



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Elsa Lounaja

## **Sähkön huoltovarmuus julkishyödykkeenä**

Markkinapuutteet ja julkisen sektorin rooli vihreän siirtymän Suomessa

Laskentatoimen ja rahoituksen  
akateeminen yksikkö  
Taloustieteen kandidaatintutkielma  
Kauppatieteiden  
kandidaattiohjelma

Vaasa 2025

---

**VAASAN YLIOPISTO****Laskentatoimen ja rahoituksen akateeminen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Elsa Lounaja		
<b>Tutkielman nimi:</b>	Sähkön huoltovarmuus julkishyödykkeen: Markkinapuutteet ja julkisen sektorin rooli vihreän siirtymän Suomessa		
<b>Tutkinto:</b>	Kauppätieteiden kandidaatti		
<b>Oppiaine:</b>	Taloustiede		
<b>Työn ohjaaja:</b>	Jaana Rahko		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2026	<b>Sivumäärä:</b>	<b>43</b>

---

**TIIVISTELMÄ:**

Vihreä siirtymä on muuttanut Suomen energiajärjestelmää ja kiihdyttänyt sähköistymistä, minkä seurauksena sähköstä on tullut keskeinen osa energiahuoltovarmuutta. Samalla energian tuotantorakenteen muutos on lisännyt vaihtelevuutta ja korostanut jouston, varakapasiteetin sekä sähköverkon kehittämisen merkitystä. Suomen sähköjärjestelmän tuotantoa ja kysyntää kuvaava aineisto viittaa siihen, että vaihtelevuus ja jouston tarve kasvavat myös tulevaisuudessa, mikä vahvistaa julkisen sektorin roolia huoltovarmuuden turvaamisessa. Lisäksi sähköjärjestelmän toiminta kytkeytyy kantaverkon luonnolliseen monopoliin sekä pitkäaikaisiin ja epävarmoihin investointeihin.

Tutkielman päätavoitteet ovat selvittää sähkön huoltovarmuuden luonne julkishyödykkeenä sekä analysoida huoltovarmuuteen liittyviä markkinapuutteita ja keinoja, joilla julkinen sektori voi täydentää markkinoita. Tutkimuskysymyksiä lähestytään julkishyödyketeorian, markkinapuutteiden ja investointien epävarmuuteen liittyvän teorian avulla. Tutkimuksessa hyödynnetään Suomen energiamarkkinoita ja energiajärjestelmää koskevaa viranomaisaineistoa, energiasektorin toimijoiden raportteja sekä kansallisia ilmasto- ja energiastrategioita.

Tutkielman tulokset osoittavat, että sähkön huoltovarmuudessa ilmenee Suomessa julkishyödykkeen kaltaisia piirteitä, minkä vuoksi markkinat eivät yksin tuota huoltovarmuutta optimaaliselle tasolle. Lisäksi huoltovarmuutta uhkaavat markkinapuutteet liittyvät erityisesti jouston riittävyyteen, varakapasiteetin puutteeseen ja hintasignaalien heikkouteen sekä investointien epävarmuuteen. Julkinen sektori on vastannut näihin haasteisiin muun muassa varautumisvelvoitteilla, jouston edistämällä, verkon kehittämisen sääntelyllä ja investointikannustimilla.

---

**AVAINSANAT:** julkishyödykkeet, julkinen talous, vihreä siirtymä, vihreä talous, tuulienergia, uusiutuvat energialähteet, energiamarkkinat, sähkömarkkinat

## Sisällys

1	Johdanto	5
2	Taloustieteellinen viitekehys markkinapuutteille ja julkishyödykkeille	7
2.1	Julkishyödyketeoria	7
2.1.1	Julkishyödykkeiden määritelmä ja ominaisuudet	7
2.1.2	Julkishyödykkeen tarjonnan määräytyminen	8
2.1.3	Preferenssien paljastaminen ja vapaamatkustajaongelma	10
2.1.4	Julkishyödykkeiden rahoitusongelma ja julkisen sektorin rooli	11
2.2	Markkinaepäonnistumisen teoria	12
2.2.1	Luonnollinen monopoli:	12
2.2.2	Vapaamatkustajaongelma	13
2.2.3	Koordinaatio-ongelma	14
2.3	Investointien epävarmuus ja odotusoptio	15
3	Energiahuoltovarmuus ja vihreä siirtymä: käsitteellinen ja ilmiöteoreettinen viitekehys	17
3.1	Vihreä siirtymä ilmiönä	17
3.2	Energiahuoltovarmuuden käsite	18
3.3	Vihreän siirtymän aiheuttamat muutokset energiamarkkinoilla	19
3.4	Uudet haavoittuvuudet ja julkisen sektorin rooli	21
4	Sovellus Suomen sähkömarkkinoille vihreän siirtymän aikakaudella	23
4.1	Suomen sähköjärjestelmä	23
4.2	Tulevaisuuden kasvunäkymät	27
4.3	Sähkön huoltovarmuus julkishyödykkeenä Suomessa	29
4.4	Sähkön huoltovarmuuteen liittyvät markkinapuutteet Suomessa	30
4.5	Julkisen sektorin väliintulo Suomessa	32
5	Johtopäätökset	36
	Lähteet	40

**Kuviot**

Kuvio 1. Tarjonta julkishyödykkeissä	10
Kuvio 2. Suomen sähköjärjestelmän muutos Suomessa 2019–2024.	24
Kuvio 3. Negatiivisten, nollahintaisten ja yli 200 EUR/MWh -hintojen tuntien määrä Suomessa vuonna 2024.	25
Kuvio 4. Tuulivoiman rakentaminen ja kumulatiivinen kapasiteetti Suomessa 2019–2025	26
Kuvio 5. Sähkön kulutuksen ennustettu kehitys	27
Kuvio 6. Sähkön tuotannon ennustettu kehitys	28

## 1 Johdanto

Sähkön huoltovarmuus on viime vuosina noussut keskeiseksi yhteiskunnalliseksi kysymykseksi Suomessa. Energiajärjestelmät ovat kohdanneet uusia haasteita, kun vihreä siirtymä ja geopoliittiset paineet pakottavat energiajärjestelmiä uudistumaan. Geopoliittiset jännitteet, kuten Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan ja Itämeren kaasuputkirikot, ovat lisänneet epävarmuutta ja korostaneet Suomen oman energiatuotannon tärkeyttä huoltovarmuuden turvaamisessa (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025, s. 5). Energia ja sen häiriöt vaikuttavat talouden toimintaan, minkä vuoksi sen turvaaminen modernissa yhteiskunnassa on erityisen tärkeää (Azzuni ym., 2017, s. 31–32). Aihetta on tutkittu laajasti esimerkiksi energiapolitiikan näkökulmasta, mutta taloustieteellinen tarkastelu on ollut vähäistä.

Samanaikaisesti energian tuotantorakenteeseen on tullut muutoksia myös vihreän siirtymän seurauksena. Suomi on sitoutunut hallitusohjelmassaan ilmastolain ja EU:n päästövähennystavoitteisiin, mikä on johtanut fossiilisten polttoaineiden korvautumiseen uusiutuvilla energialähteillä (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025, s. 3). Vihreän siirtymän seurauksena Suomen sähkön huoltovarmuuteen kohdistuu riskejä, kun energiatuotanto muuttuu vaihtelevaksi, investointien epävarmuus kasvaa ja sähköverkkoon kohdistuu uusia vaatimuksia. Tämän seurauksena energiahuoltovarmuuden turvaaminen ei ole vain tekninen kysymys, vaan myös markkinapuutteisiin ja julkisen sektorin rooliin liittyvä ilmiö.

Sähkön huoltovarmuus muistuttaa luonteeltaan julkishyödykettä. Vaikka sähkö itsessään on yksityinen hyödyke, sähköjärjestelmän vakaus ja toimivuus tuottavat kuitenkin hyötyä kaikille järjestelmään kuuluville, jolloin yksittäiset toimijat eivät voi poissulkea ketään sen hyödyntämisestä. Tämän seurauksena markkinat eivät itse tuota sähkön huoltovarmuutta optimaalisella tasolla, mikä luo perusteen julkisen sektorin roolille markkinoiden täydentäjänä. Vihreä siirtymä vahvistaa tätä ilmiötä, kun varakapasiteetin rooli tulee yhä keskeisemmäksi energiajärjestelmän ja sen investointitarpeiden muuttuessa.

Tämän tutkielman tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten sähkön huoltovarmuus ilmenee julkishyödykkeenä vihreän siirtymän aikakaudella Suomessa?
2. Millaisia markkinapuutteita Suomen sähkömarkkinoilla esiintyy huoltovarmuuden näkökulmasta ja millä tavoin julkinen sektori voi täydentää markkinoita?

Tutkielma on luonteeltaan taloustieteellinen politiikka-analyysi Suomen sähkömarkkinoiden huoltovarmuudesta. Teorettinen tarkastelu perustuu taloustieteelliseen viitekehykseen, joka käsittelee julkishyödyketeoriaa, markkinapuutteita ja investoinnin epävarmuutta. Ilmiöteoreettinen viitekehys taas esittelee tutkimuksen kannalta olennaiset käsitteet vihreään siirtymään ja energiahuoltovarmuuteen liittyen. Empiirinen analyysi perustuu Suomen viranomaisaineistoon sekä energiasektorin toimijoiden raporttiaineistoihin. Tarkastelu kohdistuu sähkömarkkinoihin, sillä vihreän siirtymän seurauksena sähköistyminen kasvaa ja se luo merkittäviä mahdollisuuksia mutta myös riskejä huoltovarmuuteen. Huoltovarmuutta tarkastellaan energian toimitusvarmuuden näkökulmasta. Maantieteellisesti tutkielma rajautuu Suomeen ja ajallisesti 2010-luvun lopulta 2030-luvun alkuun, sillä käsitellyt ilmiöt ovat osa 2020-luvun sähköjärjestelmän laajempia rakennemuutoksia, eivätkä ne ole yksittäisiin vuosiin sidottuja.

Tutkielma alkaa taloustieteellisen viitekehyksen esittelyllä, jonka avulla voidaan tarkastella sähkön huoltovarmuutta julkishyödykkeenä ja siihen keskeisesti liittyviä markkinapuutteita. Kolmannessa luvussa esitellään energiahuoltovarmuuden ja vihreän siirtymän käsitteet. Lisäksi luvun lopussa käsitellään vihreän siirtymän vaikutusta energiasektoriin ja energiahuoltovarmuuteen, mikä luo ilmiöteoreettisen perustan Suomen tarkastelulle. Neljännessä luvussa edellä esiteltyä teoriaa sovelletaan Suomen kontekstiin, ja sen tavoitteena on arvioida, miten taloustieteen mekanismit selittävät havaittuja markkinapuutteita ja miten julkisen sektorin politiikkatoimet vastaavat näihin haasteisiin. Viimeisessä luvussa esitetään johtopäätökset.

## **2 Taloustieteellinen viitekehys markkinapuutteille ja julkishyödykkeille**

Tässä kappaleessa muodostetaan tutkimuksen taloustieteellinen viitekehys, joka toimii perustana Suomen sähkömarkkinoiden empiiriselle tarkastelulle. Taloustieteellinen tarkastelu markkinapuutteista ja julkishyödykkeistä perustuu markkinoiden keskeiseen ilmiöön, jonka mukaan markkinat toimivat tehokkaasti, kun hinnat heijastavat rajakustannuksia ja yksilöiden rahahyötyjä. Markkinat eivät kuitenkaan aina heijasta hintoja oikein eivätkä kykene ohjaamaan resursseja yhteiskunnan kannalta optimaalisesti. Näissä tilanteissa voidaan julkishyödyketeorian avulla perustella julkisen sektorin täydentävien toimien rooli. Tätä näkökulmaa syventää myös luonnolliset monopolit, koordinaatio-ongelmat ja investointien epävarmuus, jotka luovat perusteen julkisen sektorin puuttumiselle markkinoihin.

