen. Suomi ei kuitenkaan toimi sähköjärjestelmänsä kanssa yksin vaan se on osa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää. Tämä tekee toimintavarmuudesta rajat ylittävän kysymyksen, jossa korostuu siirtoyhteydet ja tiivis yhteistyö naapurimaiden Ruotsin, Norjan ja Tanskan kanssa (Fingrid, Osa pohjoismaista sähköjärjestelmää, 2026).

Suomen sähköjärjestelmän toiminnassa on myös riskejä ja uhkakuvia. Osa riskeistä tulee komponenttien toimivuudesta tai sääolosuhteiden muutoksista, mutta myös maailmantilanne tuo uusia uhkakuvia ilmoille. Kybervaikuttaminen ja geopoliittiset uhat pitää myös valitettavasti ottaa vakavasti huomioon sekä nykyään pitää tarkastella keinoja näiden uhkien torjumiseksi ja järjestelmän palautumisen varmistamiseksi häiriötilanteissa.

Tutkielma toteutetaan kirjallisuuskatsauksena ja tutkielman keskeisenä tavoitteena on selvittää, mitkä ovat merkittävimmät tekniset ja turvallisuuspoliittiset riskit Suomen sähköjärjestelmän toimitusvarmuudelle ja millaisilla teknisillä ratkaisuilla näitä riskejä

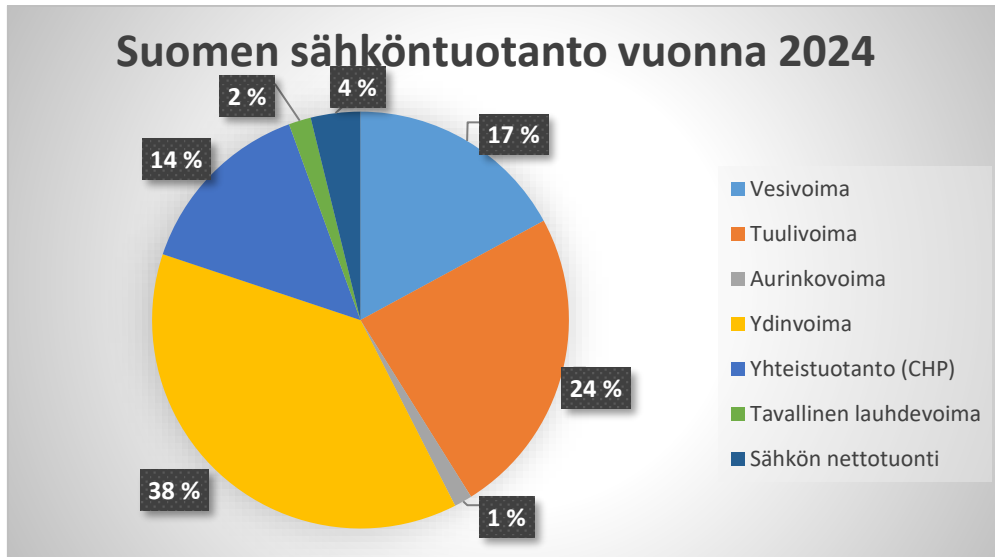
hallitaan. Tutkielmassa käytän lähteinä alan perusteoksia teknisen pohjan rakentamiseen. Hyödynnän myös viranomaislähteitä, koska asiat muuttuvat nopeasti ja perusteokset eivät ole pysyneet niin hyvin ajankohtaisimpien asioiden perässä. Tutkielma keskittyy ensisijaisesti kantaverkon tason tarkasteluun, eikä ota kantaa yksittäisten kuluttajien pienimuotoiseen aurinkosähköntuotantoon tai paikallisiin jakeluverkkohäiriöihin, esimerkiksi lumikuormien aiheuttamiin katkoihin.

## 2 Suomen sähköjärjestelmän rakenne ja nykytila

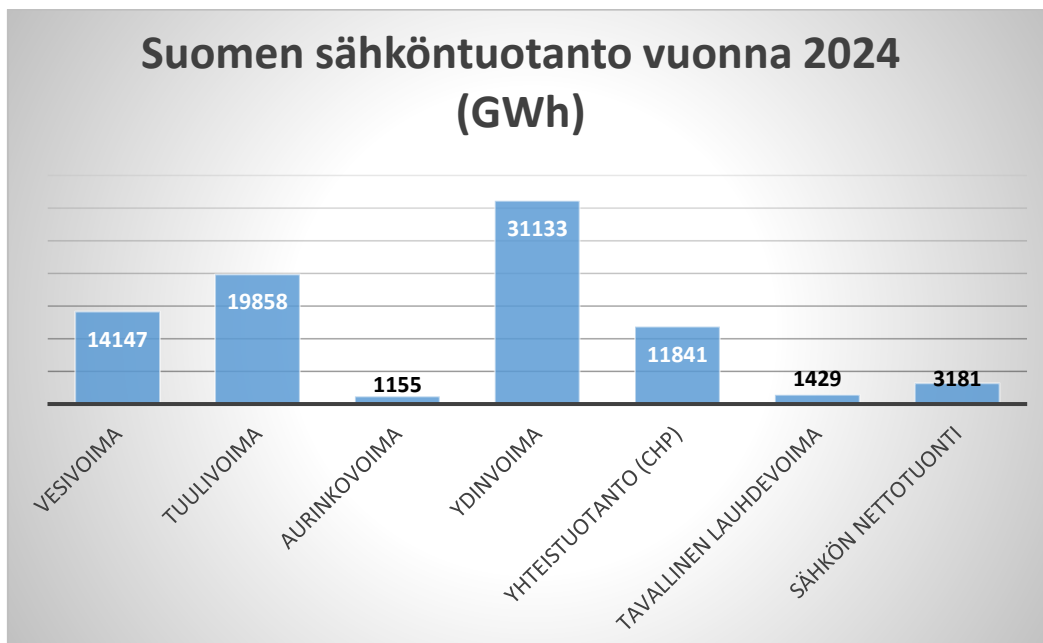
Tässä kappaleessa käydään erikseen läpi mistä Suomen sähköjärjestelmä koostuu ja mitä niiden pienemmät osaset ovat. Suomen sähköjärjestelmä koostuu tuotantolaitoksista, kantaverkosta, jakelu- ja siirtoverkosta, sähkönmyyjistä sekä sähkönkuluttajista.

