



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Aleksi Sulkanen

Sähkön kysynnän hintajousto Suomessa energiakriisin aikana

Laskentatoimen ja rahoituksen
akateeminen yksikkö
Taloustiede, Pro gradu-
tutkielma
Taloustiede

Vaasa 2024

VAASAN YLIOPISTO**Laskentatoimen ja rahoituksen akateeminen yksikkö**

Tekijä:	Aleksi Sulkanen		
Tutkielman nimi:	Sähkön kysynnän hintajousto Suomessa energiakriisin aikana		
Tutkinto:	Kauppätieteiden maisteri		
Oppiaine:	Taloustiede		
Työn ohjaaja:	Jaana Rahko-Ohjaaja		
Valmistumisvuosi:	2024	Sivumäärä:	62

TIIVISTELMÄ:

Vuonna 2022 alkanut energiakriisi aiheutti merkittävän sähkön hintojen nousun Suomessa. Samaan aikaan tapahtuva siirtymä uusiutuvaan energiaan aiheuttaa suuria hintapiikkejä sähkön hinnoissa. Näillä tapahtumilla on merkittävä taloudellinen vaikutus Suomen kuluttajiin ja yrityksiin. Negatiivisten vaikutusten lieventäminen vaatii toimia, ja yksi näistä toimista on sähkön kysynnän hintajouston lisääminen. Hintajousto tarkoittaa sitä, paljonko kysyntä muuttuu suhteessa hinnan muutokseen.

Tutkielman tarkoituksena on selvittää lyhyen aikavälin sähkön kysynnän hintajousto Suomessa vuosilta 2022 ja 2023. Tämän estimoimiseen käytetään regressioanalyysiä tunneittaisesta datasta. Tämän lisäksi tutkielmassa tutkitaan sähkömarkkinoiden kilpailullisuutta. Tämä vaikuttaa tiiviisti hintajoustoan, koska käytössä olevat sopimusmallit vaikuttavat suoraan yritysten ja kuluttajien halukkuuteen osallistua joustoan.

Sähkön kysynnän hintajoustoan vaikuttaa markkinoilla käytössä olevat sopimusmallit, käytössä olevat älyteknologiat, sekä yritysten ja ihmisten tietoisuus sähkön hinnoista. Näihin vaikuttamalla voidaan lisätä sähkön kysynnän hintajoustoan, mikä vähentää hintavaihteluja ja lisää hintojen ennustettavuutta. Suomessa on näiden seikkojen parantamiseen paljon mahdollisuuksia, mutta muutos on ollut hidasta. Vuonna 2022 pörssihinnoitellut sopimukset alkoivat lisääntymään markkinoilla, ja sähkön korkeat hinnat saivat laajaa mediahuomiota. Tästä seurasi se, että sähkön kysynnän hintajousto nelinkertaistui vuodesta 2022 vuoteen 2023. Hintajousto on edelleen hyvin vähäistä, mutta muutos on selkeästi nähtävillä.

AVAINSANAT: hintajousto, sähkömarkkinat, kilpailullisuus, pörssihinnoiteltu, hintavaihtelut, energiakriisi

Sisällys

1	Johdanto	6
1.1	Tutkielman rakenne ja menetelmä	7
1.2	Keskeiset löydökset	8
2	Sähkömarkkinoiden toiminta	9
2.1	Sähkömarkkinoiden historiaa ja kilpailua	9
2.2	Sähkömarkkinoiden erityispiirteet ja Nordpool	10
2.3	Sähkön vähittäismyynti	10
2.4	Hintaan vaikuttavat tekijät	11
2.5	Kysyntäjousto	12
3	Energiakriisi	14
3.1	Energiakriisin vaiheet	14
3.2	Energiakriisin tuomat tarpeet uudistumiselle	15
4	Empiirisiä tutkimuksia sähkömarkkinoista	18
4.1	Kuluttajamarkkinat	18
4.1.1	Reaaliaikainen hinnoittelu	18
4.1.2	Sopimusten kilpailutus	20
4.1.3	Kotitalouksien halukkuus joustoon	21
4.1.4	Energiakriisin aiheuttama muutos	24
4.2	Yritysten sähkösopimusmallit	25
4.2.1	PPA-sopimukset	25
4.2.2	CPPA sopimukset	27
4.2.3	Sähkö palveluna	29
5	Sähkön hintajousto	33
5.1	Hintajouston teoreettinen pohja	33
5.2	Sähkön kysynnän hintajouston estimointi regressiomallin avulla	34
5.3	Empiiristen tutkimusten tuloksia	37
6	Empiirinen tutkimus	42
6.1	Sähkön kulutuksen ja hinnan dataa	42