### **2.1 Julkishyödyketeoria**

Julkishyödyketeoria tarjoaa esimerkin siitä, milloin markkinat eivät toimi yhteiskunnan näkökulmasta tehokkaasti. Tilanne syntyy, kun hyödykkeen kulutuksesta ei voida sulkea ketään pois ja yhden kulutus ei vähennä muiden mahdollisuutta kuluttaa, jolloin yksilöllä ei ole kannustinta maksaa hyödykkeestä yhteiskunnallisen hyödyn määrää. Tällaiset piirteet rikkovat markkinoiden toiminnan, sillä markkinat eivät tuota Pareto-tehokasta lopputulosta.

#### **2.1.1 Julkishyödykkeiden määritelmä ja ominaisuudet**

Yleisimmät määritelmät kuvailevat julkishyödykkeitä hyödykkeinä, joiden ominaisuuksiin kuuluu ei-poissuljettavuus ja ei-kilpailullisuus (Nicholson & Snyder, 2010, s. 694). Ei-poissuljettavuus tarkoittaa sitä, että yksilöitä ei voida sulkea pois hyödykkeen kuluttamisen eduista sen jälkeen, kun hyödyke on tuotettu riippumatta siitä, ovatko he

maksaneet siitä vai eivät (Nicholson & Snyder, 2010, s. 694). Ei-kilpailullisuus taas tarkoittaa sitä, että yhden henkilön kulutus ei vähennä toisen mahdollisuutta kuluttaa, eli lisäkulutuksesta ei seuraa yhteiskunnallisia rajakustannuksia (Nicholson & Snyder, 2010, s. 695). Tämän vuoksi yksilöllinen maksuhalukkuus ei riitä kuvaamaan, kuinka paljon yhteiskunnan tulisi tuottaa hyödykettä.

Samuelsonin (1954) klassinen artikkeli muodosti ensimmäisen matemaattisen määritelmän julkishyödykkeille. Samuelson (1954, s. 387) korostaa analyysissään yhteiskulutuksen periaatetta, joka yksityishyödykkeestä eroten tarkoittaa, että kaikki voivat kuluttaa hyödykettä saman määrän samanaikaisesti (Samuelson, 1954, s. 387). Myös myöhempi kirjallisuus on vahvistanut Samuelsonin analyysin. Mas-Colell ym (1995, s. 360) selittävät, että julkishyödykkeille on tyypillistä, että niiden kulutusrakennetta ei voi jakaa yksilöllisiksi määriksi, ja siksi niiden allokointi edellyttää eri viitekehystä kuin yksityishyödykkeiden.

Tosielämän hyödykkeet eivät useimmissa tilanteissa täytä puhtaan julkishyödykkeen kahta ehtoa täydellisesti (Holcombe, 2000, s. 128). Useimmat hyödykkeet ovat vain osittain ei-poissuljettavia tai ei-kilpailullisia, mutta sisältävät suuria yhteishyötyjä, jonka vuoksi markkinat alituottavat niitä. Esimerkiksi koulutus ei ole täysin ei-kilpailullista, sillä kapasiteettirajoitteet tekevät siitä osittain yksityisen hyödykkeen (Holcombe, 2000, s. 128). Lisäksi Holcombe (2000, s. 275) toteaa, että vaikka julkishyödykkeitä määritellään usein ei-kilpailullisiksi, hyötyjen määrän kasvu ei ole käytännössä ilmaista. Kun käyttäjien määrä kasvaa, myös kustannukset lisääntyvät usein, mikä heikentää käsitystä julkishyödykkeestä täysin kustannuksettomana lisäkäyttäjän osalta. Monet hyödykkeet siis ovat osittain julkisia, mutta markkinamekanismit liittävät niihin yksityisiä piirteitä.

### **2.1.2 Julkishyödykkeen tarjonnan määräytyminen**

Samuelsonin (1954) klassisen analyysin mukaan julkishyödykkeiden optimaalinen tarjonta edellyttää, että yhteiskunnan tulisi tuottaa julkishyödykettä siihen asti, että

kaikkien yksilöiden rajakorvautumisaste on yhtä suuri kuin julkishyödykkeen rajatuotantokustannus. Rajakorvautumisaste kuvaa kuinka paljon yksilö on valmis luopumaan yksityishyödykkeestä saadakseen julkishyödykettä (Nicholson & Snyder, 2010, s. 539). Mas-Colell ym. (1995, s. 360) esittävät Samuelsonin kaavan modernissa muodossa. He määrittelevät jokaiselle kuluttajalle johdetun hyötyfunktion julkishyödykkeen määrän suhteen ja osoittavat, että julkishyödykkeiden optimaalinen tarjonta määräytyy ehdosta, jossa yksilöiden rajahyötyjen summa vastaa tai ylittää rajakustannuksen. Tätä havainnollistetaan esimerkissä (1).

(1) Tarkastellaan yhteiskunnan optimaalisen tason tuotannon ehtoa

$$\sum_{i=1}^I \phi'_i(q^\circ) \leq c'(q^\circ), \text{ jos } q^\circ > 0, \quad (1)$$

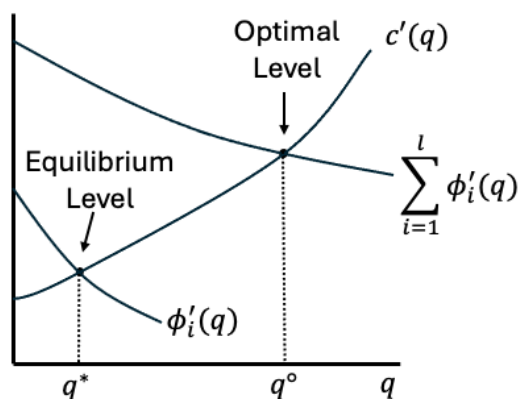
jossa  $\phi'_i(q^\circ)$  kuvaa kuluttajan  $i$  rajahyötyä julkishyödykkeen lisäyksestä ja  $c'(q^\circ)$  kuvaa julkishyödykkeen tuottamisen rajakustannusta. Kaava ilmaisee optimaalisen julkishyödykkeen tarjontaehdon, jossa yksilöiden rajahyötyjen summa asetetaan vastaamaan tai merkitään pienemmäksi kuin julkishyödykkeen rajakustannus on (Mas-Colell ym., 1995, s. 360–361).

Markkinoilla julkishyödykkeen tuotannon taso kuitenkin määräytyy eri tavalla. Tätä havainnollistaa esimerkki (2).

(2) Tarkastellaan kilpailullisen markkinatasapainon tuotannon ehtoa

$$\sum_{i=1}^I \phi'_i(q^*) > c'(q^*). \quad (2)$$

Mas-Colell ym. (1995, s. 362) ovat esittäneet julkishyödykkeiden optimaalisen tason ja kilpailullisen markkinatason erot myös kuvaajan avulla. Tätä havainnollistetaan kuviossa 1.



**Kuvio 1.** Tarjonta julkishyödykkeissä

Kuviosta 1 ilmenee, että yksityinen tasapaino  $q^*$  jää sosiaalisesti optimin tason alapuolelle, sillä yksityinen tasapaino muodostuu vain yhden kuluttajan rajahyödyn perusteella. Optimitaso  $q^o$  taas perustuu kaikkien kuluttajien rajahyötyjen summaan. Kuvio osoittaa, kuinka yhteiskunnan kannalta optimaalinen hyödykkeiden taso perustuu kaikkien kuluttajien rajahyötyjen summaan, mikä on Samuelsonin optimaalisen tarjonnan ehdon ydin.

### 2.1.3 Preferenssien paljastaminen ja vapaamatkustajaongelma

Yksilön saama hyöty julkishyödykkeistä riippuu yhteisestä tuotantotasosta, jonka vuoksi yksilöillä on kannustin vääristää preferenssejään, ja ilmoittaa todellista pienempi maksuhalukkuus (Samuelson, 1954, s. 389). Mas-Colell ym. (1995, s. 362) kuvaavat tätä mekanismia asettamalla kuluttajat järjestykseen rajahyötyjensä perusteella seuraavasti. Tarkastellaan tätä esimerkissä (3).

(3) Tarkastellaan kuluttajien rajahyötymekanismia

$$\phi'_1(x) < \dots < \phi'_l(x). \quad (3)$$

Rajahyötymekanismissa  $\phi_1'(x)$  kuvaa kuluttajia, jotka eivät osallistu julkishyödykkeen rahoitukseen, ja  $\phi_I'(x)$  kuvaa rahoitukseen osallistuvaa kuluttajaa. Julkishyödykkeen yksityisessä tasapainossa rahoitusvastuu kohdistuu ainoastaan sille kuluttajalle, joka on ilmoittanut rajahyötynsä korkeimmalle tasolla, kun taas muut kuluttajat asettavat osallistumisena nolleen (Mas-Colell ym., 1995, s. 362). Myös Holcombe (2000, s. 274) osoittaa, että ei-poissuljettavuus johtaa vapaamatkustajaongelmaan. Vapaamatkustajaongelmaan palataan tarkemmin luvussa 2.3 markkinapuutteiden yhteydessä.

#### **2.1.4 Julkishyödykkeiden rahoitusongelma ja julkisen sektorin rooli**

Holcomben (2000, s. 275) mukaan useimmat taloustieteilijät ovat hyväksyneet ajatuksen siitä, että hallituksen on tuotettava julkishyödykkeitä, jotta yhteiskunnallinen tehokkuus toteutuisi ja tämän myötä julkisen menon teorian perustuu julkishyödyketeoriaan. Toisaalta Holcombe (2000, s. 275) korostaa, että valtion ei kannata läheskään aina tuottaa julkishyödykettä, mutta siitä huolimatta markkinat epäonnistuvat tehokkaassa tuotannon tasossa ilman julkisen sektorin väliintuloa. Myös Mas-Colell ym (1995, 362) kertovat, että yksityisen tarjonnan tehostomuuteen voidaan puuttua julkisen sektorin täydentävillä toimilla esimerkiksi määrä sääntelyllä, jolloin hallitus voi suoraan tuottaa hyödykettä, tai hintaperusteisesti, jolloin hyödykkeeseen voidaan asettaa veroja tai tukia.

Julkishyödykkeiden ominaispiirteiden vuoksi julkisen sektorin on puututtava niiden tarjontaan. Musgrave ym. (1989, s. 6) jakoi julkisen sektorin keskeiset tehtävät kolmeen osaan: allokaatiofunktioon, jakautumisfunktioon ja stabilisaatiofunktioon. Näistä julkishyödyketeorian kannalta keskeisin on allokaatiofunktio. Allokaatiofunktion mukaan tiettyjä yhteisiä hyödykkeitä ei voida tarjota markkinajärjestelmän kautta, jolloin niiden tuotanto järjestetään julkisen sektorin toimesta ja rahoitetaan verojärjestelmän avulla (Musgrave ym., 1989, s. 7–8). Tämä muodostaa perustan julkisen sektorin väliintulolle.

## 2.2 Markkinaepäonnistumisen teoria

Julkishyödykkeitä koskeva analyysi havainnollistaa, että markkinoiden tuottama lopputulos ei ole aina yhteiskunnan kannalta tehokas eli Pareto-tehokas. Uusklassisen hyvinvointiteorian perusteella kilpailullinen markkinatasapaino voi johtaa Pareto-tehokkaaseen allokaatioon vain silloin, kun hinnat heijastavat tuotannon rajakustannuksia ja kulutuksen rajahyötyjä, ja kun teknologiat ja preferenssit ovat konvekseja (Mas-Colell ym., 1995, s. 313–327). Mikäli nämä ehdot eivät toteudu, markkinat eivät enää välttämättä ohjaa resursseja yhteiskunnan kannalta tehokkaasti.

Tällaisiin tilanteisiin viitataan käsitteellä markkinaepäonnistuminen. Batorin (1958, s. 351) mukaan markkinaepäonnistumisella tarkoitetaan yleisesti tilanteita, joissa markkinajärjestelmä epäonnistuu yhteiskunnallisen hyvinvoinnin kannalta tehokkaan lopputuloksen tuottamisessa. Bator (1958, s. 364) esittää, että markkinat voivat epäonnistua eri syistä. Näistä tutkielman kannalta keskeisimmät syyt ovat kilpailun puute (failure by structure), väärät signaalit (failure by signal) ja heikot kannustimet (failure by incentive) vuoksi.

