



SÄHKÖN HINTAPIIKKIEN TASAAMISEN HAASTEET

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2025

Eeli Lantto

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Eeli Lantto

Sähkön hintapiikkien tasaamisen haasteet

Energiatekniikan kandidaatintyö

2025

32 sivua, 18 kuvaa ja 1 liite

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

Avainsanat: Pörssisähkö, hintapiikki, uusiutuva energia, hinnan muodostuminen, sähkön-tuotanto, energiavarastot

Tämän tutkielman tarkoituksena on saada kokonaisvaltaisempi kuva sähkön pörssihinnan hinnanvaihtelun syistä. Työssä tarkastellaan myös Suomen sähköntuotantoa, kulutusta sekä pohditaan tapoja, joilla sähkön hintahuippuja voisi tasoittaa näiden tietojen perusteella. Näiden lisäksi työn päätutkimuskysymys tarkastelee sitä, millainen järjestelmä voisi tasata hintahuippuja.

Sähkön pörssihinta muodostuu kysynnän ja tarjonnan mukaan Nordpool-sähköpörssissä, jossa markkinoita ohjaavat vuorokausimarkkinat sekä päivänsisäiset markkinat. Suomi tuottaa lähes kaiken käyttämänsä sähkön, joten omalla tuotannolla on suuri vaikutus pörssisähkön hintaan. Kulutus vaihtelee niin vuorokaudenajan kuin vuodenajan mukaan. Vuonna 2024 sähköpörssissä esiintyi erittäin korkeiden hintojen lisäksi myös negatiivisia hintoja. Suomessa fossiiliset ja biomassat tuotantomenetelmät ovat kalliita. Suuret kustannukset muodostuvat pääosin polttoainekustannuksista ja CO₂-kustannuksista. Ydinvoimalla ja uusiutuville energialähteillä suurimman osan kustannuksista muodostaa yleisesti pääomakustannukset, mutta uusiutuvat tuovat mukanaan merkittävän määrän systeemikustannuksia.

Hintahuippuja voitaisiin tasata kahdella tavalla: käytön rajoittamisella tai tuotannon infrastruktuurin kehittämällä. Sähköpörssin hinnanvaihtelua voitaisiin vähentää lisäämällä sähkön tuotantoa konventionaalisilla menetelmillä. Päästöjen takia merkittävä osa hinnasta aiheutuu hiilidioksidin päästöoikeuskustannuksista. Poliittisilla päätöksillä olisi tämänkaltaisia kustannuksia mahdollista pienentää. Energiantuotannon siirtyessä uusiutuviin sekä vähähiilisiin ratkaisuihin ydinvoimat sopivat piirteiltään hyvin peruskuorman tuotantoon. Ydinvoiman varmuus sekä hiilineutraalius tukee erinomaisesti tulevaisuuden energiajärjestelmän tarpeita. Uusiutuvat energialähteet tarvitsevat tuotannon epätasaisuuden tasaamiseksi energiavarastoja varmistamaan riittävä sähköntuotanto kaikkina aikoina.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Energy Technology

Eeli Lantto

Challenges in mitigating electricity price spikes

Bachelor's thesis

2025

32 pages, 18 figures and 1 appendix

Examiner: Professor Esa Vakkilainen

Keywords: spot-priced electricity, price spike, renewable energy, price formation, electricity production, energy storage

The purpose of this thesis is to gain a more comprehensive understanding of why spot electricity price varies so much. This study also takes a look into electricity production and usage, and explores ways to mitigate electricity price spikes based on these insights. In addition, the main research question of this thesis examines what kind of electricity system could even out electricity price spikes.

Electricity price is formed by supply and demand in Nordpool power exchange, where electricity market is driven by day-ahead market and intraday market. Finland produces almost all electricity used in the country, meaning that electricity production has significant impact on spot price. Electricity consumption changes with season and day cycles. In 2024 the electricity market had extremely high prices but also negative prices. In Finland electricity production with fossil fuel and biomass are expensive. High production costs are primarily due to fuel and CO₂ emission costs. With nuclear power and renewable energy costs are formed mainly by high capital costs. Renewable energy also brings significant system costs.

Electricity price spikes can be mitigated in two main ways: limiting consumption or developing production infrastructure. Electricity price fluctuation could be reduced by increasing conventional production methods. Due to emissions large part of the costs, electricity price could be reduced by political decisions relating to carbon emission allowance. While electricity production is going toward renewable and carbon neutral solutions nuclear power works well as providing base load. The reliability and carbon neutrality of nuclear power makes it a great option for future energy infrastructure. Renewable energy requires energy storage to ensure sufficient electricity production at all times due to their variable production.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	5
2	Kuinka sähkön pörssihinta muodostuu.....	7
3	Suomen sähköjärjestelmä	9
3.1	Energian tuotanto ja kulutus	9
3.2	Sähkösiirtoverkko	11
3.3	Sähkön hinnan vaihtelu.....	12
4	Yleisimpien energiantuotantomenetelmien edut ja haitat	16
4.1	Ydinvoima	16
4.2	Tuulivoima.....	18
4.3	Vesivoima	19
4.4	Aurinkovoima	20
4.5	Kaasu hiili ja yhteistuotanto	20
4.6	Tuotantomuotojen kustannukset	22
4.7	Energiavarastot	23
5	Miten lähestyä hintapiikkien hallintaa.....	25
6	Johtopäätökset	28
	Lähteet	29

Liitteet

Liite 1: Sähkön pörssihinnan muutokset vuosina 2015 ja 2024.

1 Johdanto

Sähkön pörssihinnan vaihtelu on kasvanut viime vuosina. Vuonna 2024 hinnat olivat monesti hyvin alhaiset ja toisinaan todella korkeat. Liitteessä 1 on esitetty sähkön spot-hinnat vuosina 2015 ja 2024. Vuonna 2015 korkeimmat sähkön pörssihinnat olivat 150 €/MWh, ja tämä tapahtui vain muutaman kerran. Vuonna 2024 tunteja, jolloin sähkön pörssihinta ylitti 250 €/MWh, oli useita. Korkeiden hintojen määrä on siis kasvanut viime vuosina. On myös huomioitavaa, että sähkön hinnat hintapiikeissä olivat vuonna 2024 korkeampia kuin vuonna 2015. Korkeiden hintojen lisäksi vuonna 2024 esiintyi myös negatiivisia sähkön pörssihintoja, kun taas vuonna 2015 ei ollut yhtäkään negatiivista pörssihintaa.

Sähköntuotannossa ollaan siirtymässä kohti uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämistä. IEA:n (2024b) mukaan uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön määrä on kasvanut vuoden 2000 tuotannosta (2800 TWh) noin 10 000 TWh:iin vuonna 2024. IEA (2024b) ennustaa kaikkien uusiutuvien yhteissähköntuotannon nousevan 17 000 TWh vuoteen 2030 mennessä. Uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön määrä on siis kasvanut jonkin verran vuoden 2000 alusta, mutta IEA:n (2024b) ennusteen mukaan uusiutuvan energian määrä kasvaisi nopeammin tulevaisuudessa. Vuonna 2024 maailmanlaajuinen sähköntuotanto kasvoi 4.3 %, mistä vähän yli 80 % tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä tai ydinvoimalla (IEA, 2025b).

Energiantuotannon CO₂-päästöt ovat merkittävä osa kaikista maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä. Siksi tärkeä kriteeri sähköjärjestelmässä olisi lisätä vähähiilisiä lähteitä kuten uusiutuvia ja ydinvoimaa. Uusiutuvalla energialle on kuitenkin tyypillistä tuotannon kausittaisuus ja ennalta-arvaamattomuus. Kausittaisuudensa takia on yhä tärkeämpää investoida energiantuotantoon siten, että sähkön pörssihinnan vaihtelevuus ei kasvaisi liikaa.

Tämän tutkielman tarkoituksena on saada kokonaisvaltaisempi kuva sähkön pörssihinnan muodostumisesta, Suomen sähkötuotannosta sekä pohtia tapoja, joilla sähkön hintahuippuja voisi tasoittaa näiden tietojen perusteella. Tätä tarkastellaan seuraavan tutkimuskysymyksen avulla:

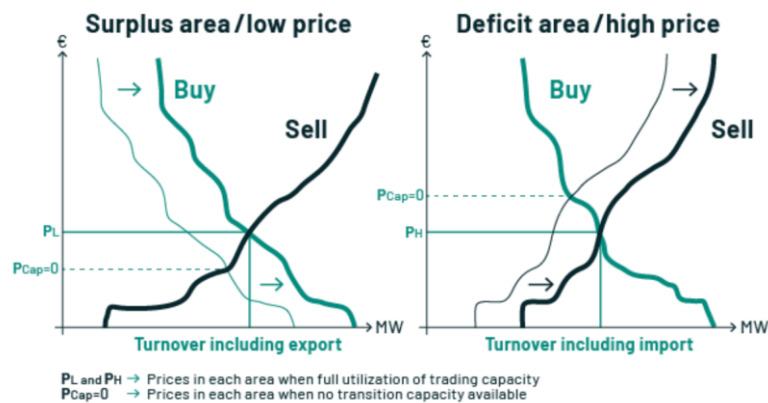
Kuinka sähkön hintahuippuja voisi tasoittaa?

Lisäksi tavoitteena on tutkia sitä, millainen energiajärjestelmä estäisi hintahuippujen muodostumista. Järjestelmää tutkiessa keskitytään Suomen sähkötuotantoon. Suomi on osa Euroopassa toimivaa NordPool-sähkömarkkinaa, mutta työssä muiden markkinoiden vaikutusta Suomen sähkön pörssihintaan ei ole käsitelty. Työssä keskitytään yleisimpien sähköntuotantoteknologioiden hyviin puoliin Suomen sähköjärjestelmän vakauden kannalta. Sähköntuotannon eri teknologioihin keskitytään yleisellä tasolla, eikä teknologioiden mahdollisia innovaatioita työssä käsitellä.

2 Kuinka sähkön pörssihinta muodostuu

Suomessa sähkön markkinahinta eli spot-hinta määräytyy pohjoismaissa toimivan Nordpool-sähköpörssin mukaan. Nordpool on sähkön kauppapaikka, mihin kuuluu pohjoismaat, Baltian maat, Yhdistyneet kuningaskunnat, Puola, Ranska, Hollanti, Belgia ja Itävalta. (Nordpool, 2025f) Suomen sähkömarkkina koostuu yhdestä kauppalaueesta (NordPool, 2025a). Nordpool-sähköpörssi koostuu Day-ahead eli vuorokausimarkkinoista ja Intraday eli päivänsisäisestä markkinasta (Nordpool, 2025f).