6.2	Regressiomalli	46
6.3	Hintajousto Suomessa vuosina 2022 ja 2023	47
7	Johtopäätökset	55
	Lähteet	59

Kuviot

Kuvio 1 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2019 (NordpoolGroup, 2023)	42
Kuvio 2 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2020 (NordpoolGroup, 2023)	43
Kuvio 3 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2021 (NordpoolGroup, 2023)	44
Kuvio 4 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2022 (NordpoolGroup, 2023)	45
Kuvio 5 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2023 (NordpoolGroup, 2023)	45
Kuvio 6 Vuotuiset keskihinnat vuosilta 2019-2023 (NordpoolGroup, 2023)	46

Taulukot

Taulukko 1 Keskeisten muuttujien arvot vuosi 2022 (Nordpoolgroup (2023), Fingrid Avoin Data (2024), Ilmatieteen laitos (2024))	48
Taulukko 2 Keskeisten muuttujien arvot vuosi 2023 (Nordpoolgroup (2023), Fingrid Avoin Data (2024), Ilmatieteen laitos (2024))	48
Taulukko 3 Vuoden 2022 hintajouaston estimoinnin tulokset	49
Taulukko 4 Vuoden 2023 hintajouaston estimoinnin tulokset	52

1 Johdanto

Vuonna 2022 alkanut energiakriisi vaikutti sähkön hintoihin merkittävästi Suomessa ja ympäri Eurooppaa. Energiakriisi sai alkunsa Venäjän hyökkäyksestä Ukrainaan helmikuussa 2022. Tämän seurauksena maakaasun hinnat nousivat ennätyskorkeuksille ja tämän myötä myös sähkön hinnat kasvoivat Suomessa. Hintojen nousu kasvatti inflaatiota ajaen monia kotitalouksia köyhyysrajalle (IEA50, 2023). Samaan aikaan energiamarkkinat ovat olleet murroksessa, koska Euroopan ilmastopolitiikka pyrkii vähentämään hiilidioksidipäästöjä. Näitä tavoitteita pyritään saavuttamaan lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä. Uusiutuvasta energiasta aiheutuu kuitenkin sähkömarkkinoille uudenlainen haaste, sillä niiden tuotanto on hyvin riippuvaista säätilasta. Tästä aiheutuu suuria vaihteluja sähkön hinnoissa (NordpoolGroup, 2023).

Heilahtelut sähkön hinnoissa ovat antaneet aiheutta tutkia, vaativatko sähkömarkkinat uudistuksia Suomessa. Hintaheilahteluja ja niiden vaikutuksia olisi mahdollista lieventää rakennemuutoksilla sähkömarkkinajärjestelmään. Sähkön kysynnän hintajousto on merkittävässä roolissa näiden ongelmien selvittämisessä. Sähkön kysynnän hintajousto tarkoittaa sitä, paljonko sähkön kysyntä muuttuu hinnan muuttuessa. Hintajouaston lisääminen tasoittaisi hintaheilahteluja ja lisäisi ennustettavuutta.

Tutkielman tavoitteena on selvittää lyhyen aikavälin sähkön kysynnän hintajousto Suomessa energiakriisin aikana ja tämän vaikutuksia. Tutkielmassa tarkastellaan myös sähkömarkkinoiden kilpailullisuutta, koska tällä on merkittävä vaikutus kysynnän hintajoustoan esimerkiksi sopimusmallien kautta. Energiakriisi nosti energian hintoja ja energiamarkkinoiden uudistus kohti uusiutuvaa energiaa on lisännyt hintavaihteluja. Hintajoustoilla ja sähkömarkkinoiden kilpailullisuudella voidaan löytää vastauksia näihin ongelmiin. Tutkielmasta saatujen tietojen pohjalta luodaan kuva siitä, millaisia rakenneuudistuksia sähkömarkkinoilla tarvittaisiin hintaheilahtelujen ja epävakauden tasoittamiseksi.