### 2.2.1 Luonnollinen monopoli

Yksi markkinaepäonnistumisen muoto on luonnollinen monopoli. Luonnollisen monopolin tausta voidaan ymmärtää Batorin (1958, s. 366–368) esittämän analyysin avulla. Batorin analyysissä korostuu tuotannossa esiintyvä prosessien, panosten tai tuotteiden jakamattomuus sekä tasaisesti alenevat yksikkökustannukset, jotka tekevät tuotannon mahdollisten yhdistelmien joukosta ei-konveksin. Ei-konveksisuuden seurauksena kaikki toteuttamiskelpoiset tuotantopisteiden välimuodot eivät ole mahdollisia, mikä johtaa Batorin mukaan markkinoiden epäonnistumiseen, jolloin ne eivät onnistu ohjaamaan tuotantoa Pareto-tehokkaaseen tasapainoon. Tämän seurauksena markkinoille syntyy monopolistista käyttäytymistä, joka on seurausta markkinoiden rakenteellisesta epäonnistumisesta.

Mas-Colellin ym. (1995, s. 570) vahvistavat tämän näkemyksen ja esittävät luonnollisten monopolien syntyvän tuotantomahdollisuuksien ei-konveksisuudesta, joka on seurausta kiinteistä kustannuksista tai laaja-alaisista skaalaeduista. Tällaisissa tilanteissa tuotannon tehokkuus voi edellyttää vain yhden yrityksen olemassaoloa. Tällöin rajahinnoittelu ei ole kestävä, sillä jos hinta vastaisi rajakustannusta, yrityksen voitot olisivat negatiivisia (Dixit & Stiglitz, 1977, s. 297). Monopolin hinnan muodostumisen mekanismia havainnollistetaan esimerkissä (4).

(4) Tarkastellaan kilpailun puutteen seurausta luonnollisen monopolin hintaan

$$p \neq MC, \quad (4)$$

missä  $p$  kuvaa hintaa ja  $MC$  rajakustannusta.

Markkinoiden monopolisoituminen voitaisiin estää asettamalla hinnat optimaaliselle rajakustannuksia vastaavalle tasolle (Bator, 1958). Toisaalta tämä hinnoittelumekanismi johtaisi kuitenkin tehottomuuteen, sillä rajakustannuksia vastaavat hinnat kuitenkin aiheuttaisivat tuotannon tappiollisuuden, jolloin markkinat epäonnistuisivat kannustimien näkökulmasta (Bator, 1958, s. 367). Tämä johtuu siitä, että voitonmaksivoiva hinta ylittää rajakustannukset, eli tällöin hinta on suurempi kuin rajakustannukset (Bator, 1958, s. 367)

### 2.2.2 Vapaamatkustajaongelma

Kuluttajien kannustin vääristellä preferenssejä ja olla maksamatta julkishyödykkeiden tuotannosta johtaa koko markkinajärjestelmää koskeviin puutteisiin. Vapaamatkustajaongelma havainnollistaa Batorin (1958) markkinaepäonnistumisen muotoa, joka perustuu kannustimien puutteesta. Kun yksilöillä ei ole kannustinta maksaa julkishyödykkeen tuotannosta oman rajahyötynsä mukaisesti, he voivat hyödyntää sitä vapaasti (Samuelson, 1954).

Tämän seurauksena hyödyke jää alituotetuksi markkinoilla, sillä tuottaja ei pysty myymään sitä sen tuottamisen jälkeen, kun kaikki kuluttajat voivat hyödyntää sitä maksamatta (Holcombe, 2000, s. 274). Yksittäinen toimija ei tällöin sisäistä koko yhteiskunnallista hyötyä tai kustannusta, minkä vuoksi tasapaino jää yhteiskunnallisesti optimaalisesta tasosta. Tilannetta voidaan tulkita myös signaalimekanismin heikkouden kautta, kun markkinahinta ei ohjaa tuotantoa oikein. Julkishyödykkeisiin liittyvät markkinapuutteet ovat siis monisyisiä, mutta keskeinen taustatekijä on se, että hintamekanismi ei pysty sisällyttämään hyötyjä, sillä ne määräytyvät kollektiivisesti.

### **2.2.3 Koordinaatio-ongelma**

Markkinat voivat epäonnistua myös koordinaatio-ongelman vuoksi. Ochs (1990, s. 553) esittää, että markkinoiden täydellinen koordinaatio edellyttää jatkuvaa käsitystä siitä, mitä muut toimijat tekevät. Koordinaatio-ongelmassa yksittäisten toimijoiden päätökset riippuvat muiden päätöksistä, ja kun tietoa muiden päätöksistä ei ole, toimijat eivät kykene sovittamaan valintojaan yhteen (Ochs, 1990, s. 545). Mielke ja Steudle (2018, s. 89) kuvaavat tätä klassisen hirvenmetsästyspelin avulla, jossa epävarmuus toisten pelaajien päätöksistä johtaa Pareto-tehottomaan tilanteeseen.

Mielke ja Steudle (2018, s. 91) kuvaavat tilanteen, jossa kaikki toimijat odottavat muiden investoivan, minkä seurauksena koordinaation epäonnistuminen vähentää markkinoilla tehtäviä investointipäätöksiä. Tämä johtaa käytännössä investointien alituotantoon ja kapasiteettipulaan. Ilmiö liittyy läheisesti investointien lykkäämiseen, kun toimijat odottavat tietoa muiden päätöksistä. Tätä mekanismia käsitellään tarkemmin seuraavassa alaluvussa.

### 2.3 Investointien epävarmuus ja odotusoptio

Epävarmuus tulevista tuotoista on keskeinen investointipäätöksiin vaikuttava tekijä. Klassinen tapa arvioida investoinnin kannattavuutta on laskea odotetun voittovirran nykyarvo ja tarvittavien menojen nykyarvo ja näiden laskea näiden kahden välinen erotus, eli investoinnin netto nykyarvo, ja jos se on suurempi kuin nolla investointi on kannattavaa tehdä (Dixit & Pindyck, 1994, s. 2). Tämä lähestymistapa ei kuitenkaan huomioi riittävästi kaikkia investointeihin vaikuttavia riskejä.

Dixitin ja Pindyckin (1994, s. 1) mukaan investointipäätöksiin vaikuttaa olennaisesti myös se, että investointeja ei voi yleensä peruuttaa ilman suurta arvon menetystä. Tämä johtaa uponneisiin kustannuksiin, jos muuttaa mieltä investoinnista, kaikkea ei ole mahdollista saada takaisin (Dixit & Pindyck, 1994, s. 1). Investointien peruuttamattomuus korostaa epävarmuuden vaikutusta, sillä virheellinen investointi voi heikentää yrityksen suorituskykyä pitkän aikaa.

Investoinnin aloitusta on kuitenkin usein mahdollista lykätä, mikä mahdollistaa lisätiedon hyödyntämisen esimerkiksi muuttuvista markkinaolosuhteista (Dixit & Pindyck, 1994, s. 3). Tämä johtaa siihen, että investointeja lykätään tilanteissa, joissa investointi on peruuttamaton ja epävarma (Dixit & Pindyck, 1994, s. 3). Vaikka osassa tapauksissa viivästyminen voi aiheutua kustannuksia, kuten riski kilpailijoiden markkinoille tulosta tai menetettyjä kassavirtoja, niin odottamisen hyödyt ovat usein suuria, joten niitä kannattaa punnita uuden tiedon odottamisen etuja vasten (Dixit & Pindyck, 1994, s. 3).

Investoinnin peruuttamattomuus, epävarmuus ja lykkäämismahdollisuus synnyttävät reaalioption. Dixit ja Pindyck (1994, s. 3) osoittavat, että kun yritys tekee peruuttamattoman investointimenon, se käyttää investointioptionsa luopumalla odotusmahdollisuudesta uuden tiedon saantiin, joka saattaisi vaikuttaa investointien toivottavuuteen tai ajoitukseen. Tätä voidaan havainnollistaa laajennetun netto nykyarvon kaavalla, joka huomioi menetetyt optioarvon osaksi investointikustannuksia esimerkissä (5).

(5)

$$\text{Laajennettu NPV} = \text{NPV} - \text{Menetetty optioarvo} \quad (5)$$

Vaihtoehtoinen tapa sisällyttää menetetyn optioarvon vaihtoehtoiskustannuksena osaksi investoinninkustannuksia, ja viimeaikaisten tutkimusten perusteella tämä vaihtoehtoiskustannus voi olla merkittävä investoinnin kannattavuudessa (Dixit & Pindyck, 1994, s. 3). Näin ollen investointien lykkääminen voi usein olla kannattavaa optioarvon vaikutuksen vuoksi.

Reaalioptiokehys osoittaa, että epävarmuuden kasvaessa investointien ajoitusta siirretään, mikä voi johtaa markkinoiden alikapasiteettiin (Dixit & Pindyck, 1994). Näin ollen julkisella sektorilla on keskeinen rooli varmistaa, että yhteiskunnan kannalta optimaalinen kapasiteetti tuotetaan julkishyödykeluonteisen hyödykkeen kohdalla.

### **3 Energiahuoltovarmuus ja vihreä siirtymä: käsitteellinen ja ilmiöteoreettinen viitekehys**

Energiajärjestelmät ovat siirtymässä nopeasti kohti vähähiilistä tulevaisuutta, mikä muuttaa energian tuotantoa, kulutusta ja infrastruktuuria. Tätä siirtymää ohjaavat ilmastopoliittiset sitoumukset, kuten EU:n tavoite hiilineutraalisuudesta vuoteen 2050 mennessä sekä kansainväliset ilmastositoumukset, kuten Pariisin ilmastositoumus (Euroopan komissio). Aiemman tutkimuksen perusteella nopea energiatransitio lisää energiajärjestelmän haavoittuvuutta ja vaikuttaa energiahuoltovarmuuteen.

#### **3.1 Vihreä siirtymä ilmiönä**

Vihreä siirtymä tarkoittaa pitkän aikavälin taloudellista ja yhteiskunnallista muutosprosessia, jonka tavoitteena on vastata ilmastonmuutoksen aiheuttamiin haasteisiin (Euroopan komissio). Euroopan unionissa vihreä siirtymä kytkeytyy useisiin sopimuksiin ja yhteisiin strategioihin, kuten European Green Deal, Fit for 55 ja REPowerEU, joiden avulla tavoitellaan Euroopan hiilineutraaliutta vuoteen 2050 mennessä (Euroopan komissio). Maailmanlaajuisesti valtiot ovat sitoutuneet pitämään lämpötilan nousun selvästi alle 2 celsiusasteen, mikä luo suuria investointipaineita tuleville vuosikymmenille (Mielke & Steudle, 2018, s. 88). Nämä kansainväliset ja eurooppalaiset tavoitteet ohjaavat valtioita muuttamaan toimintaansa siten, että kasvihuonepäästöt vähenevät.

EU:n tavoite on nostaa uusiutuvien energialähteiden osuus kokonaiskulutuksesta vähintään 42,5 prosenttiin (Euroopan komissio). Jewell ym. (2014, s. 743) mukaan kasvihuonepäästöjen vähentäminen edellyttää energiajärjestelmän radikaalia muutosta. Poliittiset päättäjät ovat usein kiinnostuneempia energia-alan ilmastotoimien välittömistä ja kansallisista vaikutuksista kuin pitkän aikavälin globaaleista seurauksista (Jewell ym., 2014, s. 743). Energiahuoltovarmuus on juuri tällainen välitön ja kansallinen

kysymys, mikä tekee energiahuoltovarmuuden tarkastelusta olennaisen osan vihreän siirtymän taloudellista arviointia.

### 3.2 Energiahuoltovarmuuden käsite

Energiahuoltovarmuus määritellään yleisesti luotettavaksi ja riittäväksi energian toimitukseksi kohtuullisin hinnoin (International Energy Agency, 2025, s. 238). Perinteisesti energiahuoltovarmuutta on tarkasteltu neljän A:n viitekehyksen avulla, jonka mukaan se koostuu saatavuuden, kohtuuhintaisuuden, saavutettavuuden ja hyväksyttävyyden ulottuvuuksista (Deese, 1979; Yergin, 1988; Cherp & Jewell, 2014). Tässä tutkielmassa huoltovarmuutta keskitytään tarkastelemaan saatavuuden ulottuvuudesta.