Vuorokausimarkkinoilla sähkön pörssihinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan seuraavalle 24 tunnille. Sähkön hinnan määrittämisen päivittäinen prosessi alkaa kello 10 Keski-Euroopan aikaa (CET +0), milloin sähkömarkkinoiden siirtokapasiteetit julkaistaan. Tämän jälkeen sähkön ostajilla ja myyjillä on kello 12:een (CET +0) asti aikaa viimeistellä sähkön myynti- sekä ostotarjoukset huutokauppaa varten. Tarjousten perusteella algoritmi Euphemia määrää kysynnän ja tarjonnan mukaan sähkön pörssihinnan. (NordPool, 2025b) Kaikki sähkö yhden markkina-alueen sisällä myydään samaan hintaan, eli hinta määräytyy kalleimman tuotetun MWh mukaan siten, että kysyntä katetaan (NordPool, 2025e). Kuvassa 1 on esitetty hinnan muodostuminen kuvaajana. Musta käyrä kuvaa sähkön tuottajien tarjouksia sähkön myyntihinnalle ja turkoosi käyrä kuvaa sähkön kysyntää. Kuvassa on esitetty siirtokapasiteetin vaikutusta spot-hinnan muodostumiseen, mutta tätä ei välttämättä aina tapahdu kuvan mukaisesti.



Kuva 1: Sähkön hinnan kysyntä ja tarjontakäyrien kohtaaminen markkina-alueella. (NordPool, 2025d)

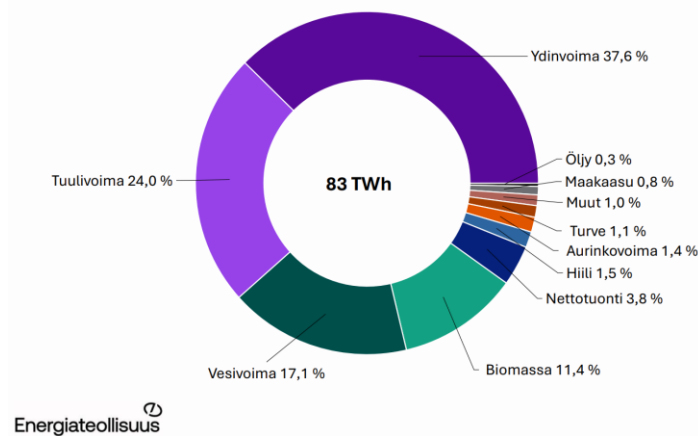
Päivänsisäinen markkina toimii varmistamaan tarvittavan tasapainon vuorokausimarkkinan kanssa. Päivänsisäisellä markkinalla pystytään ottamaan huomioon odottamattomat vaihtelut tuotantoon tai kulutukseen päivän kaikkina aikoina. Päivänsisäiset markkinat ovat auki ympäri vuorokauden ja kaupankäyntiä sähkön tarpeen tasoitukseen yleisesti aina tuntia ennen toimitusta. Joissakin tapauksissa kauppaa sähköstä voidaan käydä myös aina toimitus tuntiin asti. Kaupankäynti päivänsisäisillä markkinoilla seuraa ”*First-come first-served principle, where best prices come first*” -periaatetta, jossa parasta hintaa palvellaan ensin. Tämä tarkoittaa, että ensin hyväksytään korkein ostotarjous ja matalin myyntitarjous. (NordPool, 2025c)

3 Suomen sähköjärjestelmä

Tämän luvun tarkoituksena on tarkastella Suomen sähköjärjestelmää. Sähköjärjestelmästä käsitellään tiiviisti Suomen tuotanto- ja kulutusprofiileja, sähkön siirtoverkkoa ja miten sähkön pörssihinta on sähköjärjestelmässä vaihdellut. Lopuksi käsitellään mitkä tekijät ovat vaikuttaneet Suomen sähköjärjestelmän hinnanvaihteluihin ja mitä seurauksia suurella sähkön pörssihinnan vaihtelulla on.

3.1 Energian tuotanto ja kulutus

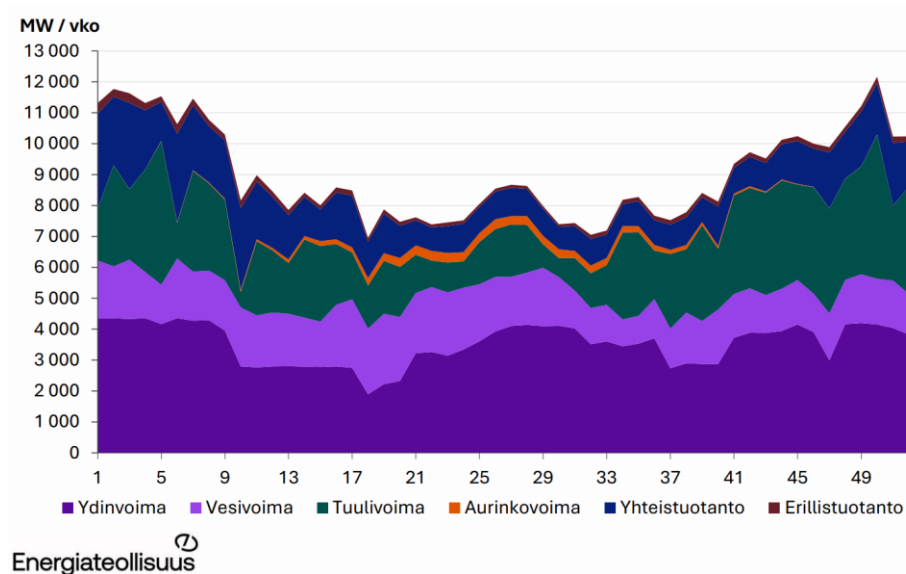
Suomen sähköntuotanto energialähteittäin on esitetty kuvassa 2. Suomi tuottaa käyttämästään sähköstä 96.2 %. Merkittävimmät tavat tuottaa sähkö on ydinvoima, tuulivoima, vesivoima, ja biomassassa, mitkä vuonna 2024 tuottivat 90.1 % Suomessa käytetystä sähköstä.



Kuva 2. Suomen sähkön tuotanto energialähteittäin ja tuonnin määrä. (Energiateollisuus, 2025a)

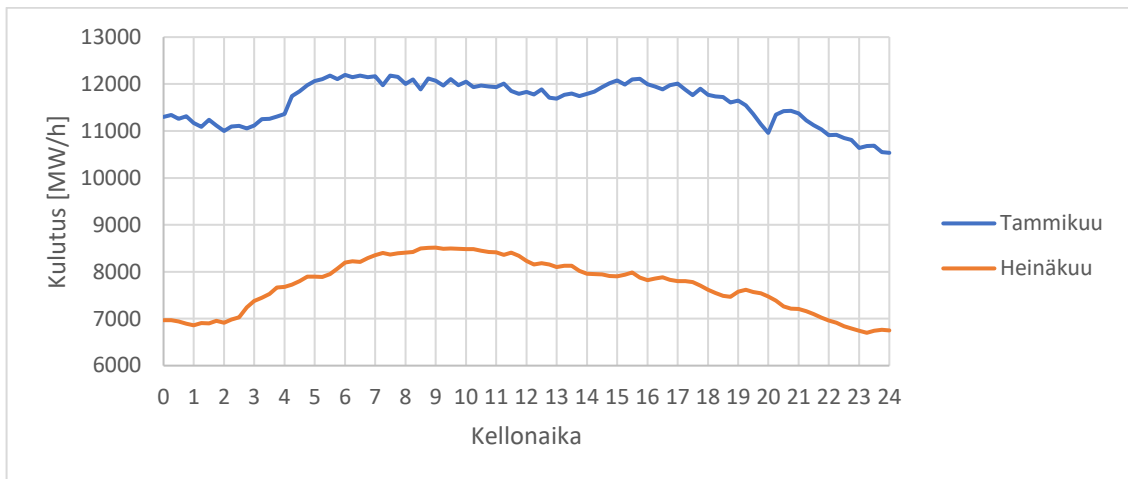
Kuvasta 2 nähdään, että Suomi ostaa kuluttamastaan sähköstä vain 3.8 %. Koska Suomi tuottaa lähes kaiken kuluttamastaan sähköstä, on Suomen omalla tuotannolla suuri vaikutus Suomen sähkön hintaan. On kuitenkin huomioitava sähkömarkkinan toiminta. Kuten luvussa 2 todettiin, määräytyy spot-hinta sähkölle sähköpörssissä kalleimman tuotantotavan mukaan. Tämä korostaa niiden energiantuotantotapojen merkitystä spot-hintaan, joilla tehdään vähän vuotuisesta sähköstä. Niillä on suurempi merkitys hinnan muodostumisissa kuin niillä on kokonaisutuotannon määrään.

Vaihtelua sähkönkulutuksessa tapahtuu sekä vuorokausitasolla että viikkotasolla. Kuvassa 3 on esitetty eri sähkön tuotantotapojen keskiteho viikoittain. Kuvasta huomataan, kuinka sähkön kulutus on huomattavasti suurempaa talvella kuin kesällä. Talvella sähkön kulutus on huomattavasti suurempaa, koska lämmityksen ja valaistuksen tarve on huomattavasti suurempi. On myös huomioitava, että vuodet eivät ole samanlaisia keskenään ja vaihtelua olosuhteissa kuten lämpötila, tuulisuus ja sateisuus. Pitkän aikavälin vaihtelut tarkoittavat, että luotettavaa tuotantoa on oltava saatavilla. Talvi-kesä-vaihtelun kattavan tuotannon päätarkeisuus ei ole olla nopeasäätöistä, vaan hinnaltaan tarpeeksi alhaista ja luotettavaa.



Kuva 3: Viikko keskiteho Suomessa vuonna 2024. (Energiateollisuus, 2025a)

Kuvassa 4 on esitetty esimerkki arkipäivän kulutuksesta 9. tammikuuta ja 9. heinäkuuta. Kulutuskäyristä huomataan, kuinka päivät seuraavat lähes samanlaista trendiä. Yöllä kulutus on talvella sekä kesällä huomattavasti alhaisempaa, kuin keskellä päivää. Molemmissa tapauksissa nähdään aamutunteina tapahtuva kulutuksen nousu. Kulutuksen vuorokausi rytmi seuraa esimerkkiä lähes jokaisena vuorokautena.

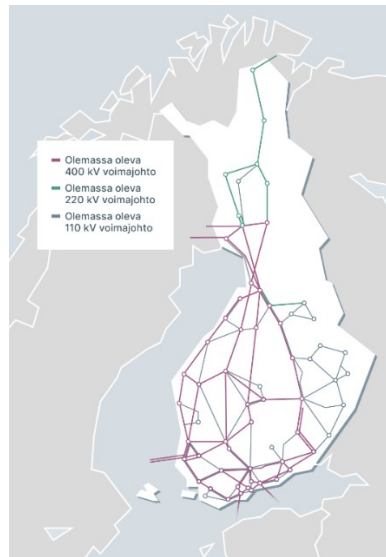


Kuva 4. Sähkön kulutus 9.1.2024 ja 9.7.2024. (Fingrid, 2025b)

Sähköjärjestelmän toimintaa mielessä pitäen on kuvaajasta tärkeä huomioida nopeat teho muutokset tai hetkittäiset muutokset kulutuksessa. Tammikuussa kello 5–6 on tapahtunut nopea tehontarpeen nousu. Toinen nopea muutos sähkön tarpeessa on tapahtunut tammikuussa kello 20, milloin sähkön kulutus on äkillisesti laskenut. Sähköjärjestelmän säätövoiman tarkoitus on kattaa vastaavanlaiset nopeat vaihtelut sähkön tarpeessa.