### 2.1 Sähköntuotanto

Suomen sähköntuotanto on tällä hetkellä tietynlaisessa murroksessa, kun Suomessa ja maailmalla ajetaan sähköntuotantoa kohti fossiilitonta energiaa. Suomessa sähköntuotanto on jakaantunut hyvinkin monenlaiseen tuotantomuotoon, joista suurimmat ovat ydinvoima, tuulivoima ja yhteistuotanto (CHP). Muita tuotantomuotoja ovat vesivoima, aurinkovoima ja tavallinen lauhdevoima. Myös ulkomailta ostetaan nettotuontina sähköä, mutta se on alkanut vähentymään viimeisien vuosien aikana. Suomessa sähköä ei pystytä varastoimaan suuria määriä, joten tuotannossa on oltava niin paljon kapasiteettia, että se selviää tilanteissa, jossa kulutus on erittäin suurta. Suomessa sähkönkulutukseen vaikuttaa myös vuodessa tapahtuvat lämpötilan ja säänmuutokset, joiden vuoksi tätä kapasiteettia on oltava. (Elovaara&Haarla, 2011a, s.29) Kuvissa 1 ja 2 näkyy lukuarvoja ja suhteita Suomen sähköntuotannosta vuonna 2024.



**Kuva 1.** Suomensähköntuotanto prosentteina vuonna 2024 (Tilastokeskus, 15.4.2025)

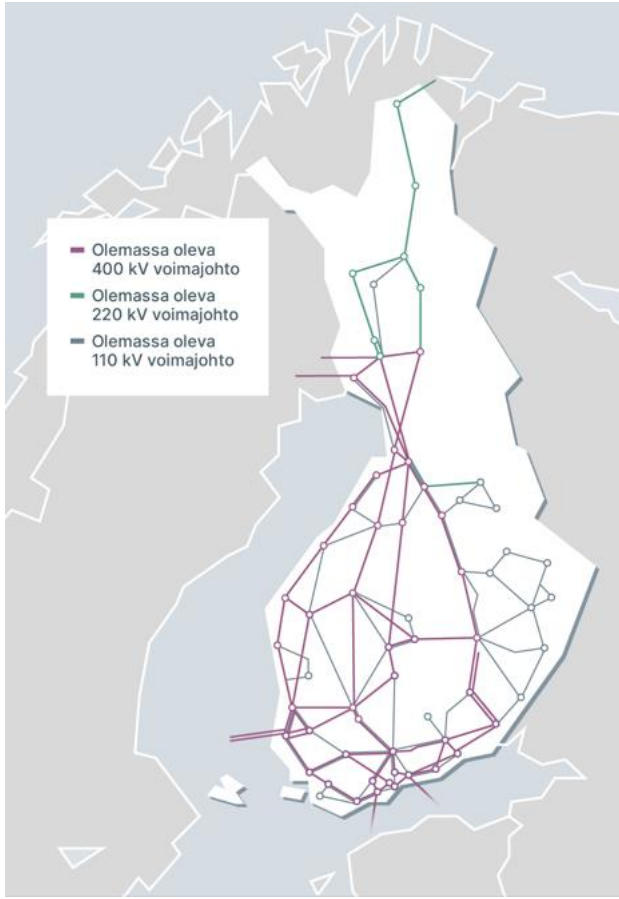


**Kuva 2.** Suomen sähköntuotanto lukuarvoina vuonna 2024 (Tilastokeskus, 15.4.2025)

## 2.2 Kantaverkko ja siirtoyhteydet

Suomensähköjärjestelmän yksi osa on sähköverkko, joka koostuu kantaverkosta ja siirtoverkosta. Kantaverkko on sähköjärjestelmän yksi kriittisimmistä osista, kun se yhdistää sähköntuotantolaitokset sähkökuluttajiin. Suomen kantaverkko koostuu kaukovoimansiirrosta, joka toteutetaan 400, 220 tai 110 kV johdoilla. Näiden jälkeen on keskijännitejakelu, joka toteutetaan 20 kV johdoilla ja näiden jälkeen pienjännitejakelu, joka toteutetaan 0,4 kV johdoilla. Nämä jännitearvot ovat jännitteiden nimellisarvoja. (Elovaara&Haarla, 2011a, s.57) 220 kV johtoja on uusittu hyvin paljon ja niitä on enää hyvin vähän käytössä. Suurin osa näistä johdoista löytyvät Lapista. Suomen sähköjärjestelmä on myös osa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää yhdessä Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan järjestelmien kanssa. Lisäksi Suomesta kulkee tasasähkö yhteys Viroon, joka yhdistää tämän pohjoismaisen järjestelmän Baltian sähköjärjestelmään. (Fingrid, 2024, n.d.)

Elovaaran ja Haarlän (2011b, s.96) mukaan kantaverkosta löytyy myös erilaisia sähköasemia. Sähköasemia kutsutaan myös kytkinasemiksi. Sähköasemien rakenne riippuu siitä mikä tehtävä asemalla on. Yleisimpiä ratkaisevia rakenteisiin liittyviä tekijöitä ovat ne, että onko tuotantolaitos kytkettynä asemaa tai käytetäänkö asemaa vain useampien johdosten risteyspisteenä vai käytetäänkö asemaa erilaisena muuntamona. Sähköasemien yleisimmät ja tärkeimmät komponentit ovat muuntajat, katkaisijat, erottimet ja mittamuuntajat. Myös näiden suojaukseen käytetään asemissa erilaisia releitä ja keski- ja pienjännitejakelussa käytetään varokkeita. Suurimmilta osilta sähköasemilta löytyy myös Kokoojakiskostoja. Ne mahdollistavat erilaisten tehonsiirtotilanteiden edellyttämät kytkentäratkaisut. (Elovaara & Haarla, 2011b, s.102)



**Kuva 3.** Suomen kantaverkko kartalla (Fingrid Oyj, 2024, n.d.)

### 2.3 Sähköjärjestelmän tasapainon hallinta

Suomen sähköjärjestelmän on oltava koko ajan tasapainossa. Sähkön tuotannon ja kulutuksen välinen tasapaino on sähköjärjestelmän toiminnan perusedellytys. Koska sähköä ei pystytä suurissa määrin varastoimaan suoraan verkkoon, on jokainen kulutettu kWh tuotettava samaan aikaan verkkoon. Tasapainon ensisijainen mittari on sähköverkon taajuus, joka on Suomessa ja muissa Pohjoismaissa vakioitu nimellistaajuudeksi 50,0 Hz. Suomessa sähköverkon tasapainosta vastuussa on Fingrid Oyj.

Elovaaran ja Haarlan (2011a, s.347) teoksessa kerrotaan myös, että kuormien ja tuotannon muutosten takia verkon taajuus on välillä nimellistaajuutta suurempi ja välillä taas pienempi. Normaalisti nämä muutokset ovat pieniä koko verkon liike-energiaan verrattuna ja siksi taajuuden muutokset ovat pieniä. Normaalitilanteessa verkon taajuus

pidetään välillä 49,9–50,1 Hz. Häiriöiden aikana taajuus voi olla lyhyen aikaa näiden rajojen ulkopuolella.