Nykyisin energiahuoltovarmuuden tarkastelu liittyy yhä tiiviimmin ilmastonmuutoksen hillintään ja energian tasapuolisen saatavuuden turvaamiseen (Goldthau, 2011; Cherp & Jewell, 2014, s. 415). Jewell ym. (2014, s. 744) korostavat näkemystä, jonka mukaan energiahuoltovarmuutta arvioidaan yhä enemmän haavoittuvuuden näkökulmasta eli sen perusteella, miten energijärjestelmä altistuu riskeille, sietää häiriöitä ja palautuu niistä. Jewell ym. (2014, s. 744) esittävät kolme keskeistä piirrettä, joiden avulla energiahuoltovarmuutta voidaan analysoida vihreän siirtymän tulevaisuudessa. Tämän lähestymistavan mukaan on tärkeää tunnistaa elintärkeät energijärjestelmät nyt ja tulevaisuudessa, tunnistaa niiden haavoittuvuudet sekä kehittää indikaattorit näiden kehittämiseksi ja kuvaamiseksi.

Energiahuoltovarmuuden asema julkishyödykkeen kaltaisena hyödykkeenä tekee siitä merkittävän taloustieteellisen tutkimuskohteen. Goldthau (2012, s. 66) mukaan energiahuoltovarmuus on luonteeltaan ei-kilpailullinen ja osittain ei-poissuljettava, jonka seurauksena huoltovarmuuteen kohdistuu riski alituotantoon liittyen. Goldthau (2012, s. 73) mukaan energiahuoltovarmuutta parantaviin investointeihin liittyy myös kollektiivisen toiminnan ongelma, joka johtuu sen julkishyödykeluonteesta.

Energiahuoltovarmuuden ei-kilpailullinen ja osittain ei-poissuljettava luonne viittaa siihen, että sitä voidaan perustellusti tarkastella julkishyödykeluonteisena. Szalbierz ja Ropuszynska-Surma (2016, s. 5) korostavat, että energiahuoltovarmuus täyttää julkishyödykkeen keskeiset tunnusmerkit, sillä se on osittain ei-kilpailullinen ja vaikeasti poissuljettava sekä tuottaa positiivisia ulkoisvaikutuksia. Tämän seurauksena markkinat eivät yksin takaa energiahuoltovarmuuden riittävää tasoa (Szalbierz & Ropuszynska-Surma, 2016, s. 8).

### **3.3 Vihreän siirtymän aiheuttamat muutokset energiamarkkinoilla**

Teorian mukaan vihreä siirtymä muuttaa energiamarkkinoita monella tapaa. Ensinnäkin se muuttaa energian tuotantorakennetta, kun fossiilinen helposti säädettävä kapasiteetti poistuu markkinoilta investointikannustimien laskiessa (Newbery ym., 2018, s. 7; Praktijnjo & Erdmann, 2016). Tämän seurauksena fossiilisten polttoaineiden tilalle tulee sääriippuvaisia uusiutuvia energialähteitä, kuten tuuli- ja aurinkoenergiaa (Timmons ym., 2024, s. 16). Samalla energiajärjestelmä sähköistyy, sillä suuri osa uusiutuvista energialähteistä perustuu sähkön tuotantoon (Timmons ym., 2024, s. 15). Tämän seurauksena koko energiajärjestelmän dynamiikka muuttuu.

Toinen keskeinen muutos liittyy energian hinnanmuodostukseen. Uusiutuvan energian tuotanto perustuu nollamarginaalikustannuksiin, minkä vuoksi markkinahinnat painuvat alas silloin, kun tuotantoa on tarjolla runsaasti (Newbery ym., 2018, s. 6). Nollamarginaalikustannuksiin perustuva hinnoittelu on johtanut siihen, että hinnat voivat painua jopa negatiivisiksi (Newbery ym., 2018, s. 6). Taustalla on osittain se, että energian hintakatot asetetaan liian alhaisiksi, mikä johtaa energian hintasignaalien tehottomuuteen (Newbery, 2016, s. 3. Tätä ongelmaa syventää se, että EU:n lyhyen aikavälin hinnat eivät mahdollista riittävää kulutuksen reagointia hintoihin (Newbery ym., 2018, s. 22).

Lisäksi vihreä siirtymä aiheuttaa muutoksia energiamarkkinoiden investointikannustimiin. Vihreän siirtymän myötä uusiutuvaan energiaan myönnetään tukia ja vastaavasti päästöjä aiheuttavaan tuotantoon kohdistetaan veroja ja päästökauppaa, mikä ohjaa investointeja uusiutuviin energialähteisiin (Timmons ym., 2024, s. 28–29). Toisaalta nollamarginaalikustannuksella tuotettu sähkö johtaa missing money -ilmiöön kun hinnat eivät kata investointien kustannuksia (Joskow, 2008; Newbery ym., 2018, s. 6). Tämän seurauksena uusiutuvien energialähteiden investointien kannattavuus heikkenee keskipitkällä aikavälillä (Joskow, 2008; Newbery ym., 2018, s. 6). Mielke & Steudle (2018, s. 93) korostavat lisäksi, että vihreät investoinnit ovat luonteeltaan epävarmoja, sillä ilmastohyötyjen aikajänne on usein pidempi kuin investointien, mikä heikentää investointikannustimia.

Yksi keskeinen muutos liittyy myös sähköverkon rooliin ja rakenteellisiin tarpeisiin. Sähköverkon rooli uusiutuvaan energian perustuvassa järjestelmässä eroaa fossiilisiin energialähteisiin perustuvasta järjestelmästä kahdella keskeisellä tavalla. Ensinnäkin uusiutuvasta tuotannosta maksettava korvaus ei riipu tuotannon sijainnista, vaikka uusiutuva tuotanto on maantieteellisesti keskittynyt resurssirikkaille alueille, joissa siirtoverkon kapasiteetti ei välttämättä riitä sähkön siirtämiseen kulutuskeskuksiin (Newbery ym., 2018, s. 23). Tämän seurauksena syntyy pullonkaulariskejä (Newbery ym., 2018, s. 23). Lisäksi vihreän siirtymän seurauksena kotitalouksien ja yritysten hajautetun tuotannon vuoksi sähköä virtaa molempiin suuntiin, mikä osaltaan muuttaa siirtoverkon tarpeita (Timmons ym., 2024, s. 18).

Vihreä siirtymä muuttaa myös energiamarkkinoiden kansainvälistä rakennetta. Hiilen käytön vähentyessä osa kauppasuhteista purkautuu, mikä tekee kaupasta alueellisempaa ja jakaa markkinoiden tiiviimpiin kauppayhteisöihin (Berdysheva & Ikonnikova, 2021, s. 16–17). Nämä muutokset vaikuttavat siihen, miten polttoainevalikoima, tuontiriippuvuus ja kauppavirtojen keskittyminen kehittyvät eri talouksissa. Samalla energiamarkkinoiden rakenteelliset muutokset välittyvät suoraan

energiahuoltovarmuuteen haavoittuvuuksina. Näihin vihreän siirtymän aiheuttamiin huoltovarmuuden haavoittuvuuksiin syvennyttään seuraavassa alaluvussa.

### **3.4 Uudet haavoittuvuudet ja julkisen sektorin rooli**

Vihreän siirtymän aiheuttamat muutokset energiamarkkinoilla aiheuttavat haavoittuvuuksia koko energijärjestelmään. Keskeisiä haavoittuvuuksia syntyy tuotantorakenteen muutoksen seurauksena. Fossiilisten polttoaineiden poistumisen seurauksena energialähteiden monipuolisuus vähenee ja varavoimaa ei ole yhtä helposti saatavilla, minkä seurauksena energiahuoltovarmuus altistuu riskeille (Berdysheva & Ikonnikova, 2021, s. 23). Lisäksi uusiutuvan energian vaihtelevuus aiheuttaa järjestelmään haavoittuvuutta, kun energian kysynnän ja tarjonnan yhteensovittamisessa vaikeutuu. Sähkön tarjonnan on vastattava kysyntää joka hetki, mutta uusiutuvien energialähteiden sääriippuvuuden vuoksi tämä ei välttämättä aina toteudu (Timmons ym., 2024, s. 16). Newbery ym. (2018, s. 22) esittävät, että julkisen sektorin rooliin liittyä keskeisesti varmuus- ja reservikapasiteetista huolehtiminen.

Toinen keskeinen haavoittuvuus syntyy, kun markkinat vähentävät investointeja epävarmuuden ja missing money -ilmiön vuoksi. Missing money -ilmiö vähentää investointeja kapasiteettiin, joka kasvattaa riskiä alikapasiteetille. (Joskow 2006; Cramton ja Stoft 2006; Borenstein ym. 2023). Timmons ym. (2024, s. 30) mukaan julkisen sektorin keskeisiä keinoja puuttua tähän ovat energiatuet, kuten suorat tuet, edulliset lainat ja verohyvitykset. Valtio voi tukea uusiutuvan energian investointeja esimerkiksi syöttötariffeilla, jotka takaavat tuottajille tietyn hinnan myydystä sähköstä (Timmons ym., 2024, s. 30). Borenstein ym. taas (2023, s. 197) tarjoavat missing money -ilmiöön ratkaisuksi kapasiteettimaksuja, jotka korvaisivat puuttuvat tulot.

Lisäksi huoltovarmuuteen liittyvää haavoittuvuutta lisää siirto- ja jakeluverkkoon tarvittavien investointien hidas eteneminen. Siirtoverkkohankkeet etenevät hitaasti, sillä hankkeet edellyttävät monivaiheisia lupaprosesseja (Timmons ym., 2024, s. 31).

Ratkaisuksi Timmons ym. (2024, s. 31) ehdottavat sääntelyesteiden purkamista investointien nopeuttamiseksi.

Vihreä siirtymä synnyttää energiajärjestelmään haavoittuvuuksia, jotka liittyvät keskeisesti kysynnän ja tarjonnan tasapainottamiseen, investointien riittävyyteen ja siirtoverkon heikkouksiin. Hallituksilla on keskeinen rooli uusiutuvan energian käyttöönoton nopeuttamisessa ja sujuvoittamisessa, mikä edellyttää tasapainoa sääntelyn, markkinaosallistumisen ja konkreettisten toimien välillä (Timmons ym., 2024, s. 31).

## **4 Sovellus Suomen sähkömarkkinoille vihreän siirtymän aikakaudella**

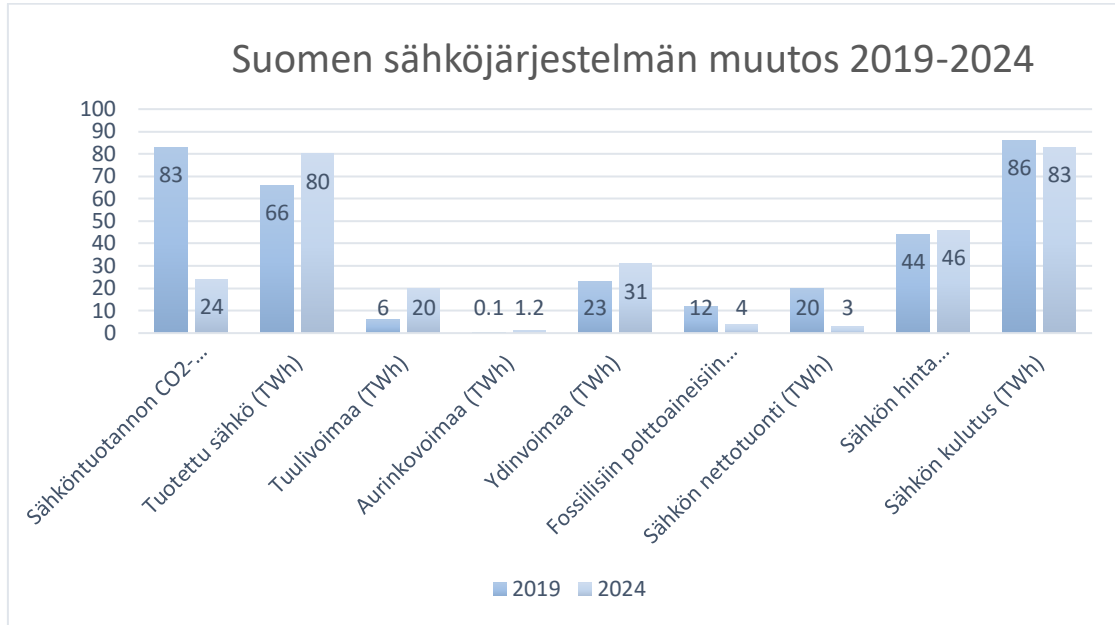
Suomessa vihreä siirtymä on muuttanut energiajärjestelmää nopeasti, mikä on aiheuttanut haasteita energiahuoltovarmuuden, erityisesti sähkön toimitusvarmuuden, turvaamiselle. Energiajärjestelmän sähköistyminen ja vaihtelevan tuotannon kasvu ovat muuttaneet Suomen energiamarkkinoiden toimintaa. Näissä muuttuneissa olosuhteissa markkinat eivät yksinään riitä turvaamaan huoltovarmuuden riittävää tasoa, mikä luo perustan julkisen sektorin roolille markkinoiden täydentäjänä.