3.2 Sähkönsiirtoverkko

Kantaverkolla on tärkeä tehtävä, sillä siellä siirretään valtaosa Suomessa kulutetusta sähköstä. Sähköverkon tarkoitus on mahdollistaa kaupankäynti sähkön tuottajien ja sähkön kuluttajien välillä. Suomen kantaverkoilla tarkoitetaan suurjänniteverkkoa ja jakeluverkkoa. Kantaverkkoon kuuluu 5400 kilometriä 400 kilovoltin voimajohtoa, 1000 kilometriä 220 kilovoltin voimajohtoa, 7600 kilometriä 110 kilovoltin voimajohtoa, 320 kilometriä suurjännitetasavirtakaapelia ja yli 120 sähköasemaa. (Fingrid, 2025d) Kuvassa 5 on esitetty Suomen sähkönsiirtoverkko.

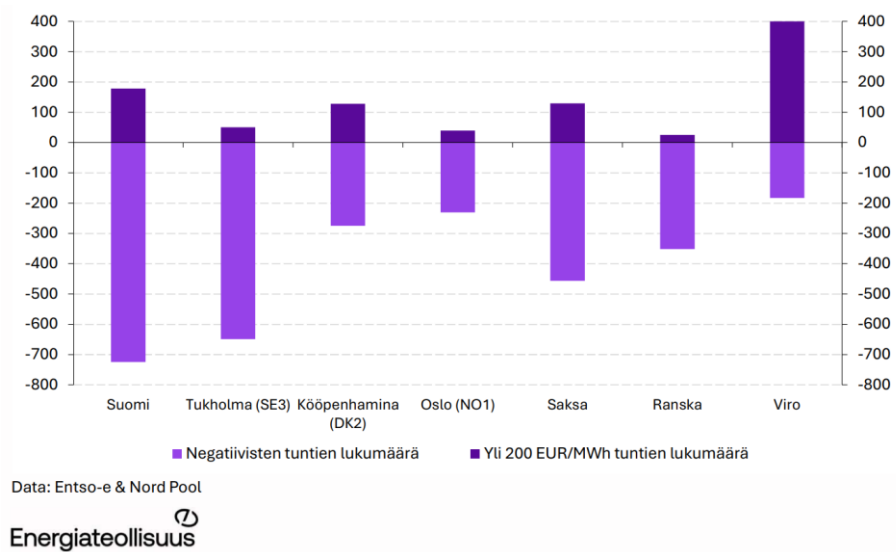


Kuva 5: Suomen kantaverkko. (Fingrid, 2025c)

Suomen sähköverkko on yhteydessä Norjaan, Ruotsiin, Viroon ja Venäjälle, mutta sähkön siirto Venäjälle on tällä hetkellä keskeytetty. Sähköverkon siirtokapasiteetti Norjaan on 100 MW, Ruotsiin 2480 MW ja Viroon 1016 MW. (Fingrid, 2025e) Uusi rakenteilla oleva Aurora line tulee nostamaan Ruotsista Suomeen tuotavan sähkön kapasiteettia 800 MW:lla. (Fingrid, 2025a). Teoriassa Suomella olisi siis mahdollista ostaa sähkönhuippukulutuksesta (14914MW) noin 17.4 %. Todellisuudessa sähkön nettotuonti oli vuonna 2024 vain 3.8 % kokonaiskulutuksesta. IEA:n (2025a) mukaan vuonna 2024 Viro osti sähköä 7660 MWh, joten on Suomen mahdollisuus myydä liikatuotantosähköä tai ostaa tarvittavaa sähkö on rajallinen.

3.3 Sähkön hinnan vaihtelu

Kuvassa 6 on esitetty korkeiden ja negatiivisten sähkön pörssihintojen tuntien lukumäärä. Kuvasta 6 huomataan, että vuonna 2024 oli huomattava määrä tunteja, jotka olivat hinnaltaan yli 200 €/MWh tai hinnaltaan negatiivisia. Energiateollisuuden (2025a) mukaan Suomen ensimmäiset negatiiviset sähkön hinnat koettiin vuonna 2020. Suomessa negatiivisia tunteja on myös enemmän kuin muissa esitetyissä maissa.

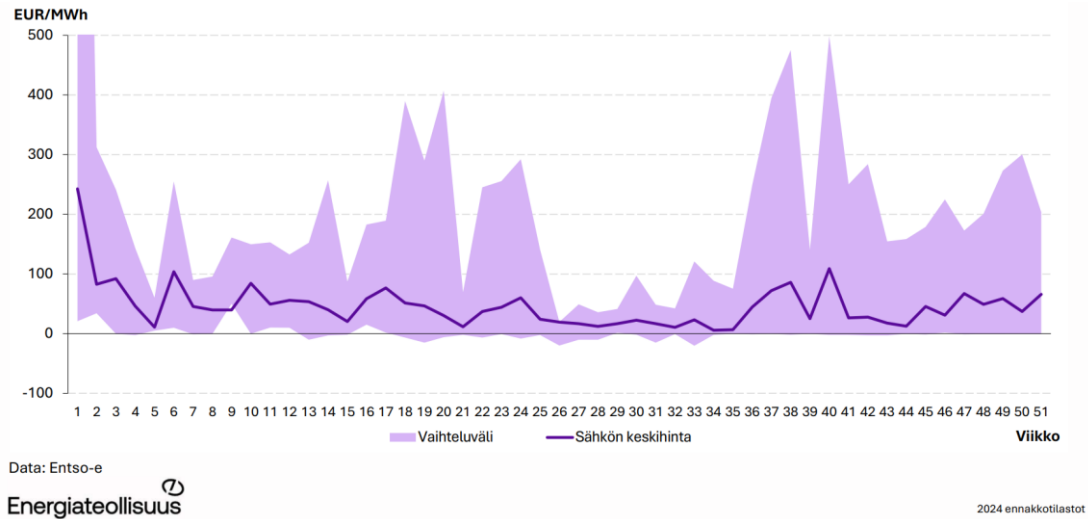


Kuva 6: Korkeiden ja negatiivisten sähkön pörssihintojen tuntien lukumäärä vuonna 2024. (Energiateollisuus, 2025a)

Atanasiaen (2020) mukaan uusiutuvien energiatuotantomuotojen yleistymisen myötä negatiiviset hinnat pörssisähkössä esiintyvät erityisesti silloin, kun uusiutuvilla energialähteillä tuotettua sähköä on paljon ja kulutusta vähän. Sähkön liikatuotantoa tämän kaltaisina hetkinä pahentaa osan konventionaalisten tekniikoiden minimituotantoraja, jota vähempää ei kyseisellä laitoksella voida tuottaa. Negatiivisten tuntien määrä ei ole optimaalista tai toivottavaa, sillä se viittaa energiajärjestelmän olevan epätasapainossa lisäten epävarmuutta. Toinen ongelma negatiivisissa tunneissa on se, että sähköntuotantotapojen muuttuvia kustannuksia ei pystytä kattamaan. Huono kuva markkinoista lisää kynnystä investoida uusiin voimalaitoksiin ja energian tarpeen kasvaessa tuo vajaus tuotannossa ongelmia. (Atanasoae, 2020)

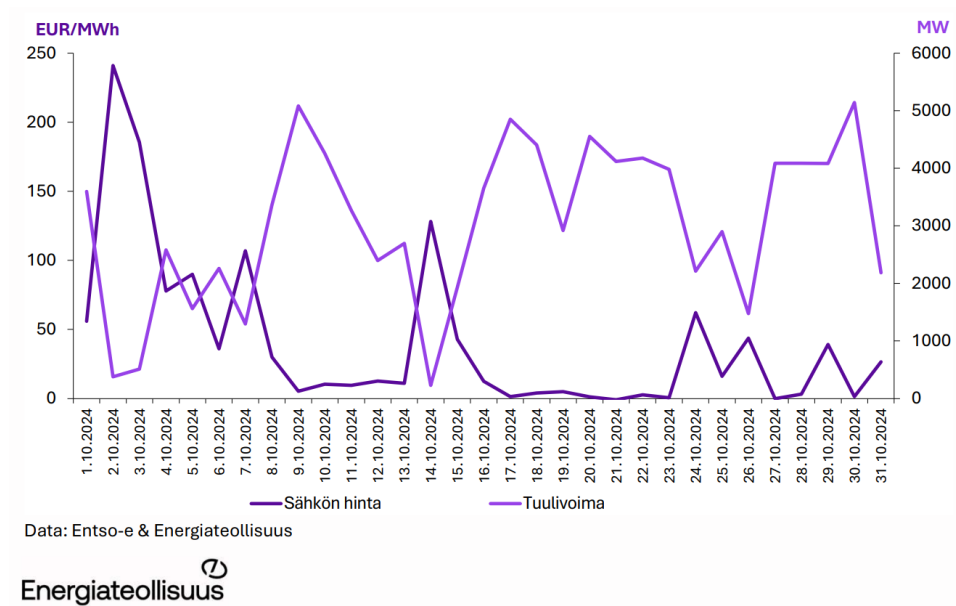
Sähkön myyjät tekevät kiinteän hinnan sopimuksen tai sähkön pörssihintaan perustuvan sähkösopimuksen. Kiinteiden sähkösopimuksien kohdalla sähkön korkeiden spot-hintojen aikana sähkön välittäjät joutuvat maksamaan sähkön hinnan erotuksen, mikä on taloudellisesti epäsuotuisaa. (Ali et al., 2022) Pörssiin sidotussa sähköhinnassa ei sähkön myyjillä ole samanlaista riskiä. Riskin pörssiin sidotusta sähköhinnasta kantaa sähkön ostaja. Tämän takia korkeat huippuhinnat voivat vaikuttaa suuren määrän sähköä kuluttavien tuotantolaitosten kuluihin merkittävästi.

Kuvassa 7 on esitetty sähkön keskihinta sekä hinnan vaihteluväli viikoittain vuonna 2024. Keskihinnassa näkyy selvästi kesäkuukaudet, jolloin hinnanvaihtelu ei ole yhtä suurta talveen nähden, pois lukien kesäkuun alku viikkoina 23–24. Muina vuodenaikoina sähkön hinnan vaihteluväli oli suuri.