Fingrid ei myöskään tee ihan kaikkea tasapainonhallinnassa yksin. Jokaisella sähkömarkkinoiden osapuolella kuten sähkönmyyjillä ja suurilla teollisuuslaitoksilla on tasevastuu. Tämä tarkoittaa, että niiden on suunniteltava oma tuotantonsa ja hankintansa vastamaan kulutusta jokaisen taseselvitysjakson aikana. Taseselvitysjaksoa kutsutaan myös varttitaseeksi, koska sen kesto on aina 15 minuuttia. (Fingrid, 2026) Mikäli osapuoli ei itse pysty tähän, sillä on oltava sopimus tasevastaavan eli BRP(Balance Responsible Party) kanssa, joka hoitaa tasapainotuksen heidän puolestaan. (Fingrid, 22.5.2023.)

Tasapainon hallintaan kuuluu myös sähkön reservit. Sähköjärjestelmän reservit ovat välttämättömiä resursseja, joiden avulla kantaverkkoyhtiö Fingrid säätelee verkon taajuutta ja sähkön latua. Reservien keskeisenä tehtävänä on suojata järjestelmää häiriöiltä, kuten äkillisiltä voimalaitosten vikaantumisilta. Näiden lisäksi reservejä hyödynnetään myös sähkönsiirron muutostilanteiden hallinnassa. Järjestelmän jatkuvan toimivuuden ja varman sähkön kannalta reservien rooli on hyvin kriittinen (Fingrid, 24.10.2024).

### 3 Toimintavarmuuden ja häiriönsietokyvyn käsitteet

#### 3.1 Toimintavarmuus

Toimintavarmuudella tarkoitetaan järjestelmän kykyä suoriutua sille määritellystä tehtävästä. Sähköjärjestelmässä tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että sähköä on saatavilla standardit täyttävällä laadulla aina, kun kuluttajat sitä tarvitsevat. Elovaaran ja Haarlan mukaan (2011a, s.217) sähkövoimajärjestelmää voidaan pitää yhteiskunnan tärkeimpänä infrastruktuurina. Nyky-yhteiskunta on rakennettu siten, että ihmisten perustarpeiden tyydyttämisessä sähköllä on hyvin keskeinen rooli. Lähes kaikki mitä ihminen tänä päivänä tarvitsee ja tekee on liitännäinen tavalla tai toisella sähköön. Vettä ei voi pumpata ilman sähköä, ruokakauppa tarvitsee sähköä ruuan säilyttämiseen ja lähes kaikki lämmitysjärjestelmät ovat liitännäisiä sähköön. Näiden vuoksi sähköjärjestelmän toimintavarmuus on avain asemassa tämän päivän yhteiskunnassa.

Sähkönsiirtoverkko on silmukoitu verkko. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli siirtoreitin varrella oleva komponentti putoaa verkosta, niin sähköllä on aina rinnakkainen siirtymisreitti. Tätä kutsutaan N-1 periaatteeksi. Tämän mukaan järjestelmä suunnitellaan ja sitä käytetään siten, että se kestää aina yhden komponentin putoamisen tai vikaantumisen niin, ettei se vaikuta verkon toimintaan. Jakeluverkko taas on säteittäinen verkko ja siellä taas yhden komponentin putoaminen vaikuttaa aina sen verkon toimintaan.

Myös Suomen Sähkömarkkinalaissa (588/2013) kohdassa 40§ on laadittu kantaverkkoon kohdistuvia vaatimuksia mitä sen pitää lain mukaan täyttää. Laissa on paljon vaatimuksia koskien verkon toimintavarmuutta ja luotettavuutta. Myös samassa laissa 51§ on samantaisia vaatimuksia koskien jakeluverkon toimintaa. Myös tässä lakipykälässä on samantaisia vaatimuksia koskien jakeluverkkoa, kuin oli koskien kantaverkkoa.

### 3.2 Käyttövarmuus

Elovaara ja Haarla (2011a, s.276) kertovat teoksessaan voimajärjestelmän luotettavuudesta. Voimajärjestelmän luotettavuus (engl. power system reliability) jaetaan kahteen osa-alueeseen erilaisissa kuormitus-, vika-, ja keskeytystilanteissa. Riittävyys (engl. adequacy) tarkoittaa sitä, että voimajärjestelmä on kykenevä syöttämään kuormien tarvitseman tehon ja energian aina, kun otetaan huomioon suunnitellut ja suunnittelemattomat katkot ja keskeytykset. Käyttövarmuus (engl. security) tarkoittaa taas voimajärjestelmän kykyä kestää äkilliset häiriöt, kuten oikosulut ja komponenttien irtoamiset. Käyttövarmuus yleisesti on ajan mukaan muuttuva ominaisuus, jota voidaan arvioida tutkimalla voimajärjestelmän suoriutumista eri vioissa ja erilaisissa käyttötilanteissa. Jotta voimajärjestelmä voi olla käyttövarma sen on kestävä tavalliset viat, ilman että seurauksena on stabiilius- tai muita ongelmia.

Fingridin (2026) mukaan käyttövarmuudella tarkoitetaan sähköjärjestelmän kykyä sietää äkillisiä häiriöitä, kuten kompensointihäiriöitä tai komponenttien vikaantumisia niin, että järjestelmä täyttää sille asetetut vaatimukset. Korkea käyttövarmuus takaa, että sähkönsiirto jatkuu häiriöttömästi ja komponenttien mekaaniset ja termiset rajat eivät ylity. Se takaa myös sen, että jännitetasot pysyvät sallituissa rajoissa ja verkon stabiilius säilyy. Tätä arvioidaan myös vikojen yleisyyden ja niistä syntyvien seurausten perusteella, ja niihin vaikuttavat suoraan verkon suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa sovelletaankin siis yleisesti N-1-kriteeriä. Sen mukaan 400 ja 220 kilovoltin silmukoidun verkon on kestävä yksittäinen tavanomainen vika ja vaurioituneen osan erottaminen verkosta ilman, että siitä aiheutuu seurannaisvikoja tai keskeytyksiä sähköntuotannolle tai kulutukselle.

Fingrid (2026) kertoo myös, että harvinaisemmille vioille ja usean vian yhdistelmille sallitaan laajempia seurauksia. Fingrid seuraa käyttövarmuustasoa arvioitaessa myös asiakkaiden liityntäpisteiden vuosittaisia keskeytyslukumääriä ja -aikoja sekä keskeytyksestä aiheutunutta haittaa. Näiden tulee pysyä aiempien vuosien kohtuullisella tasolla.

Elovaaran ja Haarlan (2011a, s.257) mukaan stabiiliutta lisäämällä voidaan myös parantaa käyttövarmuutta. Verkon stabiilius liittyy läheisesti käyttövarmuuteen siten, että jos verkko menettää stabiiliuden, seurauksena on joko suurhäiriö tai verkko jakautuu osiin. Tavoitteena on se, että verkko kestää pienet muutokset sekä ennustettavat tapahtumat kuten oikosulut stabiilisti. Verkon stabiiliutta voidaan parantaa kaikilla sellaisilla tavoilla, jotka pienentävät siirtoreitin reaktanssia. Mitä pidempiä johtoja verkossa käytetään sitä suuremmaksi reaktanssi yleensä kasvaa. Varsinkin iso reaktanssi heikentää sekä kulma-että jännitestabiiliutta.