Vaikka energiahuoltovarmuuteen liittyy useita energiamuotoja, tässä empiirisessä tutkimuksessa keskitytään vain sähkön toimitusvarmuuteen. Sähkö korostuu vihreän siirtymän aikana keskeisenä energiamuotona, kun teollisuus, lämmitys ja liikenne sähköistyvät. Samalla sähköntuotannon keskittyminen tekee sähkömarkkinoista alttiita huoltovarmuuteen liittyville riskeille, ja siksi sähkömarkkinat ovat taloustieteellisesti perusteltu tarkastelukohde.

### **4.1 Suomen sähköjärjestelmä**

Sähkömarkkinoiden toimitusvarmuuden haasteiden arvioimiseksi on ensin tarkasteltava Suomen sähköjärjestelmän rakennetta ja siinä tapahtuneita muutoksia. Vihreän siirtymän myötä Suomen sähköjärjestelmässä on tapahtunut nopea rakennemuutos, kun tuotanto koostuu kasvavassa määrin hiilineutraaleista ja samalla sään mukaan vaihtelevista energialähteistä (Fingrid, 2022, s. 10). Osana EU:n ilmastotavoitteita, Suomi tavoittelee kivihiilen käytön lopettamista vuoteen 2030 mennessä, mikä on keskeinen tekijä sähköntuotantorakenteen muutoksessa (Fingrid, 2019, s. 4). Kivihielestä irtautuminen on johtanut sääriippuvaisen tuotannon määrän kasvuun ja perinteisen säädettävän tuotannon määrän laskuun, erityisesti tuulivoiman kannattavuuden ja tuotannon kasvun myötä (Fingrid, 2019, s. 4). Tätä muutosta havainnollistaa kuvio 2, joka

kuvaa keskeisimpiä muutoksia Suomen sähköjärjestelmässä vuosien 2019 ja 2024 välillä. Kuvio perustuu Energiateollisuuden (2025) aineistoon.

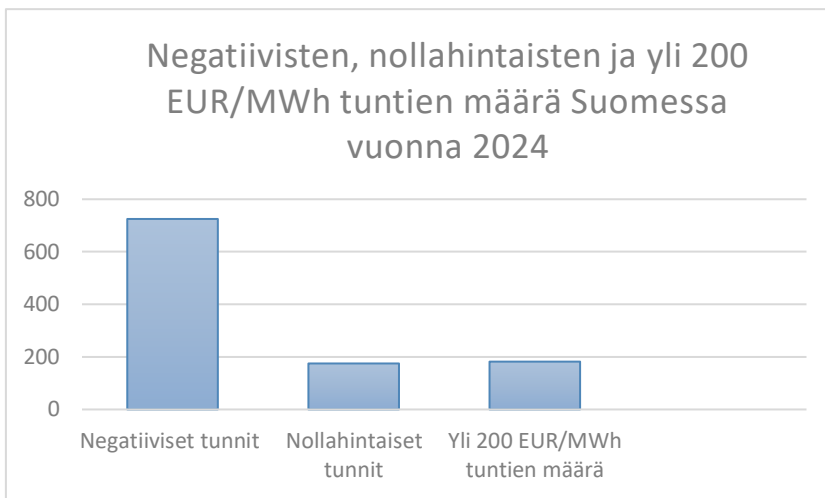


**Kuvio 2.** Suomen sähköjärjestelmän muutos Suomessa 2019–2024.

Kuvion 2 havainnollistama rakennemuutos osoittaa, että Suomen sähköjärjestelmä on muuttunut lyhyessä ajassa kohti vaihtelevampaa tuotantorakennetta, kun tuulivoiman tuotettu määrä on kasvanut noin 234 prosenttia ja aurinkovoiman noin 1100 prosenttia. Lisäksi säädettävän kapasiteetin määrä on vähentynyt, kun fossiilisiin polttoaineisiin perustuva tuotannon on laskenut tarkasteluajalla noin 67 prosenttia. Sähköjärjestelmän rakennemuutos on johtanut myös Suomen omavaraisuuden kasvuun, kun nettotuonti on vähentynyt merkittävästi. Kokonaisuutena kuviosta hahmottuvat keskeisimmät muutokset liittyvät tuotannon vaihtelun kasvuun ja säädettävyyden heikkenemiseen.

Vaihtelevan tuotannon kasvu on vaikuttanut Suomessa myös sähkön hintakehitykseen. Energiateollisuuden (2024, s. 7) esittämä lokakuun 2024 aineisto osoittaa, että tuulivoiman tuotannon määrän ja sähkön tukkuhinnan keskiarvon välillä on selkeä negatiivinen riippuvuus. Tuulisina päivinä sähkön hinta on usein lähellä nollaa, kun taas tuulettomina päivinä hintapiikit ovat mahdollisia (Energiateollisuus, 2024, s. 7). Kuvio 2

osoittaa, että sähkön hintataso on pysynyt tarkasteluajana melko samana, mutta hintataso suhteessa Euroopan on kuitenkin laskenut (Energiateollisuus, 2024, s. 3). Tämän taustalla on Suomen sähkömarkkinoiden voimakas hintavaihtelu, joka näkyy erityisesti negatiivisina hintoina. Kuviossa 3. havainnollistetaan Energiateollisuuden (2024, s. 8–9) aineiston avulla hintavaihtelusta seuranneiden poikkeuksellisen korkeiden ja matalien tuntihintojen määrää vuonna 2024.

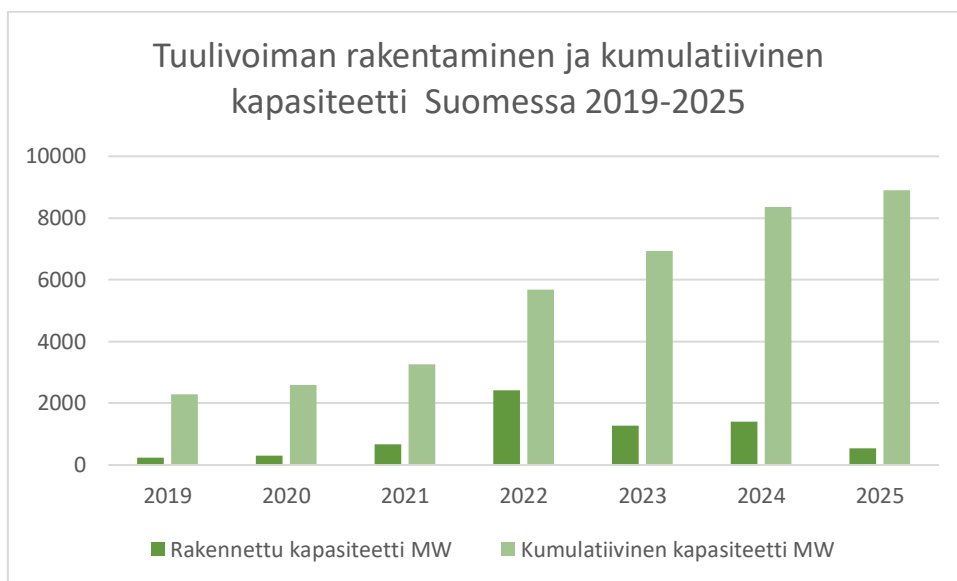


**Kuvio 3.** Negatiivisten, nollahintaisten ja yli 200 EUR/MWh -hintojen tuntien määrä Suomessa vuonna 2024.

Kuviosta 3 ilmenee, että negatiivisia tai nollahintaisia tunteja on ollut yhteensä noin 10 prosenttia koko vuoden tunneista. Hintapiikkien määrä on ollut pienempi, ja yli 200 euroa/MWh -hintaisia tunteja on ollut Suomessa yhteensä vain muutama prosentti koko vuoden tunneista.

Rakennemuutoksen seurauksena Suomen sähköjärjestelmästä on tullut myös alueellisesti aiempaa epäsymmetrisempi. Sähkön tuotanto keskittyy yhä enemmän Länsi- ja Pohjois-Suomeen, joissa sääolosuhteet ja maankäyttö ovat suotuisia, kun taas sähkönkulutus kasvaa voimakkaimmin Etelä-Suomessa (Fingrid, 2025a, s. 38). Tämä tuotannon ja kulutuksen maantieteellinen eriytyminen on keskeinen piirre vihreän sähköjärjestelmän muutoksessa (Fingrid, 2019, s. 9).

Sähköjärjestelmän investoinneista vihreän siirtymän kannalta keskeisimpiä ovat investoinnit tuulivoimaan, sillä kuten kuviosta 2 havaittiin, tuulivoima on tällä hetkellä nopeasti kasvava energiamuoto. Vuoden 2019 jälkeen tuulivoimaan on investoitu myös markkinaehtoisesti. Tuulivoimaan investointia havainnollistetaan kuviossa 4, joka kuvaa rakennetun tuulivoiman määrää Suomessa vuosina 2019–2025 kesäkuuhun saakka, joka perustuu Suomen Uusiutuvien tilasto- ja vuosiraporttiaineistoon.



**Kuvio 4.** Tuulivoiman rakentaminen ja kumulatiivinen kapasiteetti Suomessa 2019–2025

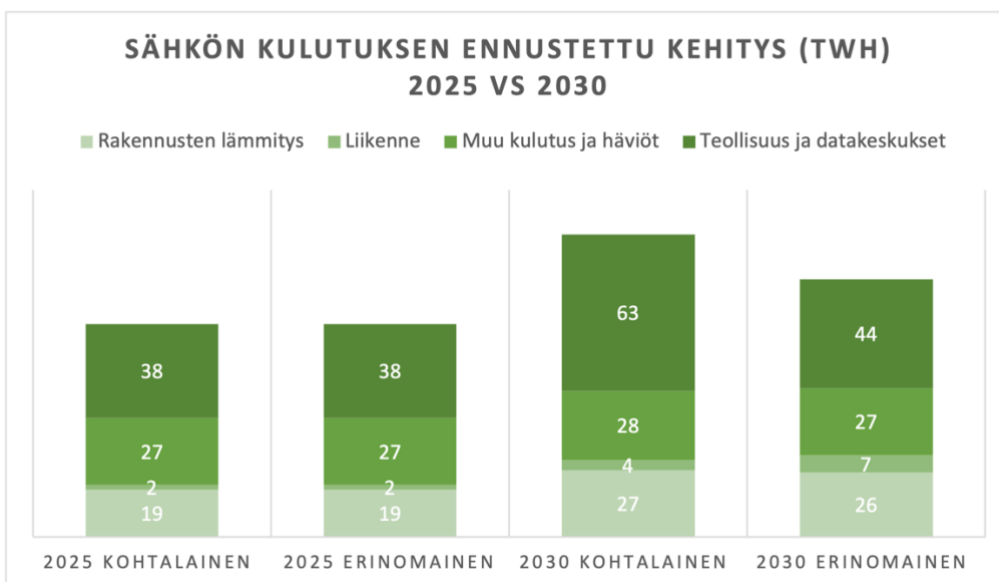
Kuvio 4 osoittaa, että tuulivoimakapasiteetti on kasvanut Suomessa nopeasti vuosina 2019–2025, mutta rakentaminen on ollut osittain epätasaista, mikä viittaa investointien epävarmuuteen. Samalla kumulatiivisen kapasiteetin nopea kasvu lisää sähköjärjestelmän tuotannon vaihtelevuutta.