Kuva 7: Viikon keskihinta ja sähkön hinnan vaihteluväli. (Energiateollisuus, 2025a)

Hiilineutraalien energian tuotantotapojen lisääminen on ilmaston kannalta tärkeää. Kuvasta 8 kuitenkin nähdään tuulivoiman vaikutuksia sähkön pörssihintaan. Energiateollisuuden (2025a) mukaan sähkön pörssihintoihin vaikuttaa kysynnän osalta tekijät, kuten viikonpäivä, kellonaika, lämmitystarve, teollisuuden käynnistysaste, ja tuotannon puolelta tekijät, kuten vesitilanne, päästökustannukset, voimalaitosten ja siirtolinjojen käytettävissä oleva kapasiteetti. Tuulivoimasta on kuitenkin tullut suurin yksittäinen sähkön pörssihintoihin vaikuttava tekijä. Vuonna 2024 lokakuun aikana lähes poikkeuksetta tuulivoiman tuottaessa suuren määrän sähköä oli sähkön pörssihinnan päiväkeskiarvo lähellä 0 €/MWh, kun taas vähätuulisina aikoina hinta oli korkeampi ja satunnaisesti paljon korkeampi, yltäen 3 päivänä yli 100 €/MWh. (Energiateollisuus, 2025a)



Kuva 8: Lokakuun tuulivoimatuotanto ja sähkön tukkuhinnan päiväkeskiarvo (Energiateollisuus, 2025a)

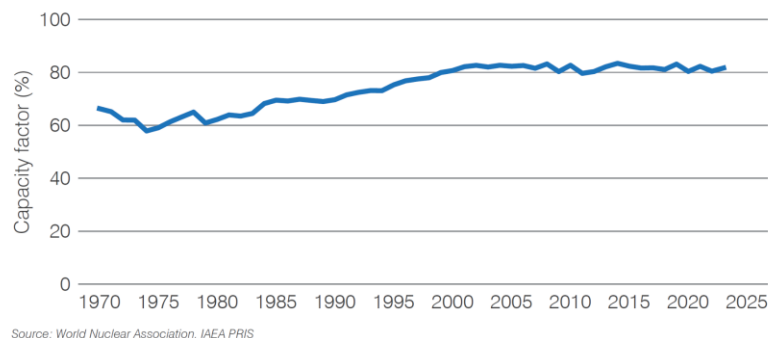
Tuulivoiman lisääntyessä keskimääräinen sähkön hinta laskee, mutta sähkön hinnan muutokset kasvavat. Tuulivoiman tuotannon ennustamisella on kuitenkin suuri merkitys sen vaikutuksiin sähkön tukkuhintaan. Mikäli tuulivoiman tuotantoa ei ennusteta ollenkaan tai ei oteta huomioon tuotannossa johtaa tämä sähkön hinnan laskuun. Hinnan laskun lisäksi sähkön pörssihinnassa alkaa esiintymään hinnaltaan negatiivisia tunteja, kun konventionaaliset laitokset eivät pysty lopettamaan tuotantoaan kokonaan ja tuotantoa on kulutukseen nähden liikaa. Tuulivoiman tuotannon yliennustaminen puolestaan nostaa sähkön hintoja ja aliarviointi laskee sähkön tukkuhintoja. Tuulivoiman sähköntuotannon rajoittaminen nostaa sähkön hinnan perustasoa, mutta tuulivoiman kapasiteetista riippuen tuulivoiman rajoittaminen vähentää hinnan vaihtelun suuruutta. (Martinez-Anido et al., 2016)

4 Yleisimpien energiantuotantomenetelmien edut ja haitat

Energiantuotannossa viime vuosina on pyritty yhä enemmän kohti hiilineutraaliutta. Uusiutuvalla energialla tuotettu sähkö on yleistynyt paljon, mutta konventionaaliset tuotantotavat toimivat sähköntuotannossa edelleen keskeisessä roolissa. Tässä kappaleessa käsitellään sähköntuotannon näkökulmasta erilaisten tuotantotapojen ominaispiirteitä järjestelmän toimivuuden ja tasapainon ylläpitoa tarkastellen. Keskeisimpien tuotantotapojen piirteiden esittelyn jälkeen on käsitelty lyhyesti keskeisimpien tuotantotapojen kustannuksia. Lopuksi suurimpien energiavarastointitapojen ominaisuuksia on käsitelty systeemin toimivuuden kannalta.

4.1 Ydinvoima

Ydinvoiman käyttöaste koko maailmassa on esitetty kuvassa 9. Ydinvoiman käyttökerroin on hyvin korkealla, sekä vuodesta 2000 eteenpäin käyttökerroin on pysynyt hyvin tasaisena vuodesta toiseen (World Nuclear Association, 2025b). Suomen ydinvoimaloiden teho yhteensä on 4394 MW. Ydinvoimalla tuotettiin vuoden 2024 sähköstä 37.6 % (Energiateollisuus, 2025a). Tämä tarkoittaa, että Suomessa tuotettiin ydinvoimalla noin 31.2 TWh, vaikka olisi ollut mahdollista tuottaa 38.5 TWh. Tämän perusteella ydinvoiman käyttöasteeksi Suomessa saadaan 81.0 %, mikä vastaa maailman keskiarvoa. Kuvassa 9 esitetyssä käyttöasteessa eikä lasketussa 81 % käyttöasteessa ei ole otettu huomioon ydinvoimalaitosten vuosihuollon vaikutusta käyttöasteeseen.



Kuva 9: Ydinvoiman käyttöaste maailmalla. (World Nuclear Association, 2025b)

Ydinvoiman tuotannossa pitää ottaa kuitenkin huomioon vuosihuollot, joiden aikana laitoksissa ei tuoteta lainkaan sähköä. Tästä syystä Fortum (2025) on ilmoittanut Loviisan ydinvoimalaitoksien käyttöasteeksi 88.3 %, mikä jäi kuitenkin oletettua alhaisemmaksi venyneiden vuosihuoltojen ja yhden 4 vuorokauden tuotannon katkeamisen takia. Kuvassa 10 on esitetty olkiluoto 1 ja 2 reaktoreiden tehot vuonna 2022. Kuvasta 10 huomataan, kuinka sähkön tuotanto ydinvoimalla on koko vuoden hyvin tasaista eikä tehonsäätöä suurella mittakaavalla ole tapahtunut. Ydinvoiman tuottaman sähkötehon säätäminen on mahdollista, mutta tehon säätäminen ei tapahdu riittävän nopeasti äkillisen tehotarpeen muutoksen kattamiseksi. Suuret muutokset tuotannon määrässä aiheutuvat yleisesti vuosihuolloista. Vuosihuolto ei yleensä tuo arvaamattomuutta energian tuotantoon, sillä se toteutetaan suunniteltuna ajankohtana.



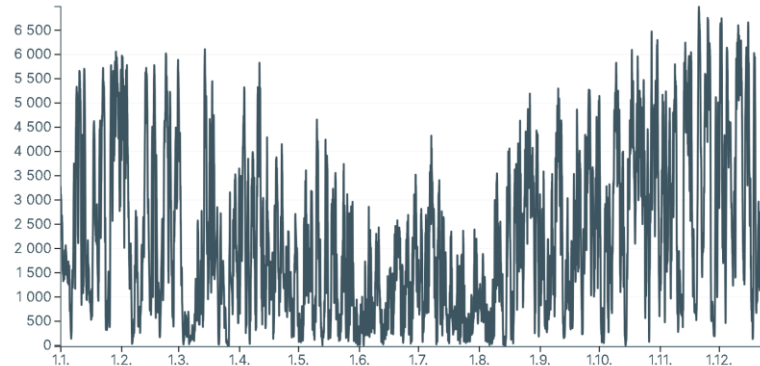
Kuva 10: Olkiluoto 1 ja 2 keskimääräinen sähköteho vuonna 2022. (TVO, 2025a)

Ydinvoimalaitokset tuottavat suuren määrän sähköä jo yhdellä reaktorilla. Teholtaan Suomen suurin ydinvoimalaitosyksikkö on Olkiluoto 3. Olkiluoto 3 nettosähköteho on 1600 MW (TVO, 2025b). Olkiluoto 3 vuosihuolto on vuonna 2025 suunniteltu 63 päivän aikavälille 1.3.2025-2.5.2025 (TVO, 2025c). Vuonna 2024 huhtikuun sähkönkulutus vaihteli välillä 6952–10748 MWh (Fingrid, 2025b). Olkiluoto 3 kattaisi tästä kulutuksesta 15–23 %. Olkiluoto 3 tuotannon voidaan katsoa olevan niin merkittävä osa Suomen tuotantoa, että vuosihuollon aikana tuotantoteho on löydettävä muusta laitoksesta. Tämä voi vaikuttaa negatiivisesti sähkön tukkuhintaan. Vaikka ydinvoiman tuotanto on ollut historiallisesti varmaa, ei se kuitenkaan aina toimi suunnitellusti. Olkiluoto 3 kokoisen laitoksen äkillinen sähköntuotannon loppuminen odottamattomasta syystä vaikuttaa Suomen sähköverkon toimintaan huomattavasti.

4.2 Tuulivoima

Vuosien 2010 ja 2023 välillä tuulivoiman käyttökerroin on vaihdellut maatuulivoimalla 21.9 % ja 29.3 % välillä. Merituulivoiman käyttökerroin on hieman parempi, sillä se on vaihdellut 30.5 % ja 45.8 % välillä. (Statiska, 2025) Energiategiollisuuden (2025b) mukaan Suomessa vuonna 2024 tuotettiin 19.6 TWh sähköä tuulivoimalla ja tuulivoiman kapasiteetti vuoden 2024 lopussa oli 8358 MW. Mikäli tuulivoimalla pystyttäisiin tuottamaan vuoden jokaisena tuntina maksimikapasiteetin verran sähköä, tuotettaisiin vuodessa 73.2 TWh. Tämä tarkoittaa, että karkeasti Suomen tuulivoiman tuotannon käyttökerroin on ollut noin 27 %.

Kuvassa 11 on esitetty tuulivoiman tuotanto Suomessa vuodelta 2024. Tuulivoiman tuotanto on hyvin epätasaista vuoden ympäri. Tuotanto vaihtelee useasti hyvin nopeasti noin 6000 MWh:sta noin 1000 MWh:tiin. Koska Suomen maksimikulutus voi talvella saavuttaa vähän yli 14000 MWh ja kesällä vähän yli 8000 MWh, on 6000 MWh huomattava osa kokonaiskulutuksesta. Tuotanto on keskimäärin vähäisempää kesällä kuin talvella.