### **3.3 Häiriönsietokyky**

Verkon pitää olla toiminta- ja käyttövarma, mutta kun häiriö iskee verkon pitää sietää häiriötä ja toimia myös häiriönaikana. Häiriönsietokyky eli resilienssi eroaa näistä toiminta- ja käyttövarmuudesta siten, että tämä tulee silloin esiin kun häiriö on päässyt iskemään verkkoon.

Yksi mahdollisista häiriöistä on sähköpula. Sähköpula pääsee tapahtumaan silloin, kun sähkön tuotanto ja tuonti eivät kata sähkön kulutusta. Tällöin kulutusta joudutaan rajoittamaan tuotannon ja tasapainon ylläpitämiseksi. Rajoittaminen toteutetaan kiertävillä sähkökatkoilla. Sähköjärjestelmä on suunniteltu kestämään suurimman mahdollisen voimallituksen tai siirtoyhteyden äkillisen vikaantumisen niin silti kaikkia uhkia ei voi ennakoita. (Huoltovarmuuskeskus, 2026, s.2-5)

Suomen Sähköjärjestelmä on myös hyvin haavoittuva, koska energian tuotanto ja käyttö on maantieteellisesti hajautettu laajalle alueelle ja siirtoetäisyydet ovat tämän vuoksi pitkiä. Verkkoyhtiöt edistävät myös sähkönjakelun toimitusvarmuutta investoimalla keskijänniteverkon maakaapelointiin sekä lisäämällä verkostoon automaatiota ja rengasmaisia yhteyksiä. Sähköverkkojen ohjausjärjestelmät ovat hyvin automatisoituja ja niihin voi kohdistua merkittäviä kyberuhkia. Mahdollinen laaja sähkön toimitushäiriö voi vaatia valmiuslain mukaisten toimivaltuuksien käyttöönottoa. Poikkeusoloissa voidaan sähkön käyttöä rajoittaa tai kokonaan kieltää muihin kuin huoltovarmuuden kannalta

välttämättömiin tarkoituksiin. Sähkön varsinainen säännöstely perustuu kiintiösäännöstelyyn. Työ- ja elinkeinoministeriö vastaa voimahuollon turvaamisesta. Voimahuollon varmuus perustuu normaaliaikojen järjestelyihin, joiden avulla voidaan toimia pitkään myös kriisiaikana. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 15.1.2026 , s. 66)

## 4 Keskeiset haasteet ja riskitekijät

### 4.1 Tuotantorakenteen muutos

Tällä hetkellä sähköntuotanto on tietynlaisessa murroksessa ja siinä on jo tapahtunut ja tulee tapahtumaan muutoksia. Sähkön tuotantoa halutaan viedä koko ajan enemmän kohti fossiilittomia ratkaisuja. Tämä luo haasteita niin sähköntuotantoon, kuin sähköverkkoihin. Aurinko- ja tuulivoimassa sääolosuhteet ovat hyvin ratkaisevassa asemassa sähköntuotannon kannalta.

Elovaara ja Haarla (2011a, s.227) kertovat, että isot ja perinteiset voimalaitokset, kuten ydin- ja vesivoimalat pitävät sisällään generaattoreita. Nämä generaattorit luovat verkkoon hitausmomenttia eli inertiaa. Tämä inertia vastustaa taajuuden muutosta sähköverkossa. Modernit tuulivoimalat liittyvät yleisesti sähköverkkoon suuntaajakytkettynä, joka on erilainen tapa verrattuna aiemmin mainittuihin perinteisempiin voimalaitoksiin. Suuntaajakytkennässä ei ole sellaista generaattoria, joka loisi luonnollista inertiaa sähköverkkoon vaan nämä suuntaajakytketyt voimalaitokset vähentävät tätä inertiaa. Tämä tarkoittaa sitä, mikäli jossain häiriötilanteessa suuri voimalaitos putoaa verkosta niin verkon taajuus alkaa muuttumaan paljon nopeammin ja tämän paikkaamiseksi verkolta tarvitaan entistä nopeampia reservejä. (Varjakoski, Tuulivoiman liittäminen sähköverkkoon, s.22) Lapissa on otettu ensimmäisenä maailmassa käyttöön tuulipuiston POD (Power Oscillation Damping) säätöjärjestelmä, joka pystyy tehokkaasti vaimentamaan verkossa esiintyviä tehoheilahduksia. Tämä ratkaisu mahdollistaa huomattavasti suurempien tuotantomäärien liittäminen verkkoon. Myös uutena verkon vakautta ja liitettävyyttä parantavana ratkaisuna Fingrid on ottamassa Jylkän sähköasemalla käyttöön synkronikompensaattorin. Se on käytännössä iso tahtikone ilman minkäänlaista energianlähdettä. Tällä ratkaisulla varmistetaan länsirannikolle voimakkaasti keskittyneen tuulivoiman toimintaa ja parannetaan kantaverkon käyttövarmuutta alueella. Tämä synkronikompensaattori vakauttaa verkon jännitettä ja taajuutta mikä luo verkkoa seuraaville tuulipuistojen suuntaajille mahdollisuuden toimia stabiilisti erilaisissa käyttötilanteissa. Fingrid on myös tutkinut tarvetta lisätä synkronikompensaattoreita tai loistehokompensaattoreita

eli STATCOMeja(Static Compensator) sähköverkkoon niille alueille, jossa on paljon tuuli- ja aurinkovoimaa. (Fingrid, 2024, s.123)

Pelkästään jo vuonna 2022 kantaverkkoon liittyi yhteensä 1 940 MW edestä tuulivoimaloita ja näiden avulla on jo vältetty ja vältetään epäsuorasti noin 357 000 hiilidioksidiekvivalenttitonin päästöt vuosittain. Näillä tuulivoimaratkaisuilla on merkittävä myönteinen ilmastovaikutus, mutta ne luovat myös haasteen. (Fingrid, 2024, s.13). Tuulivoimaa lisätään siis paljon, mutta sen vastapainoksi tarvitaan myös paljon säätövoimaa, koska sääolosuhteet eivät mahdollista sitä, että tuulivoimalat voivat pyöriä koko aikaa. Eli sääolosuhteilla on suuri vaikutus näihin. Myös, kun aurinkopaneelit lisääntyvät niin näissä on sama ongelma, koska aurinko ei paista aina. Auringon valo vähentyy täällä pohjoisessa aina, kun mennään talvea kohti. Sääriippuvaisen tuotannon kasvaessa korostuu tarve säätökykyiselle perusvoimalle, kuten ydinvoimalle. Näiden on kyettävä turvaamaan sähkön saanti myös talvella, jolloin aurinko- ja tuulivoiman tuotanto on vähäisimmillään ja tehontarve on suurimmillaan.