Suomen sähköjärjestelmän muutosten vuoksi myös järjestelmän toimijoiden rooli korostuu. Sähkömarkkinoita sääntelee ja valvoo Energiavirasto, joka seuraa markkinoiden toimintaa, hinnoittelua ja verkon kehittämistä (Energiavirasto, n.d.). Keskeinen toimija on myös Suomen kantaverkon haltija Fingrid, joka vastaa Suomen sähkönsiirrosta, kantaverkon kehittämisestä ja yhteiskunnan tarpeisiin vastaamisesta

(Fingrid, 2019, s. 4). Muita tärkeitä toimijoita ovat sähköntuottajat ja sähkönmyyjät, jotka vastaavat sähkön vähittäismyynnistä loppukäyttäjille (Energiavirasto, n.d.). Lisäksi keskeistä on Suomen rooli osana pohjoismaista tukkusähkömarkkinaa: Suomen sähköjärjestelmä on kytkeytynyt Pohjois-Ruotsiin ja Pohjois-Norjaan ja Viroon (Fingrid, 2025a, s. 45).

## 4.2 Tulevaisuuden kasvunäkymät

Energiamurros jatkuu nopeasti, ja Fingridin (2025b) ennusteet osoittavat sekä kulutuksen että tuotannon kasvavan merkittävästi. Sähköistymisen teollisuudessa, datakeskuksissa ja liikenteessä ennustetaan lisäävän sähkön kysyntää 2030-luvulle saakka (Fingrid, 2025b, s. 5). Näitä kehitysnäkymiä havainnollistetaan kuvioissa 5 ja 6, joissa esitetään arviot Suomen sähkönkulutuksen ja tuotannon muutoksesta vuosina 2025 ja 2030 kohtalaisen ja erinomaisen kasvun skenaarioissa.

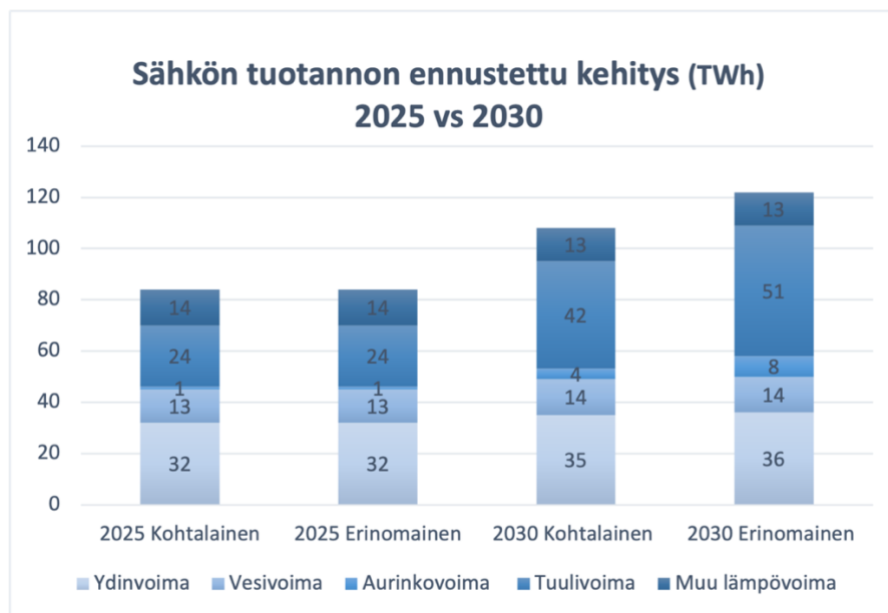


**Kuvio 5.** Sähkön kulutuksen ennustettu kehitys

Kuvio 5 osoittaa, että vuoteen 2025 verrattuna vuonna 2030 suurin kulutusta nostava tekijä ennustetaan olevan teollisuus ja datakeskukset. Myös liikenteen ja lämmön

sähköistymisellä on pieni rooli kulutuksen kasvussa, mutta muuhun kulutukseen ei ennusteta kohdistuvan yhtä merkittäviä muutoksia.

Kuvio 6 havainnollistaa, että vaihtelevan tuotannon määrän ennustetaan kasvavan yhä tulevaisuudessa edelleen. Erinomainen skenaario ennustaa vaihtelevan tuotannon kasvavan noin 110 prosenttia ja kohtalainen noin 64 prosenttia. Muiden tuotantolähteiden osuus pysyy melko samana, mikä viittaa siihen, että tulevaisuuden kulutuksen kasvu katetaan vaihtelevilla energiamuodoilla.



**Kuvio 6.** Sähkön tuotannon ennustettu kehitys

Sähkönkulutuksen painopiste jatkaa siirtymistään entistä vahvemmin Etelä-Suomeen, erityisesti datakeskusten kasvun myötä (Fingrid, 2025a, s. 12). Samalla tuotannon ennustetaan liityntäkyselyiden perustella kehittyvän edelleen Länsi- ja Pohjois-Suomeen (Fingrid, 2025a, s. 11). Sähkön kulutuksen ja tuotannon maantieteellinen epätasapaino korostuu siis myös tulevaisuudessa.

Kuvioista on nähtävissä myös ennusteet Suomen sähkön omavaraisuudesta. Mikäli Suomi onnistuisi saavuttamaan erinomaiset skenaariot kulutuksessa ja tuotannossa,

Suomen nettovienti olisi 18 TWh, mikä edistäisi Suomen kilpailukykyä. Vastaavasti kohtalaisissa skenaarioissa nettotuonti olisi 14 TWh, mikä heikentäisi omavaraisuutta ja lisäisi altistumista naapurimaiden toimitushäiriöille.

Kasvunäkymät viittaavat siihen, että energiajärjestelmä jatkaa sähköistymistä, minkä seurauksena vaihtelu kasvaa tulevaisuudessa entisestään. Nämä kasvunäkymät yhdessä osoittavat, että energiahuoltovarmuus kytkeytyy tulevaisuudessa entistä enemmän sähköverkon toimintavarmuuteen. Koska verkon kehittäminen vaatii pitkäjänteisiä investointeja (Fingrid, 2025c, s. 8), tulevaisuuden toimitusvarmuus riippuu nyt tehtävistä päätöksistä. Tämän vuoksi sähköjärjestelmän riskejä on olennaista tarkastella nyt.

### **4.3 Sähkön huoltovarmuus julkishyödykkeenä Suomessa**

Sähkön huoltovarmuutta voidaan Suomen kontekstissa tarkastella julkishyödyketeorian avulla. Suomen sähkön huoltovarmuuden julkishyödykeluonnetta vahvistaa sen ei-poissuljettava ja ei-kilpailullinen luonne. Huoltovarmuuden ei-poissuljettavuutta ja ei-kilpailullisuutta voidaan perustella sillä, että Fingridin (n.d.) kuvauksen mukaan Suomen sähköjärjestelmässä kantaverkko palvelee sähkön tuottajia ja kuluttajia koko valtakunnan tasolla. Fingridin järjestelmävastuuseen kuuluu muun muassa sähköjärjestelmän käyttö, valvonta, häiriöiden hallinta, siirtokeskeytysten suunnittelu ja koordinointi sekä tehotasapainon ja reservien hallinta (Fingrid. n.d.). Nämä tehtävät synnyttävät järjestelmän vakauden, joka on yhteinen hyöty.

Ei-poissuljettavuus ja ei-kilpailullisuus vastaavat julkishyödyketeoriassa kuvattua Samuelsonin (1954) määritelmää julkishyödykkeistä. Teorian mukaan tosielämässä täysin puhtaat julkishyödykkeet ovat harvinaisia, ja julkishyödykeluonnetta voidaan kritisoida esimerkiksi sillä, että kustannukset nousevat, kun turvattava väkimäärä kasvaa. Myös sähkön huoltovarmuuteen liittyy vastaavia ominaisuuksia, sillä se on vain osittain ei-kilpailullinen ja vaikeasti poissuljettava.

Suomessa energiahuoltovarmuus voidaan silti ymmärtää julkishyödykkeen kaltaiseksi yhteishyödykkeeksi, jolloin sen markkinoilla toteutuva tuotannon määrä ei vastaa yhteiskunnan kannalta optimaalista tasoa. Seuraavassa luvussa tarkastellaan, miten nämä teoreettiset ongelmat ilmenevät käytännössä Suomen energiamarkkinoilla ja mitkä muut markkinapuutteet hankaloittavat huoltovarmuuden riittävän tason saavuttamista.

#### **4.4 Sähkön huoltovarmuuteen liittyvät markkinapuutteet Suomessa**

Suomessa fossiilisten energialähteiden poistuminen markkinoilta on johtanut perinteisen säädettävän kapasiteetin laitosten sulkeutumiseen (Fingrid, 2019, s. 4). Tämä on keskeinen julkishyödykeluonteen aiheuttama markkinapuute, jossa energia-alan toimijat eivät teorian mukaan halua ylläpitää riittävää reserviä tai varavoimaa, sillä siitä huolehtiminen parantaa kaikkien yhteistä huoltovarmuutta. Haluttomuus tarjota varavoimaa ja reserviä ilmenee Suomen markkinoilla hyvin: Hiilitieto-sivuston (2025) mukaan Suomesta on lakkautettu tai tullaan lakkauttamaan vuoden 2026 loppuun mennessä kaikki hiilivoimalaitokset lukuun ottamatta Meri-Porin voimalaa.

Tämä on selkeä vapaamatkustajaongelmaan perustuva markkinaepäonnistuminen, joka on suoraan julkishyödykeluonteen aiheuttama. Koska huoltovarmuus on julkishyödyke, markkinoilla huoltovarmuus hinnoitellaan yksilön hyödyn mukaan, jolloin markkinatoimijat eivät saa riittävää kannustinta tuottaa huoltovarmuutta. Tämä kuvaa hyvin kannustinten puutteista johtuvaa markkinapuutetta, kun markkinat eivät tuota varavoimaa ilman valtion täydentäviä toimia. Ilmiöteoreettisen tarkastelun perusteella varavoima jää markkinoilla alituotetuksi sen kannustinongelmien vuoksi, joten Suomen kehitys vastaa tältä osin teorian ennustetta. Suomessa ollaan kuitenkin omavaraisempia kuin voisi pelkän teorian pohjalta olettaa, mikä perustuu Suomen vahvaan ydin- ja vesivoimaan, jotka pienentävät vaihtelevuusriskiä Suomessa (Fingrid, 2019, s. 17).

Varavoiman ja reservin puute syvenee markkinoiden heikon investointisignaalin vuoksi. Energialiiton (2024, s. 8) aineisto osoitti, että Suomen sähkömarkkinoilla on ollut yli 725 tuntia negatiivisia hintoja ja 175 tuntia nollahintoja. Ilmiö vastaa missing money -ongelmaa, jossa hinnat eivät kata tuotannon ja varakapasiteetin kustannuksia, mikä taloustieteessä vastaa markkinaepäonnistumista heikon signaloinnin takia.

Vihreän siirtymän aikana investointien epävarmuutta Suomessa kasvattaa myös se, että sääntely ja tukipolitiikka muuttuvat nopeasti, ja esimerkiksi sähköverkon kehittäminen muuttuu jatkuvasti, kun kantaverkon kehityssuunnitelmat uusitaan kahden vuoden välein (Fingrid, 2025a, s. 7). Tämä vastaa koordinaatio-ongelmaa, jossa muiden päätökset vaikuttavat omaan tulokseen. Näiden tekijöiden vuoksi Suomessa on nähtävissä taipumus lykätä investointeja, kun odotetaan selkeämpää tietoa tulevista olosuhteista ja muiden päätöksistä. Tämä Suomessa havaittu kehitys vastaa investointien epävarmuuteen liittyvää odotusoptiota, jossa investointeja lykätään.