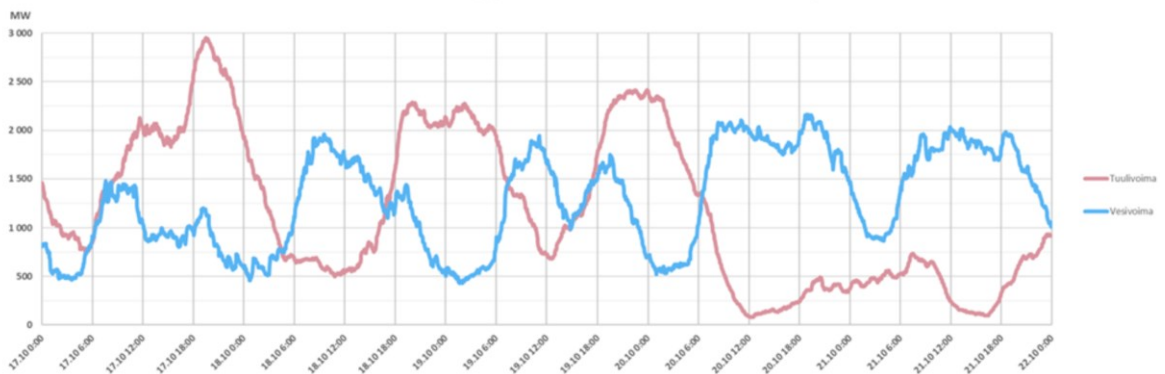


Kuva 11: Tuulivoiman tuotanto vuodelta 2024. (Fingrid, 2025f)

Tuulen tuotannon vaihtelun lisäksi tuulisuuden ennustettavuus on myös ongelma vakaan tuotannon saavuttamiseen. Yangin (2024) mukaan vain lyhyen ajan sään ja tuulen ennustaminen on kohtalaisen tarkkaa. Tarkkuus 6 tunnin päähän on 87–94 % ja 24 tunnin päähän 79–85 %. Jo valmiiksi haastava ennustaminen vaatisi kehittyneempiä ennustustyökaluja tarkempien ennusteiden luomiseen, jotta tuulivoiman tuotannon lyhyen ajan ennustevarmuutta voitaisiin parantaa. Merituulivoimalla olosuhteet ovat erilaiset verrattuna maatuulivoimalla. Lisähaastetta merituulivoiman ennustamiseen lisää erityisen kovat tuulet, jonka takia laitoksia voidaan joutua sammuttamaan. (Yang, 2024)

4.3 Vesivoima

Vesivoimaa on käytetty säätövoimana jo kauan. Jokien virtaamalla toimivien vesivoimaloiden tuottamaan tehoon vaikuttaa vain sen hetkinen joen virtaama. Tämän kaltaiset vesivoimalaitokset eivät sovellu yhtä hyvin säätövoimaksi kuin patoaltaalliset vesivoimalaitokset. Energiategioiden (2025c) mukaan järviin tai altaisiin vettä varastoivat voimalaitokset mahdollistavat energian tuotannon, joka ei ole riippuvainen hetkellisistä sääolosuhteista. Vaikka hetkellinen sääolosuhde ei vaikuta vesivoimalaitoksen tuotantoon on aina huomioitava laitoksen vesitilanne, eli kuinka paljon vettä on kertynyt varastointi altaisiin. Vesivoimalaitoksilla sähkön tarpeeseen pystytään reagoimaan nopeasti. Vesivoiman tuotantoa rajoittaa veden säännöstely, mikä on määrätty vesilaissa. Vesilaissa määritetään asioita kuten veden minimi virtaama, mikä asettaa tuotannon alatasen vesivoimalaitokselle. Kuvassa 12 on esitetty, kuinka vesivoimalla pystytään kompensoimaan arvaamattomampien tuotantomenetelmien, kuten tuulen muutoksia. Vesivoima on erinomainen säätövoima tuuli- ja aurinkovoimalle. (Energiategioiden, 2025c)

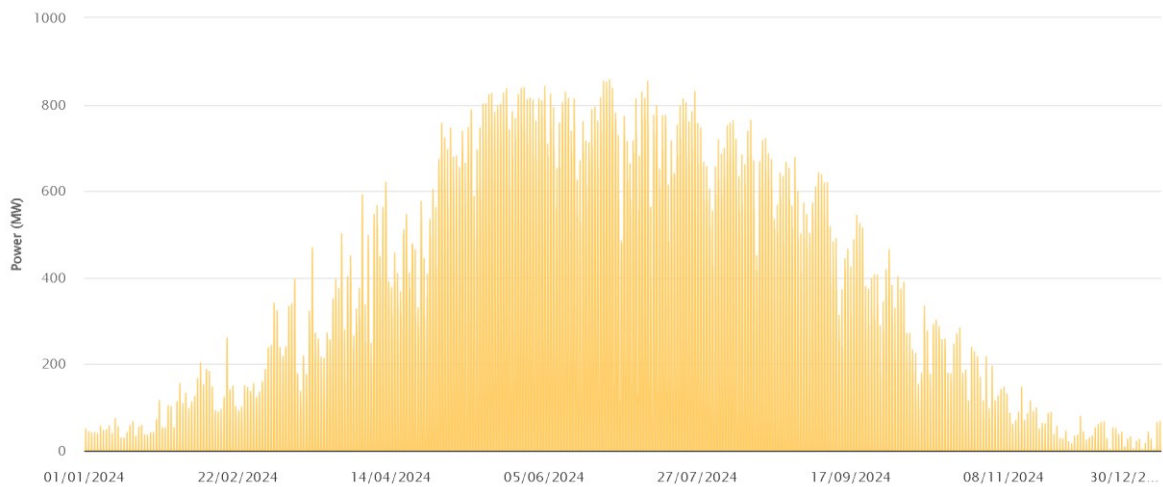


Kuva 12. Tuulivoiman sähköntuotannon kompensointi vesivoimalla 17-22.10.2022. (Energiategioiden, 2025c)

Vesivoimalla tuotettiin 17.1 % Suomen energiankulutuksesta vuonna 2024. On kuitenkin huomioitava, että Energiategioiden (2025c) mukaan uuden vesivoiman rakentamismahdollisuudet ovat rajalliset erityisesti ympäristösuojelusyistä, jotka saattavat rajoittaa myös jo olemassa olevan kapasiteetin käyttöä.

4.4 Aurinkovoima

Aurinkovoiman tuotanto on hyvin riippuvaista vuodenajasta Suomessa. Kuvassa 13 esitetään keskiarvotuotantoa vuoden eri päivinä. Kuvasta 13 nähdään, kuinka sähkön tuotanto on paljon suurempaa kesäkuukausina ja tuotanto vaihtelee päivästä toiseen huomattavan paljon. Aurinkovoiman tuotanto suhteessa kokonaistuotantoon on Suomessa vielä kohtalaisen pientä.



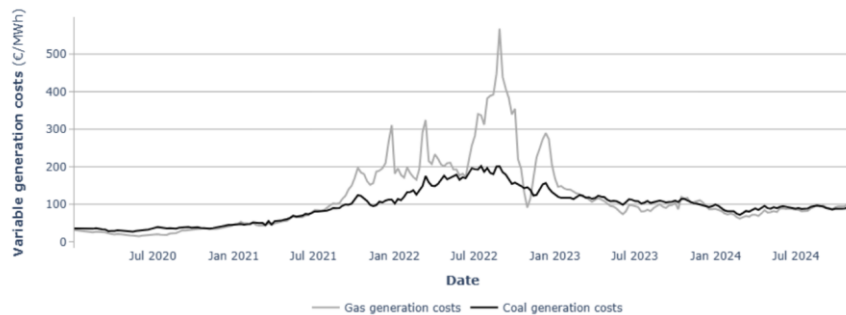
Kuva 13: Aurinkovoiman tuotanto Suomessa vuonna 2024. (Energy-Charts, 2025c)

Aurinkovoiman tuotannossa ongelmana on, sääolosuhteet vaihtelevat arvaamattomasti ja välttämättä suuren tuotannon aika ei osu samalle ajanhetkelle suuren kulutuksen kanssa. Tämän takia aurinkovoima tuo epävarmuutta energiajärjestelmään. Aurinkovoiman tuotannon vaihtelevuudelle ei itsessään voida tehdä mitään sen sääriippuvuuden takia eikä siksi yksin toimi säätövoimana.

4.5 Kaasu hiili ja yhteistuotanto

Hiilivoimalaitokset ovat poistumassa energiantuotantojärjestelmästä Suomessa. Takaraja hiilivoiman poistamiselle on sen kieltävän lain mukaan huhtikuussa 2029 (Valtioneuvosto, 2019). Hiilivoimalaitosten tulevaisuutta osana Suomen energiajärjestelmää ja sen vaikutuksia Suomen spot-sähköhintaan on epärelevanttia käsitellä työssä sen poistumisen takia. Kuvassa 14 on esitetty harmaalla viivalla kaasulla tuotetun sähkön hinta. Kaasua käyttävien voimalaitosten tuotantohinta on tasaantunut kohtalaisen lähelle 100 €/MWh. Kaasua voidaan

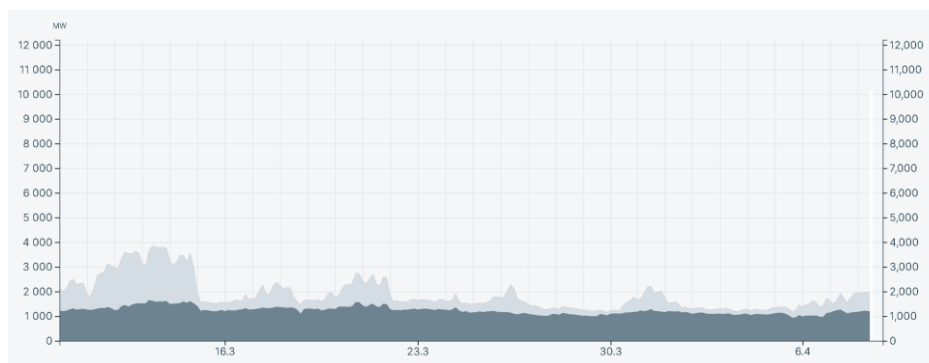
käyttää useamman eri voimalaitostyyppin polttoaineen, kuten moottorivoimalaitosten ja kaasuturbiinivoimalaitosten. Wärtsilän (2025) mukaan esimerkiksi aeroderivate-kaasuturbiinin käynnistysaika täyteen kapasiteettiin on 5–8 minuuttia, minimi käyttöaika 10–30 minuuttia ja pienin mahdollinen seisokkiaika 30–60 minuuttia. Kaasuturbiinien käyttö on Suomen sähköhinnoilla kohtalaisen kallista, mikä rajoittaa tunteja, milloin kaasulla kannattaisi tuottaa sähköä. Tämän lisäksi rajoitukset käyttöajan ja seisokkiaikojen kanssa vaikeuttavat sähkön tuotantoa hyvin lyhyelle ajalle.



Source: S&P Platts. ENER.

Kuva 14: Hiilellä ja kaasulla tuotetun vaihtelevan tuotannon arvioitu tuotantokustannus. (European Commission, 2024)

Teollisuuden yhteistuotanto tuottaa hyvin tasaisen määrää sähköä (Fingrid, 2025e), mikä näkyy kuvasta 15. Teollisuudessa sähköä tuotetaan monesti prosessin sivuvirroista. Tämän takia teollisuuden yhteistuotantoa ei käytetä säätövoimana paikkaamaan tarpeita sähkön kysynnässä. Kaukolämmön tuottama sähkö näkyy kuvassa 15 vaaleanharmaalla. Kuvasta nähdään, että sähkön ja lämmön yhteistuotantoa säädetään huomattavasti enemmän kuin teollisuuden yhteistuotantoa. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa on suuriakin päivätason muutoksia.