1.1 Tutkielman rakenne ja menetelmä

Tutkielman rakenne etenee niin, että toisessa luvussa esitellään sähkömarkkinoiden toimintaa yleisesti. Luvussa käsitellään sähkömarkkinoiden erityispiirteitä, historiaa, vähittäiskauppaa, sähkön hinnan muodostumista ja kysyntäjoustoa. Sähkömarkkinoiden erityispiirteiden ja toiminnan ymmärtäminen on keskeistä sähkömarkkinoiden kilpailullisuuden ja kysynnän hintajouston pohtimisen kannalta. Kolmannessa luvussa tarkastellaan energiakriisiä ja sen aiheuttamaa muutosta Suomen sähkömarkkinoille. Energiakriisillä oli suuri merkitys sähkömarkkinoiden toimivuuden ja hintojen kannalta, ja siksi on oleellista tutkia millaisia muutoksia se sai aikaan.

Neljännessä luvussa käsitellään empiirisiä tutkimuksia sähkön kulutuksesta ja sopimusmalleista kuluttajilla ja yrityksillä. Kuluttajien kohdalla keskitytään erityisesti kilpailutuksen ongelmiin ja halukkuuteen joustaa kulutuksessa. Yritysten osalta keskitytään sopimusmalleihin ja pohditaan millaista potentiaalista kehitysvaraa näissä olisi. Näiden ongelmien ja rakenteiden tutkiminen antaa mahdollisuuden kehitellä ratkaisuja sähkömarkkinoiden kilpailullisuuden ongelmiin. Viidennessä luvussa käydään läpi kysynnän hintajouston teoreettinen tausta sekä esitellään tutkimuksia ja tuloksia, joissa on tutkittu sähkön kysynnän hintajoustoa. Nämä tutkimukset antavat viitekehyksen sille, miten sähkön kysynnän hintajousto olisi järkevää estimoida ja millaisia tuloksia tästä pitäisi tulla.

Kuudennessa luvussa tarkastellaan sähkön kulutuksen ja hinnan dataa ja tunnuslukuja Suomesta vuosilta 2019-2023 ja estimoidaan sähkön kysynnän hintajousto vuosille 2022 ja 2023. Tunnuslukujen ja datan esittelyn tarkoituksena on luoda kuva siitä, miten sähkön kysyntä ja hinnat ovat kehittyneet ennen energiakriisiä ja sen aikana. Hintajouston estimoinnin tarkoituksena on antaa tuloksia Suomen hintajoudesta ja siitä, pitäisikö tilanteelle tehdä jotain. Viimeisessä luvussa analysoidaan tutkielman tuloksia ja pohditaan jatkotutkimusmahdollisuuksia. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen tutkimuksen välimuotona. Tällä tavoin saadaan mahdollisimman tarkka kuva Suomen sähkömarkkinoiden tilanteesta ja kilpailullisuudesta energiakriisin aikana.

Tutkielmassa on hyödynnetty OpenAI ChatGPT tekoälyä lähdeaineiston tekstien kielen kääntämiseen.

1.2 Keskeiset löydökset

Tutkielman tulosten perusteella lyhyen aikavälin hintajousto on ollut joustamatonta Suomessa vuosina 2022 ja 2023. Hintajousto on kuitenkin lähes nelinkertaistunut vuodesta 2022 vuoteen 2023. Mahdollisia syitä tähän ovat kasvaneet pörssisähkösopimusten osuus ja sähkön hintojen saama laaja mediahuomio. Nämä ovat lisänneet kuluttajien ja yritysten tietoisuutta ja kannustimia joustoon. Hintajoustopon lisääminen laskee hintahuippuja ja lisää markkinoiden ennustettavuutta. Kuluttajat eivät valitse aina optimaalisinta sähkösopimusta. Myös yrityksille olisi tarjolla enemmän joustoa lisääviä sopimuksia ja teknologioita. Näiden lisääminen kannustaisi yrityksiä ja kuluttajia joustamaan sähkön kysynnässä entisestään. Hintahuippujen tasaaminen ja ennustettavuuden lisääminen hyödyttäisi kaikkia markkinatoimijoita.

2 Sähkömarkkinoiden toiminta

Sähkömarkkinat poikkeavat merkittävästi muista hyödykemarkkinoista. Sähkömarkkinoiden toiminnan ja erikoispiirteiden ymmärtäminen on välttämätöntä tutkielman aiheiden tutkimisen kannalta. Tässä osiossa käydään läpi sähkömarkkinoita, niiden historiaa, sähkön vähittäismyyntiä, kysyntäjoustoa ja hinnan muodostumista.