Suomen kehitys vastaa osin teorian ennusteita, kun hintojen lasku heikentää investointikannustimia ja epävarmuus kasvattaa investointioption arvoa. Kuvio 4 havainnollisesti kuitenkin, että investointien kasvun nopeus on hidastunut vuoden 2022 jälkeen. Lisäksi Fingridin (2025a, s. 3) mukaan liityntäkyselyistä vain osa toteutuu, jolloin investointeja ei synny koko potentiaalin verran. Kuvion 4 perusteella tuulivoimakapasiteetti on kasvanut ja markkinaehtoisia investointeja on toteutunut, vaikka hintasignaalit ovat olleet heikkoja ja investointeja ovat hidastaneet koordinaatio-ongelma sekä epävarmuudesta johtuva odotusoption arvo.

Suomen sähkömarkkinoihin liittyy keskeinen markkinapuute myös kantaverkon rakenteeseen liittyen. Suomessa sähkön kantaverkon markkinoilla on vain yksi tehokas toimija, eli se on luonnollinen monopoli. Tällöin Suomen sähköverkossa ilmenee rakenteen aiheuttama markkinaepäonnistuminen, jolloin luonnollisen monopolin tehottomuuden vuoksi Suomessa sähkömarkkinat eivät itsenäisesti toimi tehokkaasti ilman julkisen sektorin väliintuloa. Suomessa sähköntuotantorakenteen muutos

edellyttää kuitenkin verkon jatkuvaa ja nopeaa kehittämistä, jotta sähkönkulutuksen ennusteiden mukainen kasvu saadaan toteutettua (Fingrid, 2025c, s. 6).

Vihreän siirtymän aikana kantaverkon kehittämisen tarve korostuu, kun säätökykyisen kapasiteetin supistuessa rajasiirtokapasiteetin, kysyntäjouston ja varastointitekniikoiden hyödyntäminen vaatii kehittämistä (Fingrid, 2019, s. 4). Suomessa tuotannon maantieteellinen epätasainen jakautuminen luo kehitystarpeen, kun verkkoon syntyy riski Pohjois-Suomen ja Etelä-Suomen välisistä pullonkauloista (Fingrid, 2025a, s. 38). Markkinat Suomessa epäonnistuvat, kun tuotanto jakautuu näin, eikä hinnat epäonnistuneen signaloinnin vuoksi ohjaa tuotantoa levittäytymään muille alueille, jolloin siirtoverkkoon ei kohdistuisi pullonkaulapainetta. Markkinoille syntyy epäonnistuminen, kun hinnat ohjaavat tuotannon vain resurssirikkaille alueille, vaikka tämä johtaisi verkon epävakauteen. Teorian kuvaamat pullonkaulariskit näkyvät Suomessa selvästi, kun tuotanto keskittyy maantieteellisesti ja kantaverkon investointiaika on huomattavasti hitaampaa kuin tuotannon kasvu (Fingrid, 2025a, s. 11).

Edellä esitellyt markkinapuutteet ovat keskeisiä haasteita Suomen sähköistyvässä energijärjestelmässä. Varavoiman alituotanto on selkein julkishyödykeluonteesta johtuva haavoittuvuus, joka tarvitsee suoraan julkisen sektorin täydentäviä toimia Suomessa. Myös muut markkinapuutteet heikentävät markkinoiden kykyä tuottaa optimaalista huoltovarmuuden tasoa ja turvata sähkön toimitusvarmuus. Siksi tietyissä tilanteissa julkisen sektorin täydentävät toimet ovat perusteltuja myös Suomen sähkömarkkinoilla.

#### **4.5 Julkisen sektorin väliintulo Suomessa**

Suomessa sähkön huoltovarmuutta varmistetaan yhteistyössä julkisen, yksityisen ja kolmannen sektorin kanssa (Huoltovarmuuskeskus, 2025). Julkisen sektorin huoltovarmuustoimet ja muu markkinoiden täydentäminen perustuvat kansallisen energia- ja ilmastostrategian poliittisiin linjauksiin, joista tarkastellaan vuosina 2022 ja

2025 valmistuneita strategioita. Nämä strategiat muodostavat kehyksen Suomen energiapolitiikalle ja ovat siten keskeinen lähtökohta tarkasteltaessa, miten julkinen sektori voi täydentää sähkömarkkinoita.

Yksi selkeimmistä julkisen sektorin väliintuloista Suomessa liittyy varavoiman turvaamiseen, sillä markkinat tuottavat sitä liian vähän vapaamatkustajaongelman vuoksi. Työ- ja elinkeinoministeriön (2025, s. 55) linjauksissa Suomen kriittisille energiatoimijoille asetetaan varautumisvelvoitteet häiriötilanteiden hallitsemiseksi. Lisäksi varsinaisesta varavoimakapasiteetista on huolehtinut Huoltovarmuuskeskus, joka on varannut Meri-Porin kivihillivoimalaitoksen tuotannon varavoimaksi vuoden 2026 loppuun asti (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025, s. 58). Tämä poikkeaa teoriasta, jossa varavoimaa hankitaan usein kapasiteettimekanismeilla. Vuoden 2025 strategiassa kuitenkin todetaan, että hallitus selvittää Suomessa tarvetta kapasiteettimekanismeille (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025, s. 58).

Vuoden 2022 strategiassa (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 51) korostetaan sähkönkulutuksen jouston edistämisen tärkeyttä Suomessa. Strategiasta ilmenee, että sähköntuotantoinvestoinnit kohdistuvat teknologioihin, joiden tuotanto ei jousta, minkä vuoksi esitetään, että markkinoiden kykyä hyödyntää joustoresurssia on parannettava digitalisaation ja datahubin avulla. Vuoden 2025 strategia laajentaa julkisen sektorin roolia valmisteltavalla fossiilittoman jouston tukimekanismilla (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025, s. 67). Lisäksi uudempi strategia esittää itsenäisen aggregaattorimallin valmistelua sekä mahdollisuutta liittää datakeskusten tukiin joustoa edistäviä ehtoja (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025, s. 68).

Suomessa investointituet ovat yksi julkisen sektorin keskeisistä keinoista korjata markkinapuutteita, kun markkinat eivät investoi itsenäisesti (Valtionalouden tarkastusvirasto, 2025, s. 14). Tukia on myönnetty esimerkiksi energiainfrastruktuurin parantamiseen, uusiin energiateknologioihin ja teollisuuden prosessien sähköistämiseen (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022b). Vuonna 2025 Suomessa otettiin käyttöön myös

verohyvitys suurille puhtaan siirtymän investoinneille, jonka tavoitteena oli madaltaa rahoituskynnystä uusiutuvan energian tuotantoon ja varastointiin (Business Finland, 2025).

Lisäksi Suomi sääntelee kantaverkon toimintaa kehittämisvelvoitteilla ja järjestelmävastuun määräyksillä (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025, s. 57). Kantaverkonhaltijalle eli Fingridille on annettu määräys kehittää toimintaansa muuttuvien olosuhteiden mukaan ja ylläpitää keinoja sähköjärjestelmän häiriöiden selvittämisessä ja palautumisessa normaalitilaan suunnitelmien ja harjoittelun avulla (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025, s. 57). Lisäksi julkisyhteisöt omistavat yli 70 prosenttia Fingridin äänivallasta (Fingrid, n.d.), mikä turvaa investointien kohdistumisen yhteiskunnan kannalta optimaalisella tavalla. Julkisen sektorin keskeinen rooli on sisältänyt myös rajasiirtoyhteyksien ylläpidon ja kehittämisen (Fingrid, 2025a, S. 44), ja vuoden 2022 ilmasto- ja energiastrategiassa kerrotaan uudeksi linjaukseksi edistää Suomen ja Ruotsin välistä vaihtosähköyhteyden toteutumista aikataulussa EU-rahoitusinstrumentteja käyttäen (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022a, s. 51).

Vuoden 2025 sähkömarkkinalain uudistukset vahvistavat tätä ohjausta. Viime vuosien sähkömarkkinalain muutoksilla julkinen sektori on vahvistanut verkonhaltijoiden kehittämisvelvollisuutta ja edistänyt uusien investointien toteuttamista. Lakiin on lisätty muun muassa joustavat ja pysyvästi joustavat liittymissopimukset helpottamaan uusien hankkeiden liittämistä sähköverkkoon, joissa siirtokapasiteetti on rajallinen (Finlex, 2025). Myös vuoden 2025 ilmasto- ja energiastrategia sisältää uusia lakiehdotuksia, joiden avulla on tarkoitus varmistaa Suomen sähköjärjestelmän hyvä toimintavarmuus ja kustannustehokkuus kaikissa olosuhteissa energiasiirtymän aikana (2025, s. 57).

Kantaverkkoa kehittämällä voidaan samalla edistää myös muiden sähkömarkkinoiden toimijoiden investointeja, kun kehittäminen mahdollistaa useampien asiakashankkeiden liittämisen sekä nopeuttaa liittämisprosessia (Fingrid, 2025a, s. 39). Fingrid on ottanut käyttöön perinteisen liittymissopimuksen rinnalle uuden, aikaisemmassa vaiheessa

tehtävän ehdollisen liittymissopimuksen, jonka tavoitteena on tukea ja helpottaa suurten teollisten hankkeiden investointipäätösprosesseja lisäämällä varmuutta verkkoliitännän saatavuuteen (Fingrid, 2025a, s. 43). Verkkoinvestoinnit suunnitellaan yhteistyössä asiakkaiden kanssa vastaamaan viimeisimpiä realistisia tehoennusteita sekä seuraamalla hankkeiden etenemistä (Fingrid, 2025a, s. 44). Tämä liittyy julkisen sektorin rooliin, kun investointituet ja sääntely yhdessä ohjaa kantaverkon toimintaa

## 5 Johtopäätökset

Tämä tutkielma tarkasteli sähkön huoltovarmuuden julkishyödykeluonnetta Suomessa vihreän siirtymän aikana. Tutkimuksen tavoitteena oli analysoida huoltovarmuuden luonnetta julkishyödykkeenä, sekä tarkastella sähkömarkkinoihin liittyviä markkinapuutteita ja niitä täydentäviä julkisen sektorin ohjauskeinoja.

Tutkielman keskeisimmät teoreettiset havainnot tarjosivat välineet ymmärtää miksi sähkön huoltovarmuuden luonne johtaa sen alituotantoon ja julkisen sektorin täydentävien toimien tarpeeseen vihreän siirtymän aikana. Markkinaepäonnistumisen teoria taas selitti, miten Suomen sähköjärjestelmän markkinapuutteet syventävät huoltovarmuuteen liittyviä haavoittuvuuksia, kun hinnoittelu ei anna oikeaa kuvaa markkinoiden tarpeesta. Teoria investointien epävarmuudesta auttoi ymmärtämään Suomen uusiutuvan energian investointien epävarmuutta, ja samalla luonnollisen monopolin teoria selitti, miksi kantaverkon kehittämiseen liittyy rakenteellisia haasteita.

Empiirinen aineisto havainnollisti Suomen sähkömarkkinoiden keskeiset markkinapuutteet sekä sen, miten julkinen sektori on pyrkinyt korjaamaan niitä. Tulokset osoittivat, että sähköistyminen ja uusiutuvan energian lisääntyvä vaihtelevuus kasvattavat riskejä sähkön huoltovarmuudelle toimitusvarmuuden näkökulmasta. Keskeisiä havaintoja olivat myös varavoiman poistumisesta seurannut riskien kasvu sekä investointien epätasainen eteneminen, jota selittävät epävarmuus ja hintasignaloinnin puutteet. Samalla empiirinen tarkastelu osoittaa, että julkinen sektori on Suomessa onnistunut täydentämään markkinoita monin tavoin, ja maa on hyötynyt esimerkiksi pohjoismaisesta sähkömarkkinaintegraatiosta. Huoltovarmuuteen kohdistuvaa haavoittuvuutta lisäävät kuitenkin edelleen tulevien investointien kannattavuuteen liittyvä epävarmuus sekä kantaverkon kehittämistarpeet siirtotarpeiden kasvaessa tulevaisuudessa.