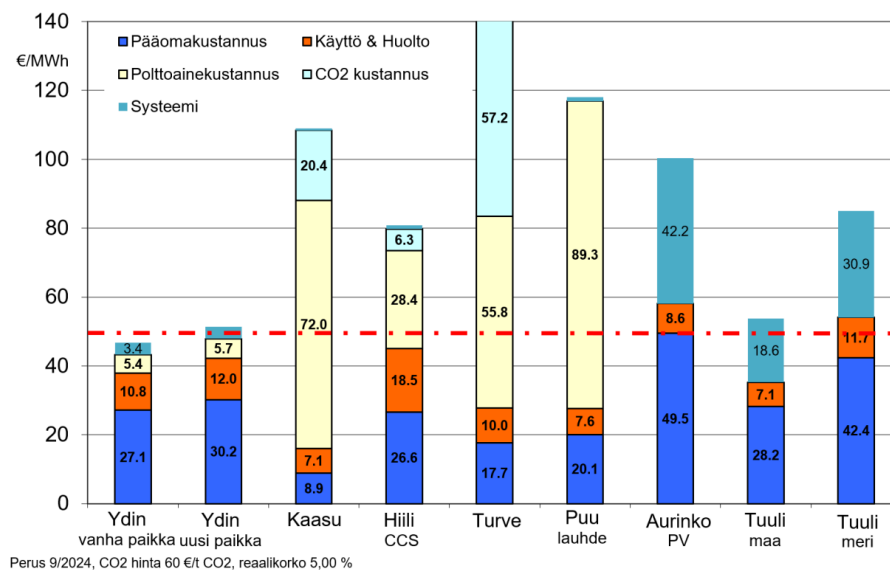


Kuva 15: Yhteistuotanto teollisuus (tummanharmaa) ja yhteistuotanto kaukolämpö (vaaleanharmaa) tuotanto 10.3.2025-8.4.2025. (Fingrid, 2025e)

Energiäteollisuuden (2025d) mukaan sähkötuotanto kaukolämpölaitoksissa on sidottu lämmön tarpeeseen. Sähköä voidaan lähtökohtaisesti tuottaa enemmän vain silloin, kun lämmöntarve on suuri. (Energiäteollisuus, 2025d) Sähkön ja lämmön yhteistuotannolla pystytään siis tuottamaan lämpötilariippuvainen sähkön kysynnän muuttuminen. Tämä tarkoittaa myös, että lämpiminä aikoina, jolloin lämmityksen tarve on vähäinen, on sähkön tuotannon kapasiteetti myös rajoittunut. Säättövoimana yhteistuotannolla on vaikea kattaa nopeita muutoksia sähkön kysynnässä. Yhteistuotannon säättökykyä voitaisiin parantaa investoimalla lämpöakkuihin ja savukaasun lämmöntalteenottoon (Energiäteollisuus, 2025d).

4.6 Tuotantomuotojen kustannukset

Tuotantotapojen tyypillisten ominaisuuksien lisäksi on huomioitava kunkin tuotantotavan kustannukset energiajärjestelmää rakentaessa. Kuvassa 16 on esitelty LCOE (Levelized cost of energy) eri tuotantomuodoilla. Kuvasta 16 huomataan, että fossiiliset ja biomassat tuotantomenetelmät ovat kalliita. Fossiilisilla ja biomassalla tuotetun sähkön suuret kustannukset johtuvat polttoainekustannuksista ja CO₂-päästökustannuksista. Ydinvoimalla ja uusiutuvilla energialähteillä suurimman osan kustannuksista muodostaa yleisesti pääomakustannukset. Käyttö ja huolto kulut ovat kaikilla tuotantomenetelmillä kohtalaisen samankokoiset. Suuri etu ydinvoimalla ja uusiutuvilla on juuri siinä, mikä tekee fossiilisesta ja biomassasta kallista.



Kuva 16: Sähköntuotannon kustannukset eri tuotantomenetelmillä. (Vakkilainen, 2025)

Marginaalihinta kuvassa 16 muodostuu käyttö ja huoltokustannuksista, polttoainekustannuksista ja CO₂ kustannuksista. Koska voimalaitoksilla lähtökohtaisesti kannattaa tuottaa sähkö, kun sähkön hinta ylittää marginaalikustannukset. Huomataan että uusiutuvilla energialähteillä ja ydinvoimalla kannattaa tuottaa sähköä ennemmin kuin fossiilisilla tai biomassalla toimivilla voimalaitoksilla. Systeemi kustannukset ovat paljon suuremmat uusiutuvilla energiatuotantotavoilla kuin millään muilla tuotantotavoilla tuotetulla sähköllä, mikä nostaa sähkön kokonaiskustannuksia. Systeemin hinta ei kokonaisuudessaan näy sähkön pörssihiinnassa, vaan jakaantuu muihin kuluihin, kuten sähkön siirtohintaan. Kuvassa 16 esitetyt systeemi kustannukset perustuvat NEA (2023) systeemihiinnan määrittämiin. Systeemihiinta pitää sisällään kustannuksia, mitkä aiheutuvat sähköverkon ylläpitämisestä, kehityksestä ja turvaamalla sähkön saannin kaikkina aikoina. Sähkön saannin turvaaminen koostuu varavoiman rakentamisen tarpeesta, millä pitää kompensoida vaihtelevaa tuotantoa.

4.7 Energiavarastot

Sähköverkossa on jatkuvasti tehtävä töitä tasapainon ylläpitämiseen. Tuotetun energian määrä tarvitsee olla sama kuin käytetyn energian määrä. Verkon valvontakeskukset pystyvät pääsääntöisesti pitämään verkon tasapainossa. Äkilliset tehon tarpeet voivat kuitenkin saada verkon epätasapainoon, jolloin verkon jännite ja taajuus eivät ole hyväksyttävällä tasolla. Pahimmillaan verkko voi kaatua kokonaan. Verkon äkkinäisiä tuotanto- tai kulutuspiikkejä pystytään tasaamaan energian talteenottojärjestelmillä. Energiavarastot sopivat järjestelmän tasapainon ylläpitämiseen niiden laajojen ominaisuuksien takia. Nykyisessä energiajärjestelmässä, jossa tuotannoltaan vaihtelevat tekniikat ovat yleistyneet, on energian varastointijärjestelmät yhä tärkeämmässä roolissa. (Hoff, 2022) Energia varastoinnilla pystytään myös vähentämään energian hintaa, parantaa järjestelmän laitteiden hyötysuhteita, mahdollistaa uusiutuvien energiantuotantotapojen saatavuutta, pienentää tarvittavan tuotannon kapasiteettia, vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä vähentää päästöjä. (Erdemir et al., 2022)

Mekaaniset energiavarastot harvoin soveltuvat suurien energiamäärien varastointiin. Energiaa purkaessa mekaaniset järjestelmät toimivat pääosin hyvin nopeasti. Lämpöenergiavarastoja käytetään pääasiassa kiinteistöjen lämmitykseen, sillä ne ei sovellu varastona sähköntuotantoon. (Erdemir et al., 2022) Magneettisilla energiavarastoilla pystytään

varastoimaan sähköä ilman, että sitä muutetaan mekaaniseksi tai kemialliseksi energiaksi. Tämän ansiosta energian varastointi ja poispurkaminen tapahtuu hyvin nopeasti. (Küfeoğlu, 2022) Sähkökemiallisiin varastoihin kuuluu monta eri teknologialla toimivaa akkua. Yleisesti se on energiatehokas tapa varastoida energiaa kohtalaisen pitkäksi ajaksi. Suuren energiamäärän varastoiminen akuilla olisi nykyteknologialla luotettavaa, tämä on kuitenkin vielä suuressa mittakaavassa kallista. Ylituotannon aikana sähköä voitaisiin käyttää tuottamaan esimerkiksi vetyä, synteettistä maakaasua ja ammoniakkaa. Näitä polttoaineita voitaisiin käyttää niinä aikoina, kun uusiutuvilla ei pystytä tuottamaan tarpeeksi sähköä. (Erdemir et al., 2022)

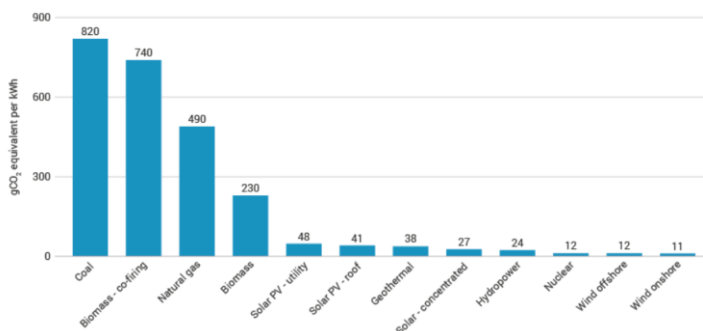
Sähkön varastointi suuressa mittakaavassa on vielä toistaiseksi kohtalaisen kallista. Sähkön varastoinnin hintaan vaikuttaa useat tekijät kuten varastoitavan sähkön hinta, sijainti sekä varastointitekniikka. (Lazard, 2024) Lazardin (2024) mukaan sähkön varastointikapasiteetin kustannukset erilaisilla akkuteknologioilla olisi 61 €/kW–327 €/kW vuodessa teollisuusko-
koluokan varastointilaitoksissa. Tämän perusteella saadaan varastoidulle energialle hinta 149 €/MWh–308 €/MWh (Lazard, 2024). Mikäli sähköä haluttaisiin varastoida Power-to-X-
teknologialla, jossa ylimääräsähköstä tuotettaisiin konventionaalisissa laitoksissa hyödyn-
nettäviä polttoaineita, olisi Müller et al. (2025) mukaan kustannukset 810 €/kW–330 €/kW. Ylimääräsähkön varastointi tuo joka tapauksessa kustannuksia, ja teknologioiden välillä on vielä suuria eroja.

5 Miten lähestyä hintapiikkien hallintaa

Euroopan unionin tavoitellessa hiilineutraaliutta vuoteen 2050 mennessä Suomessa on tavoitteena olla hiilineutraali jo vuoteen 2035 mennessä. On siis selvää, että Suomessa tullaan investoimaan lähivuosina keinoihin, joilla tämän voisi saavuttaa. Tämä on jo näkynyt viime vuosina, kun uusiutuvien energianlähteiden sähköntuotannon kapasiteetti on kasvanut. Sähkön hinnan vaihtelu on osittain aiheutunut arvaamattoman sähköntuotannon kapasiteetin kasvun myötä ja fossiilisten sekä biomassan hinnan nousun takia. Huippuhinnat muodostuvat silloin, kun kulutushuipun kattamiseen ei löydy edullista tapaa. Tämä tarkoittaa, että yksinkertaistettuna sähkön huippuhintoja voidaan tasata kahdella tavalla.

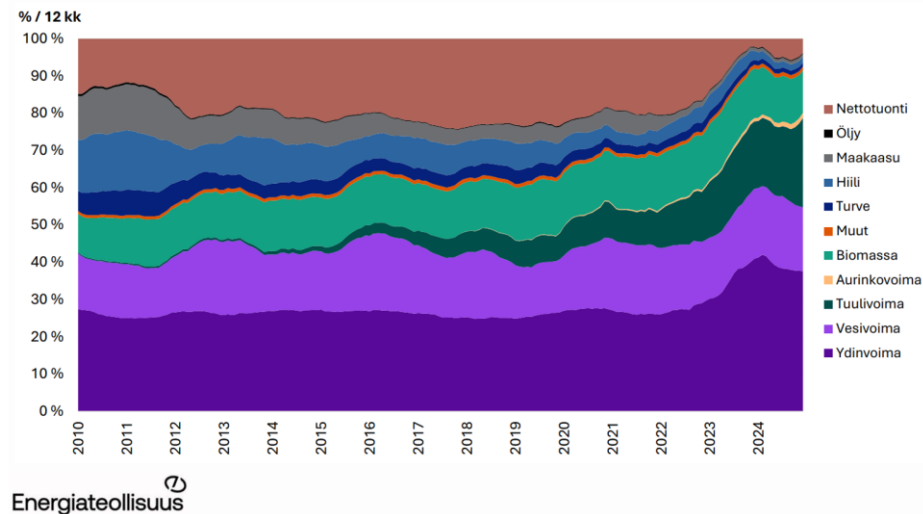
Hintahuippuja voitaisiin tasata rajoittamalla ihmisten ja yritysten lupaa käyttää sähköä esimerkiksi rajoittamalla sähkön saantia tietylle alueelle. Tämä vähentäisi kulutusta, mikä helpottaisi kysynnän kattamista. Sähkö on kuitenkin nyky-yhteiskunnassa välttämättömyshyödyke, joka tekee siitä ihmisten ja yritysten peruspalvelun. Peruspalveluiden rajoittaminen ei kannata, joten sähkön hintahuippuja tulisi vähentää sähköntuotannon infrastruktuurin kehittämisellä.