2.1 Sähkömarkkinoiden historiaa ja kilpailua

Aalto-Setälä ja muut (2005) kertovat, että Suomessa on perinteisesti ollut edulliset sähkön hinnat. Teollisuus kuluttaa suuren määrän sähköä, joten edullinen sähkö on edesauttanut Suomalaisen teollisuuden kilpailukykyä. Alhainen sähkön hinta on siis ollut poliittinen tavoite, ja teollisuus on myös rakentanut omaa tuotantokapasiteettiaan edullisen sähkön turvaamiseksi. Tämä suuri tuotantokapasiteetti on myös näkynyt kuluttajahinnoissa. Sähkömarkkinoiden vapautuminen täydelliselle kilpailulle 1998 poisti esteet sähkön kilpailuttamisesta myös kuluttajilta. Sähkön kilpailuttamisen ansiosta kuluttajat ovat erityisessä asemassa sähkömarkkinoiden toimivuuden kannalta. Sähkömarkkinoiden kilpailun kehittymistä kuitenkin hidastaa kuluttajien haluttomuus kilpailuttaa sopimuksiaan. Syynä tälle uskotaan olevan vääränlaiset uskomukset, kuluttajien riittämätön tieto, epäluottamus markkinoiden toimintaan tai se, että mahdollisia saavutettavia säästöjä ei pidetä tarpeeksi suurina. Ruotsissa ja Norjassa sopimusten vaihtajien määrät ovat olleet huomattavasti suurempia.

Aalto-Setälän ja muiden (2005) mukaan Suomen sähkömarkkinoilla suurimmalla osalla kuluttajista oli kilpailuttamaton sähkösopimus eli toistaiseksi voimassa oleva sopimus. Käytännössä kaikki sopimukset, joita ei kilpailuteta, ovat toistaiseksi voimassa olevia. Näissä sopimuksissa toimittaja voi vaihtaa sopimuksen hintaa 30 päivän varoitusajalla lähes mielensä mukaan. Näiden sopimusten lisäksi tarjolla on määräaikaista sopimuksia, joissa sähkön hinta on kiinteä esimerkiksi kahden vuoden ajaksi. Artikkelissa pohditaan kysymystä siitä, käyttävätkö sähköyhtiöt hyväkseen tietoa siitä, että kuluttajille sopimuksen kilpailuttaminen on hankalaa. Kun kuluttajien ovat passiivisia, yhtiöillä ei ole

pelkoa asiakkaiden karkottamisesta liian korkeilla hinnoilla. Näin yritykset voivat nostaa hintoja passiivisten asiakkaiden sektorilla ja kilpailla hinnassa pienemmässä aktiivisten asiakkaiden sektorissa. Lisäksi markkinoiden toimivuutta auttaisi kysynnän hintajouston lisääntyminen. Artikkelin mukaan kysynnän hintajousto on voisi vaikuttaa esimerkiksi sopimusten hinnoittelu pienkuluttajille päivä- ja yökulutuksen mukaan tai siirtyminen suoraan pörssihinnoiteltuun sähkөөn, mikä lisäksi myös läpinäkyvyyttä markkinoilla.

2.2 Sähkömarkkinoiden erityispiirteet ja Nordpool

Hirvonen ja muut (2003) kertovat sähkömarkkinoiden kilpailusta ja sen keskeisistä piirteistä artikkelissaan *Kilpailu sähkömarkkinoilla: Sähkömarkkinoiden keskeiset piirteet ja toiminta*. Pohjoismaissa sähköstä käydään fyysistä tuntitason kauppaa (Elspot) ja finanssikauppaa (Eltermin) Nordpoolissa. Nordpool on pohjoismainen sähköpörssi, joka tarjoaa yleisesti tunnustetun markkinahinnan sähkөөlle. Sähköpörssissä kauppaa käyvät sähkөөn tuottajat, sähkөөnmyyntiyhtiöt, ja teollisuusyritykset ympäri maailmaa. Sähköpörssi muodostaa markkinahinnan sähkөөlle, ja tätä hintaa käytetään myös hintareferenssinä sähkösopimuksille (Nordpoolgroup, 2023).

Nordpool markkinoilla jokaiselle tunnille muodostuu spot-hinta ostajien ja myyjien tuntijaolla annettujen tarjousten perusteella edullisuusjärjestyksessä. Spot-hinta kuvaa sähkөөlle hetkellistä hintaa. Ideaalitalanteessa täydellisen kilpailun vallitessa spot-hinta vastaa marginaalisen tuotantomuodon välittömiä tuotantokustannuksia. Tämä johtuu siitä, että täydellisen kilpailun vallitessa tuottajien ei kannata tarjota sähkөөä sen välittömien tuotantokustannuksien hinnan alle. Lisäksi täydellisen kilpailun vallitessa kustannukset ylittävä marginaali supistuu nolnaan (Hirvonen ja muut, 2003).