Suomen tulokset ja julkisen sektorin toiminta vastaavat osin teorian tuloksia, etenkin julkishyödykeluonteen perusteella, kun keskeinen tutkimustulos oli, että

energiahuoltovarmuus on julkishyödykeluonteinen sen ei-kilpailullisuuden ja ei-poissuljettavuuden vuoksi. Teorian mukaisesti Suomessa varavoiman ja reservikapasiteetin alituotanto sekä investointien epävarmuus heikentävät markkinoiden kannustimia, ja heikot hintasignaalit ovat hidastaneet uusiutuvaan energiaan kohdistuvien investointien kasvua. Tämä tukee käsitystä missing money -ongelmasta ja investointien lykkäämisestä epävarmuuden ja odotusoption vuoksi. Myös kansainvälisten suhteiden muuttuminen vastaa teoriaa, kun Suomen pohjoismainen integraatio on vahvistunut muun yhteistyön laskiessa.

Tulokset eroavat teorian mukaisesta kehityksestä hieman. Empiirinen aineisto osoittaa, että uusiutuvaan sähköntuotantoon on markkinapuutteista huolimatta investoitu markkinaehtoisesti. Lisäksi Suomen sähköjärjestelmä poikkeaa teorian yksinkertaistetusta markkinamallista vahvan ohjauksen vuoksi. Fingridiin kohdistuva sääntely on edistänyt kantaverkon kehittämistä ja lisänneet investointiohjelman joustavuutta ja toimijoiden välistä yhteistyötä. Verkon kehittämistarve on silti edelleen merkittävä, jotta ennusteiden mukainen sähkön kysynnän kasvu voidaan tulevaisuudessa kattaa.

Tutkimuskysymyksiin voidaan vastata seuraavasti. Ensinnäkin sähkön huoltovarmuus saa Suomessa julkishyödykkeen piirteitä sen vuoksi että sen hyödyt jakautuvat koko yhteiskunnalle. Tämän vuoksi markkinat eivät yksin tuota riittävää huoltovarmuuden tasoa. Toiseksi huoltovarmuuden optimaalisen tason tuotantoa uhkaa sähkömarkkinoiden markkinapuutteet liittyen heikkoihin hintasignaaleihin, investointien epävarmuuteen ja kantaverkon luonnolliseen monopoliasemaan. Näitä markkinapuutteita on täydennetty julkisen sektorin toimesta varavoiman järjestämisellä, investointituilla, kantaverkon sääntelyllä ja kehittämisvelvoitteilla, lakiuudistuksilla sekä pohjoismaista integraatiota vahvistamalla.

Tämän tutkielman rajoitteet ovat, että työ ei sisällä empiiristä dataa, vaan työn empiirinen osuus perustui dokumenttianalyysiin. Lisäksi tutkimus kohdistui

sähkömarkkinoihin, eikä koko energiajärjestelmään, jolloin esimerkiksi maakaasun tarkastelu jäivät pois, vaikka niiden käyttö on muuttunut vihreän siirtymän aikana. Työn rajoitteena oli myös se, että energiahuoltovarmuutta tarkasteltiin vain toimitusvarmuuden hintatason näkökulmista, jolloin esimerkiksi hintatason ja hyväksyttävyyden ulottuvuutta ei analysoitu tutkielmassa.

Tutkimusta voisi laajentaa tulevaisuudessa esimerkiksi tarkastelemaan kapasiteettimarkkinamallia verrattuna Suomen malliin hankkia varavoima julkisen sektorin toimesta. Toinen kiinnostava jatkotutkimuskohde on sähkön hintojen vaikutus tuulivoimainvestointeihin. Erityisesti sähköisen kaukolämmön yleistyminen ja sähkökattiloiden lisääntyminen voivat muuttaa kysynnän ajoittumista ja siten hintadynamiikkaa.

## **Tekoälyn käytön raportointi**

Tekoälyä hyödynnettiin tutkielman eri vaiheissa. Käytetty malli on ChatGPT 5.2. Tekoälyä käytettiin aiheen ideointiin ja tutkimuksen rajauksen tukena sekä tutkielman rakenteen jäsentämiseen ja kappaleotsikoiden muotoiluun. Viimeistelyvaiheessa tekoälyä hyödynnettiin koko tekstin selkeyttämisessä, oikoluvussa ja osittain tiivistämään itse kirjoitettua tekstiä. Lisäksi tekoälyltä pyydettiin suosituksia lähdeaineiston valintaan. Tekoälyä hyödynnettiin tukevassa roolissa, ja tutkielman sisällölliset ratkaisut ja johtopäätökset ovat tekijän tekemiä.

## Lähteet

- Azzuni, A., Breyer, C. (2017). *Definitions and dimensions of energy security: a literature review*. WIREs Energy and Environment, 7(1), e268. Noudettu 5.11. sivulta <https://doi-org.proxy.uwasa.fi/10.1002/wene.268>
- Bator, M. F. (1958). *The anatomy of market failure*. The Quarterly Journal of Economics, 72(3), 351-379. <https://doi.org/10.2307/1882231>
- Berdysheva, S. & Ikonnikova, S. (2021). *The Energy Transition and Shifts in Fossil Fuel Use: The Study of International Energy Trade and Energy Security Dynamics*. Energies 14(7) <https://doi.org/10.3390/en14175396>
- Bhattacharyya, S. C. (2011). *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-268-1>
- Borenstein, S., Bushnell, J., & Mansur, E. (2023). The Economics of Electricity Reliability. *The Journal of Economic Perspectives*, 37(4), 181–206. <https://www.jstor.org/stable/27258131>
- Business Finland. (2025). *Verohyvitys suurille puhtaan siirtymän investoinneille*. noudettu 11.12.2025 osoitteesta <https://www.businessfinland.fi/palvelut/rahoitus/rahoituspalvelut/>
- Cherp, A., & Jewell, J. (2014). *The concept of energy security: Beyond the four As*. Energy policy, 75, 415-421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.020>
- Dluhopolskyi, O. Rudan, V., Haida, Y. & Hurysh, V. (2025). *EU policy on the development of renewable energy sources: energy security issue*. Journal on European economy. 2(93). <https://doi.org/10.35774/jee2025.02.283>
- Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press <https://doi.org/10.2307/j.ctt7sncv>
- Dixit, A. K., & Stiglitz, J. E. (1977). *Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity*. The American Economic Review. 67(3). 297-308. <http://www.jstor.org/stable/1831401>
- Energiateollisuus. (2024). *Sähkön hintatilastot 2024*. Noudettu 4.12.2024 osoitteesta <https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/sahkon-hintatilasto/>
- Energiateollisuus. (2025). *Energiavuosi 2024: Sähkö*. Noudettu 3.12.2024 osoitteesta

<https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/>

Energiavirasto. (2025). *Muistio koskien määräysluonnosta sähköjakelupalvelutuotteiden maksukomponenttien määräytymisperusteista.*

Noudettu 10.12.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/-/energiavirasto-esittaa-sahkon-verkkopalvelumaksujen-rakenteiden-valtakunnallista-yhdenmukaistamista>

Energiavirasto. (n.d.). Sähkön vähittäismarkkinat. Noudettu 13.12.2025 osoitteesta

<https://energiavirasto.fi/sahkomarkkinat>

Euroopan komissio (n.d.). Vuoden 2030 tavoitteet. Noudettu 10.12.2025 osoitteesta

[https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets\\_fi](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_fi)

Fingrid. (2019). *Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2019–2030.* Noudettu 2.12.2025

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/kehittamissuunnitelma/>

Fingrid. (2021). *Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2022–2032.* Noudettu 2.12.2025

osoitteesta <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/>

Fingrid. (2025a). *Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2026–2035.* Noudettu 2.12.2025

osoitteesta <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/>

Fingrid. (2025b). *Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät: Fingridin ennuste*

Q3/2025. Noudettu 10.12.2025 osoitteesta

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat/>

Fingrid. (2025c). *Tuhansista liityntäkyselyistä ennusteiksi ja kantaverkon*

*kehittämissuunnitelmaksi.* Noudettu 10.12.2025 osoitteesta

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/ajankohtaista-tapahtumat/tuhansista-liityntäkyselyista-ennusteiksi-ja-kantaverkon-kehittamissuunnitelmaksi---fingrid-current-2025.pdf>

Fingrid. (n.d.). *Osakkeet ja osakkeenomistajat.* Noudettu 2.12.2025 osoitteesta

<https://www.fingrid.fi/sijoittajat/osakkeet-ja-osakkeenomistajat/>

Fingrid. (n.d.). *Suomen sähköjärjestelmä.* Noudettu 10.12.2025 osoitteesta

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/>

- Finlex. (2025). *Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta*. Noudettu 10.12.2025 osoitteesta [https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2025/201](https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2025/201https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2025/201)
- Goldthau, A. (2012). *A Public Policy Perspective on Global Energy Security*. *International Studies Perspectives*, 13(1). 65-84. <https://doi.org/10.1111/j.1528-3585.2011.00448.x>
- Holcombe, R. G. (2000). *Public Goods Theory and Public Policy*. *The Journal of Value Inquiry*, 34, 273-286. <https://doi.org/10.1023/A:1004730424324>
- Hiilitieto. (2025). *Hiilivoimalaitokset Suomessa*. Noudettu 6.12.2025 sivulta <https://hiilitieto.fi/hiilitietoa/hiili-suomessa/hiilivoimalaitokset-suomessa/>
- Huoltovarmuuskeskus. (2025). *Huoltovarmuus Suomessa* Noudettu 11.12.2025 osoitteesta <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/tietoa-huoltovarmuudesta/huoltovarmuus-suomessa>
- International Energy Agency. (2025). *World Energy Outlook 2025*. Noudettu 10.11.2025 osoitteesta <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025>
- Jewell, J., Cherp, A., & Riahi, K. (2014). *Energy security under de-carbonization scenarios: An assessment framework and evaluation under different technology and policy choices*. *Energy Policy* 65, 743-760. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.051>
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D., & Green J. R. (1995). *Microeconomic Theory*. Oxford University press.
- Mielke, J. & Steudle, G., S. (2018). *Green Investment and Coordination Failure: An Investors' Perspective*. *Ecological Economics* 150 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.03.018>
- Musgrave, R. A., Musgrave P. B., & Bird, R. M. (1989). *Public Finance in Theory and Practice. Fifth Edition*.
- Nicholson, W. & Snyder, C. M. (2010). *Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions. Eleventh edition*. Cengage Learning.
- Newbery, D., Pollitt, M. G., Ritz, R., & Strielkowski, W. (2018). *Market design for a high-renewables European electricity system*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.025>
- Newbery, D. (2016). *Missing money and missing markets: Reliability, capacity auctions*

and interconnectors. Energy policy. Volume 94. 401-410  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.028>

Ochs, J. (1990). *The Coordination Problem in Decentralized Markets: An Experiment*. The Quarterly Journal of Economics 105(2). 545-559  
<https://doi.org/10.2307/2937800>

Samuelson, P., A. (1954). *The Pure Theory of Public Expenditure*. The review of economics and statistics, 36(4), 387-389. <https://doi.org/10.2307/1925895>

Szalbierz, Z., Ropuszynska-Surma, E. (2019) *Energy security as a public good*. Oeconomia Copernicana, 10(3), 503–529. <https://doi.org/10.24136/oc.2019.025>

Tilastokeskus. (2024). *Energian hankinta ja kulutus*. Noudettu 4.12.2025 sivulta  
<https://stat.fi/julkaisu/cm1klof66b63a07vwmtissyr>

Timmons, D., Harris, J., M. & Roach, B. (2024). *The Economics of Renewable Energy*. Global Development Policy Center, Boston University.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022a). *Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia*. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0>

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022b). *Rahoitetut RRF-energiainvestointitukihankkeet*. Noudettu 14.12.2025 osoitteesta <https://tem.fi/rahoitetut-rrf-energiainvestointitukihankkeet>

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2025). *Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta*. Noudettu 5.12.2025 osoitteesta <https://tem.fi/paatos?decisionId=5183>

Valtionalouden tarkastusvirasto. (2025). *Tarkastuskertomus 3/2025: Energiainvestointien tuki vihreän siirtymän edistäjänä*. Noudettu 10.12.2025 sivulta <https://vtv.fi/raportti/energiainvestointien-tuki-vihrean-siirtymän-edistajana/>