Sähköpörssin hinnanvaihtelua voitaisiin vähentää lisäämällä sähkön tuotantoa konventionaalisilla menetelmillä, sillä tasainen tuotanto ja ennustettavuus on vuosien varrella todistettu. Kuten kuvasta 16 huomataan, on fossiilisilla ja biomassalla tuotettu sähkö kuitenkin kallista. Tämän lisäksi fossiilisilla ja biomassalla toimivat voimalaitokset tuottavat merkittävän määrän hiilidioksidipäästöjä käyttöaikana verrattuna muihin tuotantotapoihin. Hiilidioksidipäästöt kWh kohden esitetty kuvassa 17.



Kuva 17: Keskiporto CO₂-ekvivalentti päästöt per kWh elinkaaren aikana. (World Nuclear Association, 2025a)

Päästöjen takia merkittävä osa hinnasta muodostuu hiilidioksidin päästöoikeuskustannuksista. Poliittisilla päätöksillä olisi tämänkaltaisia kustannuksia mahdollista pienentää. CO₂-päästöt ovat kuitenkin haitallisia ilmastolle ja luonnolle, joten paluuta pelkäämään fossiilisten polttoaineiden käyttöön tulisi välttää eikä tukea poliittisilla päätöksillä. Hintahuippujen hallitseminen tulisi siis toteuttaa uusiutuvia ja hiilineutraaleja teknologioita käyttäen. Eri tuotantotapojen osuus kokonaistuotannosta on esitetty kuvassa 18, mistä nähdään, että uusiutuvat energian tuotantomuodot ja ydinvoima korvanneet sähköntuonnin melkein kokonaan. Suuri nousu tuotannossa tarkoittaa, että viime vuosina on investoitu uusiutuvaan energiantuotantoon.



Kuva 18: Sähköntuotannon % osuudet kokonaistuotannosta. (Energiateollisuus, 2025a)

Ydinvoimalat sopivat piirteiltään hyvin peruskuorman tuotantoon. Ydinvoiman varmuus sekä hiilineutraalius tukee erinomaisesti tulevaisuuden energiajärjestelmän tarpeita. Yksittäisten ydinvoimaloiden reaktoreiden kokonaiskapasiteetti tulisi kuitenkin suhteuttaa markkinoiden kokoon, sillä yhden voimalaitoksen tippuminen verkosta ei saisi aiheuttaa suuria vaikeuksia sähkön tarpeen kattamiselle. Toinen osa sähköntuotantoa tulisi olla uusiutuvat energianlähteet. Tämä on huomattu kasvaneissa investoinneissa.

Uusiutuvat energialähteet tarvitsevat tuotannon epätasaisuuden tasaamiseksi energiavarastoja, minkä avulla tuotannon arvaamattomuutta voitaisiin vähentää. Energiavarastoilla voitaisiin tätä kautta pienentää epätasaisesta tuotannosta johtuvia sähkön hintapiikkejä, mutta toisi lisäkustannuksia normaaliin sähköntuotantoon. Kun joudutaan rakentamaan useampia pienempiä sähköntuotanto- ja varastointilaitoksia, tulee järjestelmän kannalta välttämättömiä tuotantoyksiköitä enemmän ja useampaan paikkaan. Tämä tekee järjestelmästä

monitasoisen eli ei voida tukeutua yhteen suureen laitokseen vaan useaan eri tehtävää varten rakennettuun laitokseen. IEA:n (2024a) mukaan esitetyn politiikan tai hiilineutraalitavoitteen saavuttamiseksi energiavarastojen on 4–6 kertaistuttava. On siis selvää, että myös Suomen sähköntuotannossa energiavarastot tulevat olemaan tärkeässä roolissa. Energiavarastojen rakentamista tulisi priorisoida tuotannon kehityksen ohella. Markkinaehtoisesti ei välttämättä ole takuuta energiavarastojen rakentamisesta uusiutuvien energiamuotojen rinnalle, mikäli se laskisi sähkön myynnin tuottoja. Näin ollen energiavarastojen rakentaminen tulisi mahdollisesti hieman viiveellä aiheuttaen hetkellisen ongelman sähkömarkkinoiden ennustettavuuteen.

Energiavarastojen rakentamisen suhdetta uusiutuviin voitaisiin esimerkiksi tasoittaa luomalla kannustimia rakentaa energiavarastoja jokin määrä aina uutta uusiutuvan tuotannon kW kohden. Vaihtoehtoisesti valtio voisi myös edellyttää lainsäädännöllä kaikilta energiantuottajilta riittävän tasaista tuotantoa ennustettavuuden parantamiseksi. Tämä tarkoittaisi, että jokaisen uuden uusiutuvan energian tuotantolaitoksen rinnalle pitäisi rakentaa riittävä määrä energiavarastoja tasaisuuden turvaamiseksi. Kasvanut energiavarastokapasiteetti toisi lisää mahdollisuuksia myös nopeiden kysyntäpiikkien kattamiseen. Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön hinta kasvaisi suuremman rakennuskustannuksen myötä, mikä mahdollisesti vähentäisi uusiutuvan energian hankkeita alussa. Tämän avulla sähkön pörssihinnan suurta hinnanvaihtelua voitaisiin tasata sekä sähköverkon toimivuus ja tasaisuus voitaisiin turvata.

6 Johtopäätökset

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin sähkön pörssihinnan piikkien tasoittamisen haasteita. Työssä onnistuttiin tuomaan esille keskeisimmät tekijät sähkön pörssihinnan piikkien muodostumiseen sekä käsittelemään yleisimpien sähköntuotantoteknologioiden vahvuuksia ja heikkouksia tasaisuuden parantamiseen. Sähköpörssin toiminta ja sen ymmärrys on keskeisessä osassa sähköjärjestelmän kehityksen suuntaa.

Suomen sähkön kulutus pystytään kattamaan lähes kokonaan kotimaassa tuotetulla sähköllä. Tämän takia Suomen on tärkeä investoida omaan tuotantoonsa, ettei kehityksessä pysähdytä paikalleen. Suomen sähkön kulutus on hyvin kausiluontoista. Talvisin Suomessa käytetään paljon enemmän sähköä kuin kesäisin. Tämä luo haasteita järjestelmän pitkän ajan joustavuudelle, sillä riittävä kapasiteetti on löydyttävä kattamaan talven kulutus mutta se ei saisi ajautua pelkäksi kustannukseksi kesäisin. Toinen järjestelmän toimintaa vaikeuttava tekijä on päivän sisäisen kulutuksen vaihtelu. Kysynnän vaihtelu voi ajoittain olla hyvinkin nopeaa, mikä tarkoittaa, että huippuvoimaa on järjestelmästä löydyttävä.

Suomessa negatiivisia sähkön pörssihinnan tunteja oli vuonna 2024 huomattava määrä. Tämän lisäksi myös hyvin korkean hinnan tunteja useita. Uusiutuvilla energianlähteillä tuotettu sähkö on hyvin kausiluontoista ja arvaamatonta. Suuret hintapiikit johtuvat juuri tuotannon epätasaisuudesta ja ennustettavuuden vaikeudesta. Epätasaista tuotantoa voitaisiin tukea erilaisilla energiavarstoilla. Konventionaalisten energiantuotantotapojen käyttö on vähentyneessä korkean hinnan sekä suurten päästöjen takia, vaikka järjestelmän toimintavarmuuden kannalta niiden ominaisuudet ovat hyvät. Ydinvoiman tasaisuus mahdollistaa luotettavan pohjan sähköntuotannolle myös hiilineutraalissa järjestelmässä.

Hiilineutraaliustavoitteiden myötä energijärjestelmässä ollaan siirtymässä kohti vähähiilisiä ratkaisuja. Tämä tarkoittaa, että sähköntuotannosta täytyy tulla entistä monitasoisempi kattaakseen uusiutuvien energijärjestelmien heikkoudet. Yhtä oikeaa tapaa järjestelmän muodostamiselle on kuitenkin mahdoton sanoa, sillä sähköntuotannossa on mukana hyvin monia ja erilaisia toimijoita. Hintapiikkien tasaaminen pitää juuri siksi tehdä yhteistyönä yhdenmukaisen linjan johdolla.

Lähteet

- Ali, L., Peters, J., Azim, M., I., Pashajavid, E., Bhandari, V., Menon, A., Tiwari, V., Ghosh, A. & Green, J. (2022). How P2P Trading Helps an Electricity Retailer Exposed to Volatile Spot Prices: A Case Study. IEEE. ISBN: 978-1-6654-8523-4
- Atanasoae, P., Pentiu, R., D., & Hopulele, E. (2020). Considerations Regarding the Negative Prices on the Electricity Market. Proceedings MDPI, 63, 26.
- Erdemir, D., Altuntop, E., S., Turgut, B. & Altuntop, N. (2022). Energy Storage Techniques for Renewables. Springer. Lecture Notes in Energy. Vol. 87, ISBN 978-3-031-05125-8
- European Commission (2024). Quarterly report On European electricity markets. Market Observatory for Energy DG Energy. Vol. 17, issue 3.
- Energy Charts (2025a). Electricity production and spot prices in Finland in 2015. [Verkkosivu], [Viitattu 8.4.2025], saatavilla: https://www.energy-charts.info/charts/price_spot_market/chart.htm?l=en&c=FI&interval=year&year=2015&legendItems=7y5
- Energy Charts (2025b). Electricity production and spot prices in Finland in 2024. [Verkkosivu], [Viitattu 8.4.2025], saatavilla: https://www.energy-charts.info/charts/price_spot_market/chart.htm?l=en&c=FI&interval=year&year=2024&legendItems=7y5
- Energy-charts (2025c). Public net electricity generation in Finland in 2024. [Verkkosivu], [Viitattu 26.3.2025], saatavilla: <https://www.energy-charts.info/charts/power/chart.htm?l=en&c=FI&year=2024&legendItems=1yc&interval=year>
- Energiateollisuus (2025a). Energiavuosi 2024 Sähkö. [Verkköjulkaisu], [viitattu 14.4.2025], saatavilla: https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Sahkovuosi-2024_20250115.pdf
- Energiateollisuus (2025b). Tuulivoima. [Verkkosivu], [viitattu 14.4.2025], saatavilla: <https://energia.fi/energiatieto/energiantuotanto/sahkontuotanto/tuulivoima/>
- Energiateollisuus (2025c). Vesivoima. [Verkkosivu], [viitattu 14.4.2025], saatavilla: <https://energia.fi/energiatieto/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima/>
- Energiateollisuus (2025d). Yhteistuotanto. [Verkkosivu], [Viitattu 8.4.2025], saatavilla: <https://energia.fi/energiatieto/energiantuotanto/yhteistuotanto/>