## **4.2 Geopoliittiset ja fyysiset uhat**

Sähköjärjestelmään kohdistuu nykypäivän erilaisia uhkia ja siihen vaikuttaa myös tämän päivän geopoliittinen tilanne. Suomen sähköjärjestelmä on myös hyvin riippuvainen siirtoyhteyksistä etenkin Ruotsiin, jota kohtaan kohdistuva uhka on hyvin kriittinen ja ne ovat Suomen sähköinfrastruktuurille tärkeitä. Niin Lapissa kulkevat yhteydet, kuin Pohjanlahden yli menevät merikaapelit. Sähköverkko on hyvin kriittinen osa yhteiskunnan perusinfrastruktuuria. Siihen kohdistuva hyökkäys on tehokas tapa horjuttaa yhteiskuntaa ilman niin sanottua perinteistä sodankäyntiä. Maailman tilanteen muututtua täytyy varautua erilaisiin uhkiin.

Sähköjärjestelmä on jo kokenut hybrdivaikuttamista, kun EstLink 2 – merikaapeli rikkoutui 2024 vuoden lopussa. Kaapelin rikkojaksi epäillään Eagle S – alusta, joka olisi raahannut ankkuriaan merenpohjassa niin, että se vahingoittaisi tätä kaapelia. Kaapelin sisällä olleita tietoliikennekaapeleita vahingoittui ja yksi sähkönsiirtokaapeli rikkoutui. Tämän

rikkoutumisen takia sähkön tuontikapasiteetti on alentunut usean kuukauden ajaksi. Tässä on hyvä ja selkeä esimerkki infrasabotaasista. Myös esimerkiksi Fenno-Skan kaapelit ovat alttiita tällaiselle vaikuttamiselle. Näitä on myös hyvin vaikea valvoa sen vuoksi, että ne menevät merenpohjassa. (Huoltovarmuuskeskus, 28.1.2025)

Kriittiset solmupisteet eli suuret kytkinasemat ja muuntoasemat ovat hyvin haavoittuvia suuren fyysisen kokonsa vuoksi, ja niihin voi kohdistua myös fyysistä vaikuttamista. Tällaisen aseman vahingoittaminen voi katkaista sähköt hyvinkin laajalta alueelta aseman ympäriltä. Myös jos yksi asema poistuu käytöstä, se voi aiheuttaa ketjureaktion ja kytkeä pois muitakin asemia verkosta. Näiden asemien komponenteilla on myös materiaaliset riskit. Näiden asemien suurmuuntajat ja korkeajännitekytkimet eivät ole massatuotteita, vaan niitä tuotetaan usein tilaustöinä. Tällaisen rikkouduttua sähköasema on poissa käytössä useita kuukausia, pahimmassa tapauksessa jopa vuoden. Tällaiset asiat tekevät fyysistä iskuista pitkäkestoisia uhkia, koska tällaisista iskuista palautuminen ja vahinkojen jälleenrakennus vie aikaa.

Suomen ja laajemmin myös koko Itämeren alueen sähköpohjainen geopoliittinen asema on muuttunut paljon Venäjän hyökkäyssodan alettua Ukrainassa. Sodan alettua keväällä 2022 Suomella oli vielä toimiva sähkönsiirtoverkko Venäjän kanssa. Suomen Venäjältä tuodun koko sähköntuonnin osuus on ennen ollut noin viidennes kokonaishankinnasta. Suomi päätti katkaista sähkön tuonnin Venäjältä 14.5.2022 tämän aloitettua jo aikaisemmin mainitun hyökkäyssodan Ukrainaan (TEM, 2026). Muualla Itämeren alueella irtautuminen tapahtui hiukan myöhemmin, kuin Suomella. Baltian mailla katkesi sähköntuonti samaan aikaan kuin Suomessa, mutta he irtosivat lopulta Venäjän taajuusalueesta vasta vuoden 2025 alussa.

### **4.3 Kyberturvallisuus ja digitaalinen haavoittuvuus**

Koko maailma on digitalisaation murroksessa. Niin on myös sähköverkkokin digitalisoitu. Sähköverkkoa ohjataan nykyään SCADA-järjestelmillä (Supervisory Control and Data Acquisition), joiden avulla kerätään dataa verkosta ja jonka avulla lähetetään komentoja

asemille. SCADA-järjestelmä, jolla ohjataan sähköverkkkoja on liitetty aina myös muihin järjestelmiin mikä luo uhan sähköverkon kyberturvallisuudelle ja digitaaliselle haavoittuvuudelle. Oikeastaan kaikki Suomen tärkeimmistä perusinfrastruktuureista on näiden järjestelmien kautta kytkettynä tietoverkkoon.

Elovaaran ja Haarlan (2011b, s.386) mukaan SCADA-järjestelmän tehtävänä on suorien valvonta ja ohjaustoimenpiteiden avulla vastata energian siirtoprosessin hallinnasta. Tämä tarkoittaa tuotetun ja kulutetun sähkön tasapainon ylläpitämistä sekä siirron ohjaamista toimimaan mahdollisimman taloudellisesti ja mahdollisimman käyttövarmasti. Tämä vaatii erilaisten tietojen keräämistä, edelleen prosessointia ja tietojen vaihtoa yhteiskäyttöjärjestelmään liittyvien muiden yhtiöiden ja toimijoiden kanssa. Kerättävien ja siirrettävien tietojen määrä kasvaa suureksi, ja se koostuu muun muassa jännitteistä verkon eri osissa, johtojen virroista ja tehoista sekä kytkinlaitteiden kulloisistakin asennoista ja niissä tapahtuvista muutoksista.

Kybervaikuttamista on nykypäivänä monenlaista erilaista, joten järjestelmien pitää varautua moneen erilaiseen vaikuttamiseen. Yleisimpiä vaikuttamisen tyyplejä sähköjärjestelmälle ovat hakkerointi (hacking), tunkeutuminen (code injection), vakoiluohjelma (spyware) sekä palvelunestohyökkäys (Dos attacks.). Tällaisilla ohjelmilla päästään luvattomasti käsiksi erilaisiin järjestelmiin ja niiden avulla tietoja pystytään manipuloimaan. Myös tätä kautta pystytään manipuloimaan sosiaalista mediaa ja levittämään muutakin digitaalista disinformaatiota. Näiden keinojen avulla pyritään lietsomaan epävakautta infrastruktuuriin ja yhteiskuntaan (Euroopan komissio, 2025). Etenkin sähköverkkoon kohdistuvat uhat eivät ole vain yksittäisten harrastelijahakkereiden työtä. Kyse on usein valtiollisista toimijoista, jotka käyttävät näitä kyberhyökkäyksiä painostuskeinona ja osana nykyaikaista modernia hybridisodankäyntiä ja hybridivaikuttamista.

EU:n(Euroopan unioni) lainsäädäntöäkin on rakennettu niin, että niiden kautta yhtiöitä vaaditaan varautumaan kyberuhkille. Tämä on NIS2-direktiivi. Kyseisessä laissa säädetään kyberturvallisuutta koskevien riskien hallinnasta. Sillä vaaditaan, että kansallisen

kyberturvallisuusstrategian päivitystarvetta arvioidaan viiden vuoden välein. Tarvittaessa strategiaa kehitetään ja ajantasaistetaan useamminkin. NIS2-direktiivi vaatii, että jokaiselle toimialalle on valittu vastuuorganisaatio, joka vastaa tämän direktiivin käytännönpanosta. Sähköverkoista Suomessa vastaa Energiavirasto (Kyberturvallisuuskeskus, 2026).

Kyberturvallisuus ja haavoittuvuudet ovat nykypäivänä yksi suurimmista uhkista valtiota ja perusinfrastruktuuria kohtaan. Suomen valtio on ottanut nämä uhkat selvästi tosisaan. Nämä asiat ovat myös selvästi salaisia ja tästä aiheesta tietojen saanti on erittäin kivenalla. Yrityksiltä vaaditut vaatimukset ovat julkista tietoa, mutta valtionhallinnon ja niiden kanssa merkittävässä vuorovaikutuksessa olevilta tahoilla tekninen varautuminen näihin uhkiin on pidetty turvallisuussyistä hyvin salassa.

## 5 Keinot sähköjärjestelmän turvaamiseksi

### 5.1 Teknologiset ratkaisut ja joustavuus

Sähköjärjestelmän teknologinen murros ja sääriippuvaisen tuotannon kasvu edellyttää IEA:n (2026 s. 73) mukaan huomattavaa joustavuuden lisäämistä järjestelmien turvaamiseksi. Erityisesti kysyntäjousto on noussut keskeiseksi resurssiksi, jonka avulla kulu- tusta voidaan siirtää tai vähentää verkon kuormitustilanteen mukaan. Näillä teknologi- sella ratkaisulla on suora vaikutus järjestelmän resilienssiin. Sillä ne auttavat vahvista- maan sähköverkon kestävyttä sen kovimmassa stressitilanteissa ja vähentää tarvetta kal- liille niin sanotun huippukapasiteetin investoinneille. Suuresta potentiaalista huolimatta teollisuuden prosesseissa, kysyntäjoustop laajamittainen hyödyntäminen on vielä hyvin alkuvaiheessa.

Sähköjärjestelmän tuotannon ja kulutuksen on oltava jatkuvasti tasapainossa. Kun säh- köntuotannon säätökyky heikkenee, on sähkönkulutuksen säätökyvyn tällöin vahvistut- tava. Sään mukaan vaihtelevan uusiutuvan energian kasvun myötä tarve sähkön kulutus- joustolle, sähkön varastoinnille sekä sektori-integraation mahdollistamille ratkaisuille kasvaa huomattavasti. Sähkön kysyntäjoustop potentiaali on suuri, ja siksi suuren osan siitä arvioidaan tulevan sähköjärjestelmän käyttöön. Sähkönkulutuksen älykkäällä oh- jauksella voidaan saavuttaa suuria joustomahdollisuuksia niin sekunti-, minuutti- kuin tuntitasolla. Etähallinnassa olevat kuormat sekä automaattinen ohjaus, joka seuraa säh- kön kysyntä-tarjontatasapainoa, mahdollistaa kulutuksen optimoinnin käyttäjän tarpei- den mukaan. Samalla kulutuksen ohjaamisen kustannukset sekä manuaalisen työn tarve vähenevät (Fingrid, 2024, s. 82).

Teknologisen joustavuuden yksi keskeisistä tuki pilareista tulee olemaan sähkövarastot. Erityisesti suurikokoiset akkujärjestelmät, jotka yleistyvät nopeasti. Työ- ja elinkeinomi- nisteriön (2025) kansallisen akkustrategian mukaan varastointiteknologiat ovat välttä- mättömiä sähköjärjestelmän resilienssin ylläpitämiseksi. Akkuvarastot tarjoavat kykyä reagoida välittömästi tuotannon ja kulutuksen välisiin epätasapainoihin. Akkuvarastojen

avulla voidaan antaa sähköjärjestelmälle tukea silloin kun se sitä tarvitsee kuten esimerkiksi taajuuden vakauttamisessa. Nämä ovat olleet yleisesti suurien voimalaitosten vastuulla, mutta luonnollisen inertian vähennyttyä sille on täytynyt keksiä muita keinoja. Nämä myös kasvattavat huomattavasti sähköreserviä ja auttaa reservimarkkinoilla niin, että sähkönhinta ei karkaa liian suureksi (Fingrid, 24.2.2026). Tämä teknologinen kehitys akkuvarastoissa mahdollistaa sääriippuvaisen tuotannon kasvun ilman, että verkon vakaus kärsii.

## 5.2 Huoltovarmuus ja varautuminen

Sähköjärjestelmän resilienssi ei perustu ainoastaan teknologiseen joustavuuteen vaan se edellyttää myös vahvaa ja suunnitelmallista huoltovarmuutta ja ennalta suunniteltuja varautumistoimenpiteitä. Suomessa suurimmassa vastuussa tästä on Huoltovarmuuskeskus. Huoltovarmuuskeskuksen ja energiayhtiöiden välisellä yhteistyöllä varmistetaan kriittisen infrastruktuurin toimivuus kaikissa olosuhteissa. Fyysinen varmuus nojaa N-1-periaatteella rakennettuun verkkoon, joka kestää aina yhden komponentin putoamisen.

Huoltovarmuuden kannalta keskeistä on kyky hallita tilanteita, joissa sähkön kysyntä ylittää tarjolla olevan tuotannon ja tuonnin määrän. Huoltovarmuuskeskuksen (2021) mukaan tilanteet ovat harvinaisia, eikä niitä ole ollut viime vuosikymmeninä. Toteutuessaan sähköpulatilanne on vakava. Valtakunnallisessa sähköpulatilanteessa kantaverkkoyhtiö Fingrid ohjeistaa verkonhaltijoita rajoittamaan kulutustaan, ja verkonhaltijat toteuttavat rajoitukset. Tällaisissa sähköpulatilanteissa varautuminen perustuu sähkönkäyttöpaikkojen tarkkaan priorisointiin. Yhteiskunnan kannalta elintärkeät kohteet, kuten sairaalat, pelastustoimi ja vesihuolto on luokiteltu kriittisiksi ja niiden sähkönsaanti pyritään turvaamaan viimeiseen saakka. Mikäli tekniset joustokeinot eivät riitä, Fingrid voi joutua turvautumaan hallittuihin ja kiertäviin sähkökatkoihin. Nämä katkot ovat välttämätön resilienssityökalu, jolla estetään järjestelmän hallitsematon romahtaminen ja laajamittainen sähköpimeys.