Fingrid (2025a). Aurora Line. [Verkkosivu], [Viitattu 22.5.2025], saatavilla: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/rakentaminen/hankkeet/aurora-line/>

Fingrid (2025b). Fingrid avoin data. [Verkkosivu], [Viitattu 26.3.2025], saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/fingrid-avoin-data/>

Fingrid (2025c). Fingridin sähkösiirtoverkko. [Verkkosivu], [Viitattu 26.3.2025], saatavilla: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>

Fingrid (2025d). Suomen sähköjärjestelmä. [Verkkosivu], [Viitattu 26.3.2025], saatavilla: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/>

Fingrid (2025e). Sähköjärjestelmän tila. [Verkkosivu], [Viitattu 26.3.2025], saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/>

Fingrid (2025f). Tuulivoiman tuotanto: [Verkkosivu], [Viitattu 13.3.2025]. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/tuulivoiman-tuotanto/>

Fortum (2025). Fortumin Loviisan ydinvoimalaitoksella tuotettiin 7,9 terawattituntia sähköä vuonna 2024. [Verkkosivu], [Viitattu 15.3.2025], saatavilla: <https://www.fortum.fi/media/2025/01/fortumin-loviisan-ydinvoimalaitoksella-tuotettiin-79-terawattituntia-sahkoa-vuonna-2024>

Hoff, C., M., (2022). Energy Storage Technologies and Applications. Artech House. ISBN: 978-1-63081-908-8

IEA (2024a). Batteries and Secure Energy Transitions. [Verkkoaineisto], [Viitattu 14.4.2025], Saatavilla: <https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions>

IEA (2024b). Renewables 2024. [Verkkoaineisto], [Viitattu 24.3.2025], Saatavilla: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/17033b62-07a5-4144-8dd0-651cdb6caa24/Renewables2024.pdf>

IEA (2025a). Estonia. [Verkkosivu], [Viitattu 13.3.2025], Saatavilla: <https://www.iea.org/countries/estonia/electricity>

IEA (2025b). Global Energy Review 2025. [Verkkoaineisto], [Viitattu 24.3.2025], Saatavilla: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/909b7120-1cbd-439a-a9dae971a4419977/GlobalEnergyReview2025.pdf>

Küfeoğlu, S. (2022). Emerging Technologies: Value creation for Sustainable Development. Springer. ISBN: 978-3-031-07126-3

Lazard (2024). LCOE: Levelized cost of energy+. [Verkköjulkaisu], [Viitattu 20.4.2025], saatavilla: https://www.lazard.com/media/xemfey0k/lazards-lcoeplus-june-2024-_vf.pdf

Martinez-Anido, C., B., Brinkman, G. & Hodge, B. (2016). The impact of wind power on electricity prices. Renewable Energy. Vol. 94. s. 474-487.

Müller, G., Kullmann, F., Linssen, J. & Stolten, D. (2025). The costs of future energy technologies: A comprehensive review of power-to-X processes. Journal of CO₂ Utilization. Vol. 92, 103019.

NEA (2023). System Costs of Electricity. OECD, [Verkköjulkaisu], [Viitattu 12.4.2025], saatavilla: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_61519/system-costs-of-electricity?details=true

NordPool (2025a). Bidding areas. [Verkkosivu], [Viitattu 18.3.2025], saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/en/the-power-market/Bidding-areas/>

NordPool (2025b). Day-ahead Market. [Verkkosivu], [Viitattu 18.3.2025], saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/en/the-power-market/Day-ahead-market/>

NordPool (2025c). Intraday market. [Verkkosivu], [Viitattu 18.3.2025], saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/en/the-power-market/Intraday-market/>

NordPool (2025d). Price calculation. [Verkkosivu], [Viitattu 18.3.2025], saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/en/trading/Day-ahead-trading/Price-calculation/>

NordPool (2025e). Price formation. [Verkkosivu], [Viitattu 18.3.2025], saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/en/the-power-market/Day-ahead-market/Price-formation/>

NordPool (2025f). Trading. [Verkkosivu], [Viitattu 18.3.2025], saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/en/trading/>

Statista (2025). Load factor of electricity from onshore and offshore wind in the United Kingdom (UK) from 2010 to 2023. [Verkköjulkaisu], [Viitattu 12.3.2025]. Saatavilla: <https://www.statista.com/statistics/555654/wind-electricity-load-factor-uk/>

TVO (2025a). OL1 ja OL2. [Verkkosivu], [Viitattu 25.3.2025], saatavilla: <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2.html>

TVO (2025b). OL3. [Verkkosivu], [Viitattu 25.3.2025], saatavilla: <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol3.html>

TVO (2025c). Vuosihuollot ja modernisoinnit. [Verkkosivu], [Viitattu 15.3.2025], saatavilla: <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/vuosihuollot.html>

Valtioneuvosto (2019). Kivihiilen energiakäytön vuonna 2029 kieltävä laki voimaan huhtikuun alussa. [Verkkójulkaisu], [Viitattu 26.3.2025], saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/kivihiilen-energiakayton-vuonna-2029-kieltava-laki-voimaan-huhtikuun-alussa>

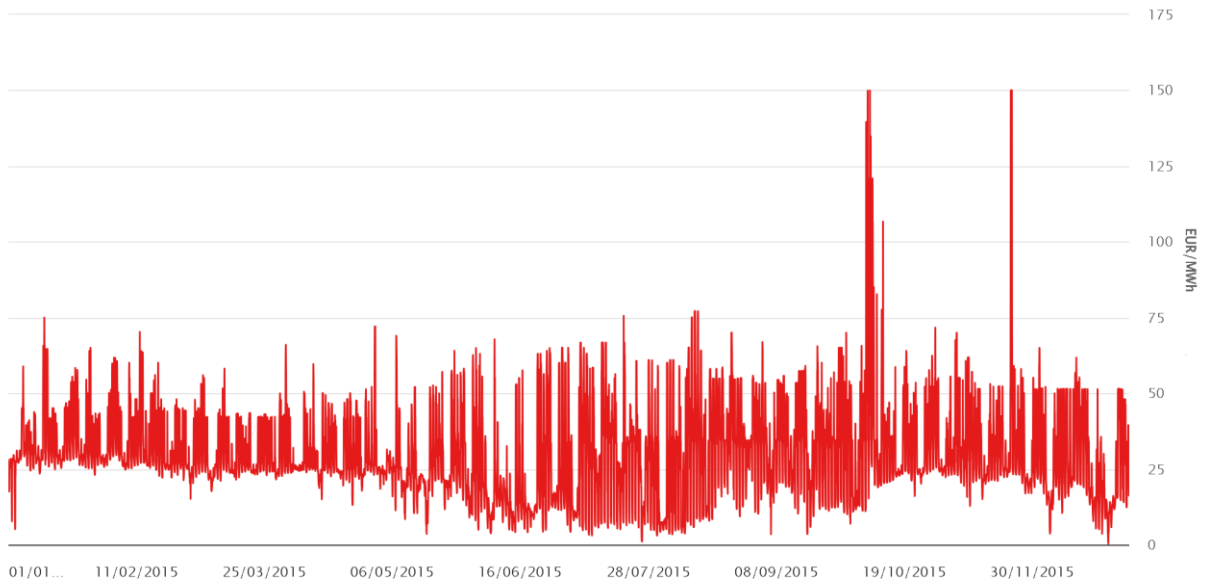
Vakkilainen (2025). Suomen sähköntuotanto -miten kapasiteetti kehittyy? Luento Helsinki 23.1.2025

World Nuclear Association (2025a). Carbon Dioxide Emissions From Electricity. [Verkkójulkaisu], [Viitattu 13.4.2025], saatavilla: <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity>

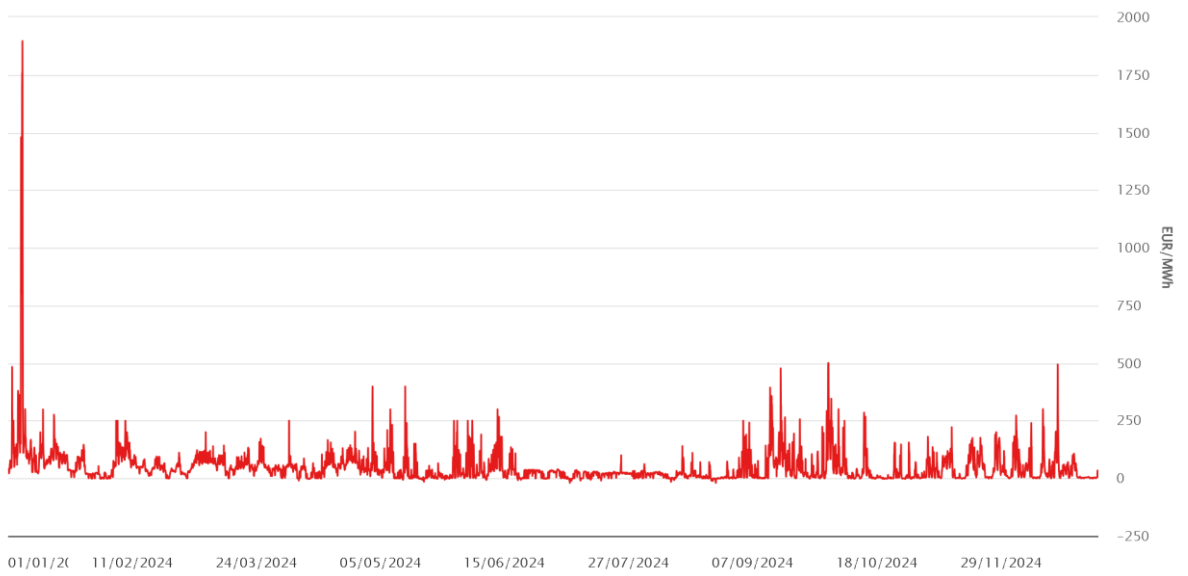
World Nuclear Association (2025b). Global Nuclear Industry Performance. [Verkkosivu], [Viitattu 15.3.2025], saatavilla: <https://world-nuclear.org/our-association/publications/world-nuclear-performance-report/global-nuclear-industry-performance>

Yang, P. (2024). Renewable energy: Challenges and solutions. Cham: Springer International Publishing. ISBN: 978-3-031-49125-2

Liite 1: Sähkön pörssihinnan muutokset vuosina 2015 ja 2024.



Kuva 1: Sähkön pörssihinnan vaihtelu vuonna 2015. (Energy Charts, 2025a)



Kuva 2: Sähkön pörssihinnan vaihtelu vuonna 2024. (Energy Charts, 2025b)