Huoltovarmuuskeskuksen (2021) mukaan valmiuslain poikkeusoloja koskevan sähkön käytön sääntelyssä poikkeusolot ovat määritelty seuraavasti :

Suomeen kohdistuva aseellinen tai siihen vakavuudeltaan rinnastettava hyökkäys ja sen välitön jälkitila. Suomeen kohdistuva huomattava aseellisen tai siihen vakavuudeltaan rinnastettavan hyökkäyksen uhka, jonka vaikutusten torjuminen vaatii tämän lain mukaisten toimivaltuuksien välitöntä käyttöön ottamista. Väestön toimeentuloon tai maan talouselämän perusteisiin kohdistuva erityisen vakava tapahtuma tai uhka, jonka seurauksena yhteiskunnan toimivuudelle välttämättömät toiminnot olennaisesti vaarantuvat. Erityisen vakava suuronnettomuus ja sen välitön jälkitila. Sekä vaikutuksiltaan erityisen vakavaa suuronnettomuutta vastaava hyvin laajalle levinnyt vaarallinen tartuntatauti. Kun valtioneuvosto on yhdessä tasavallan presidentin kanssa todennut poikkeusolot, niin valtioneuvosto voi valmiuslain mukaisella käyttöönottoasetuksella säätää sähkön säännöstelystä. Suuronnettomuuden ja tartuntatauti tilanteissa sähkön säännöstelyä koskevat kohdat eivät täyty valmiuslain mukaan.

### **5.3 Kansainvälinen yhteistyö**

Suomen sähköjärjestelmä ei selviä yksin, joten sen avuksi tarvitsemme kansainvälistä yhteistyötä. Fingridillä (2026) on merkittävä rooli sähkömarkkinoiden ja kantaverkon kehittämisessä yhteistyössä sidosryhmien kanssa. Fingrid osallistuu kehittämiseen niin kansallisella, kuin pohjoismaisella ja eurooppalaisella tasollakin. Suomi on siis osa pohjoismaista 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 verkkoon kahdella 400 kV vaihtosähköyhteydellä Lapissa. Myös Inarista kulkee Norjaan 220 kV vaihtosähköyhteys. Näiden lisäksi Suomesta on rakennettu Merikaapeleina kaksi Tasasähköyhteyttä Ruotsiin nimeltään Fenno-Skan 1 ja 2. Nämä molemmat lähtevät Suomessa Raumalta ja Ruotsissa Fenno-Skan 1 päättyy Dannebohon ja Fenno-Skan 2 päättyy Finnböleen. Naantalista lähtee myös tasasähkö yhteys Ahvenanmaalle. Pohjoismainen

synkronialue kytkeytyy muihin järjestelmiin näiden tasavirtayhteyksien avulla. Suomen ja Viron välillä kulkee merikaapeleina kaksi tasavirtayhteyttä Estlink 1 ja Estlink 2 (Fingrid, n.d.). Näiden avulla pystymme ostamaan ja myymään sähköä muille maille ja nämä yhteydet saattavat mahdollisessa häiriötilanteessa osoittautua hyvinkin tärkeiksi.



**Kuva 4.** Pohjoismaiden ja Baltian kantaverkko (Fingrid Oyj, n.d)

Suomi on myös eurooppalaisessa yhteistyössä mukana eritoten Euroopan Unionin kautta ja sitä kautta se kuuluu erilaisiin yhdistyksiin. Yksi virasto, joka on Euroopan unionin alla on ACER(Agency for the Cooperation of Energy Regulators). Se on Energiaregulaattoreiden yhteistyövirasto ja se on perustettu avustamaan ja koordinoimaan kansallisten energia-alan sääntelyviranomaisten työtä. Suomea ACERissa edustaa energiainfrastruktuurivirasto (Fingrid, ACER, n.d.). EU:n myötä Suomen sähköjärjestelmä on osa ENTSO-E:tä(the European Network of Transmission System Operators for Electricity) (Fingrid, ENTSO-E, 2026) . ENTSO-E on EU:n järjestelmävastaavien kantaverkkoyhtiöiden yhdistys, jonka jäseninä on 40 yritystä 36 eri maasta. Se on yksi maailman suurimmista yhteen liitetystä verkostoista. Se on perustettu EU-lainsäädännön nojalla ja se tarjoaa

teknistä koordinoitua ja strategista tukea Euroopan energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. ENTSO-E yhdistää siirtoverkonhaltijoiden ainutlaatuisen asiantuntemuksen eurooppalaisten kansalaisten hyödyksi pitämällä valot päällä, mahdollistamalla energiasiirtymän sekä edistämällä sisäisen sähkömarkkinan toteuttamista ja optimaalista toimintaa muun muassa täyttämällä ENTSO-E:lle EU-lainsäädännön perusteella annetut toimeksiannot. Tämän yhdistyksen tehtävä on kaksijakoinen. Heidän täytyy hallita nykyhetkeä varmistamalla turvallinen, kilpailukykyinen ja tehokas sähköjärjestelmä sekä samalla valmistautua tulevaisuuteen, jotta voidaan luoda hiilineutraaliuden vaatimukset täyttävä sähköjärjestelmä. ENTSO-E siis luo EU:n alueella yhteiset verkkosäännöt yhdistyksen jäsenille, joiden avulla varmistetaan, että naapurimaat pystyvät toimimaan yhteistyössä (ENTSO-E, 2026).

## 6 Johtopäätökset

Tämän työn tavoitteena oli selvittää mitkä ovat merkittävimmät tekniset ja turvallisuuspoliittiset riskit Suomen sähköjärjestelmän toimitusvarmuudelle ja millaisilla teknisillä ratkaisuilla näitä riskejä hallitaan.

Tutkielmassani käyttämät tiedot perustuu eri viranomaisten julkaisemiin lähteisiin sekä valtion virastojen julkaisemiin dokumentteihin. Teoreettinen osuus sähköverkoista ja niiden toimivuudesta toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Näiden tietojen yhteensovituksella pyrittiin luomaan parempi kokonaiskuva tutkitusta aiheesta.

Suomen sähköverkko on ollut viime vuosina suuressa murroksessa ja se on siirtynyt uuteen aikakauteen. Riippuvuus Venäjään on katkaistu, mikä on lisännyt selkeästi meidän omavaraisuutemme tarvetta. Koska olemme nyt täysin riippuvaisia yhteyksistä Ruotsiin, näiden suojaaminen on noussut kansallisen turvallisuuden ytimeen.

Myös tuotannon muutokset luovat Suomen sähköverkolle tulevaisuudessa omanlaisensa haasteen. Perinteiset vanhemmat fossiilisia polttoaineita käyttäneet voimalaitokset vähenevät ja fossiilivapaat energiamuodot tekevät tuloaan. Elektroniikan määrä tätä myötä sähköverkossa kasvaa. Koska perinteisten voimaloiden luomaa inertiaa joudutaan kompensoimaan verkkoon erilaisten STATCOM laitteiden avulla sekä tulevaisuudessa erilaisilla teollisilla akkuvarastoilla.

Turvallisuuspoliittisten riskien osalta työssä korostuivat valtiollisten toimijoiden aiheuttamat uhat niin fyysisiin laitteisiin, kuin erilaisiin digitaalisiin ohjelmistoihin. Teknisellä puolella merkittävimäksi riskiksi tunnistettiin tälläkin hetkellä sähköntuotannossa valitseva energiamurros. Kun perinteinen fossiilinen tuotanto vähenee uusiutuva ja sääriippuvainen energia lisääntyy. Myös sähköverkon luonnollinen inertia pienenee, mikä altistaa järjestelmää mitä enemmän taajuudenvaihteluille.

Myös sähköverkkoihin tullut digitalisaatio on tehnyt verkon ohjauksesta tehokasta, mutta samalla se on luonut pysyvän mahdollisuuden digitaaliselle haavoittuvuudelle. Näihin kohdistuvien uhkien ennaltaehkäiseminen on välttämätöntä toimivalle yhteiskunnalle. Digitaalisia riskejä ja kyberturvallisuutta puolestaan hallitaan erilaisilla lainsäädännöillä. EU-lainsäädännössä oleva NIS2-direktiivi on tässä avainasemassa. Se pakottaa yhtiöitä valvomaan toimintaansa tiukemmin. Valtion ja sen kanssa tiukassa yhteistyössä olevien tahojen digitaalista varautumista pidetään salaisena osana kansallista turvallisuutta, jonka vuoksi julkisuudessa siitä ei ole paljoakaan tietoa.

Suomi ei selviä yksin oman sähköjärjestelmänsä kanssa. Pohjoismainen synkronialue ja EU-tason ENTSO-E-yhteistyö luo Suomelle tietynlaisen turvaverkon. Näiden yhteistöiden kautta Suomi tekee tiivistä yhteistyötä yhdessä pohjoismaiden ja eri EU:n jäsenvaltioiden kanssa. Huoltovarmuus ja sähkön riittävyys kriisiolosuhteissa nojaavat vahvasti tähän saavutettuun yhteistyöhön. Lopuksi tutkielmassa todettiin, että fyysisten uhkien ja teknisten ratkaisujen tukena täytyy olla hyvä ja tiivis kansainvälinen yhteistyö. Suomen sähköjärjestelmän toiminta ja huoltovarmuus on nykyään kiinteä osa laajempaa eurooppalaista energiaturvallisuutta.

## Lähteet

- Elovaara, J. & Haarla, L. (2011a). *Sähköverkot I*. Helsinki: Otatieto.
- Elovaara, J. & Haarla, L. (2011b). *Sähköverkot II*. Helsinki: Otatieto.
- ENTSO-E. (2026). ENTSO-E Mission statement. Noudettu 3.5. <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/mission-statement/>
- Euroopan komissio. (1.4.2025). Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, Neuvostolle, Euroopan Talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Noudettu 3.5.2026 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52025DC0148>
- Fingrid. (22.5.2023). Tasevastuuta ja taseselvitystä koskeva käsikirja. Noudettu 31.3.2026 <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/tase-sahko/voimaan-22.5.2023-01.00-liite-1-osa-2-fingrid-oyjn-yleiset-taseselvityksen-ehdot.pdf#:~:text=%2D%20Tulee%20suunnitella%20s%C3%A4hk%C3%B6taseensa%20tasapainoon%20taseselvitysjaksoittain>
- Fingrid. (24.10.2024). Energia-alan toimijat vaikuttavat aktiivisuudellaan sähköjärjestelmän tasapainotukseen ja kustannuksiin. Noudettu 31.3.2026 <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2024/energia-alan-toimijat-vaikuttavat-aktiivisuudellaan-sahkojarjestelman-tasapainotukseen-ja-kustannuksiin/>
- Fingrid. (2024). Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024-2033. Noudettu 27.2.2026 [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid\\_kehittamissuunnitelma\\_2024-2033.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_kehittamissuunnitelma_2024-2033.pdf)
- Fingrid. (24.2.2026). Sähkövarastojen yhteisteho Suomessa jo yli 1 000 MW. Noudettu 28.4. <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2026/sahkovarastojen-yhteisteho-suomessa-jo-yli-1-000-mw/>
- Fingrid. (2026). Pohjoismainen sähköjärjestelmä ja liitynnät muihin järjestelmiin. Noudettu 1.4.2026 <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/pohjoismaisen-sahkojarjestelma-ja-liitynnat-muihin-jarjestelmiin/>



<https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/toimintamme/saantely-ja-valvonta/nis-2-euroopan-unionin-kyberturvallisuusdirektiivi>

Tilastokeskus (15.4.2025). Suomen sähkön tuotannosta 95% perustui fossiilittomaan energiaan vuonna 2024. Noudettu 27.2.2026 <https://stat.fi/fi/julkaisu/cm1kktw8ualm207vwnzpsmpc8>

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2.11.2017). Yhteiskunnan turvallisuusstrategia. Noudettu 13.3.2026 [https://tem.fi/documents/1410877/2132272/Yhteiskunnan\\_turvallisuusstrategia.pdf/1f6b0b51-5069-4979-9f3b-579f8c0543d7/Yhteiskunnan\\_turvallisuusstrategia.pdf.pdf](https://tem.fi/documents/1410877/2132272/Yhteiskunnan_turvallisuusstrategia.pdf/1f6b0b51-5069-4979-9f3b-579f8c0543d7/Yhteiskunnan_turvallisuusstrategia.pdf.pdf)

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2026). Venäjän hyökkäys Ukrainaan. Noudettu 17.5. <https://tem.fi/venajan-hyokkays-ukrainaan>

Valtioneuvosto. (2021). Kansallinen akkustrategia 2025. Noudettu 28.4.2026 <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/server/api/core/bitstreams/29d17e24-a34a-4664-8a91-bf6a320bc193/content>

Varjakoski, Saara. (5.2024). Tuulivoiman liittäminen sähköverkkoon. Opinnäytetyö(AMK). Noudettu 19.3.2026 [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/856504/Varjakoski\\_Saara.pdf;jsessionid=F134273206629AB1EAB1133DBC0BF13F?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/856504/Varjakoski_Saara.pdf;jsessionid=F134273206629AB1EAB1133DBC0BF13F?sequence=2)

Vesa, Petri. (27.8.2021). Huoltovarmuuskeskukselle laadittu selvitys: Keskeytyskriittisten sähkökäyttöpaikkojen priorisointi. Noudettu 2.5.2026 <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/aeda4fbd17ce27c2628e126b749615a86c503b3d/sahkonkayttopaikkojen-priorisointi-selvitys-270821.pdf>