2.3 Sähkөөn vähittäismyynti

Sähkөөnmyyntiyhtiö myy sähkөөn kuluttajalle sähkөөn vähittäismyyntinä. Suomessa sähkөөnkäyttöpaikkoja löytyy noin 3,5 miljoonaa, ja jokaiseen tulee olla yksi toimittaja sähkөөn saamiseksi kohteeseen. Sähkөөn myynti on erityisasemassa siinä mielessä, että

sähkö on välttämättömyyspalvelu sekä siksi, että energiapolitiikka on erityisen tärkeä osa-alue ilmastonmuutoksen torjumisessa. Tästä syystä vähittäismyynnissä sopimusvapautta rajoitetaan erityissäätelyllä. Kilpailua ei kuitenkaan haluta estää kokonaan, joten kaikkea markkinassa ei ole säännelty yksityiskohtaisesti. Tämä mahdollistaa osapuolten välisen sopimisen sähkömyynnistä haluamallaan tavalla (Energiavirasto, 2021).

Kun sähköenergia tuotetaan voimalassa, se täytyy siirtää loppukäyttäjälle useamman verkonhaltijan kautta. Lisäksi sähköenergialle tarvitaan aina ostaja. Tämä järjestelmän toimivuus edellyttää hyvää yhteistyötä, eikä markkinoilla voi toimia ilman, että viestii muiden järjestelmän toimijoiden kanssa. Tästä syystä esimerkiksi sähköntoimittajilla on velvollisuus ilmoittaa alkavasta tai päättyvästä sopimuksesta. Sähkönmyyjät eivät kuitenkaan hoida sähkönsiirtoa ja mittausta, vaan tämä on verkkoyhtiöiden eli sähkönsiirtoyhtiöiden tehtävä. Sähkönmyyjät myyvät sähköverkkoon syötettyä energiaa, mutta käytännössä myynti tapahtuu sähkötasekirjausten avulla. Myyjän sähkötaseeseen kirjataan sähkönmyyjän hankkima ja myymä sähkö. Myyjä laskuttaa sähkönsä asiakkaaltaan sopimuksen mukaisesti mittautustietojen perusteella. Kaikilla osapuolilla tulee olla sopimus tehtynä jo ennen sähköntoimituksen alkamista. Taseselvityksen avulla markkinoilla pystytään osoittamaan kaikkien sähkömarkkinaosapuolien tuottamat ja kuluttamat energiamäärät. Tämän selvityksen avulla jokaisen kilowattitunnin maksaja saadaan selville (Energiavirasto, 2021).

2.4 Hintaan vaikuttavat tekijät

Sähkön markkinahinnan muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat kysyntä- ja tarjontatilanne, sää, lämpötilat, vesitilanne, polttoaineiden hinnat, suurten voimantuotantoyksiköiden tila, ympäröivät markkinat, ja niiden hintatasot. Näiden lisäksi sähkön hintaan vaikuttaa päästöoikeuksien hinnat. Erityinen ominaisuus pohjoismaisille sähkömarkkinoille on vesivoiman suuri osuus. Noin puolet tuotetusta sähköstä tuotetaan vesivoimalla, mutta sen osuuksissa on vaihtelua eri pohjoismaiden välillä. Tämä aiheuttaa sen, että sadetilanne, tulovirtaama ja vesivarantojen suuruus

vaikuttaa merkittävästi sähkön hintaan. Euroopan yhdentyvät sähkömarkkinat ovat aiheuttaneet sen, että sähkö virtaa halvalta alueelta kalliille. Suomelle tämä merkitsee sitä, että Norjan halpa sähkö virtaa yhä enemmän muille alueille, joissa siitä ollaan valmiita maksamaan enemmän (Elfi, 2023)

Suomessa sähköntuotanto on Ruotsia ja Norjaa riippuvaisempi fossiilisista polttoaineista kertovat Aalto-Setälä ja muut (2005). Heidän mukaansa esimerkiksi kylmien säiden mukana tuleva kasvanut kysyntä johtaa siihen, että sähkön hinta voi nousta korkealle. Tuontikapasiteetin niukkuuden vuoksi joudutaan turvautumaan päästöjä tuottaviin ja kalliisiin tuotantomuotoihin. Tämä voi nostaa sähkön hintaa pelkästään maksettavien lisäpäästöoikeuksien myötä. Yksi Nordpoolin tehtävistä on tasata näitä kapasiteetti- ja hintaongelmia. Tilanteessa, jossa sähkön tuonti ei ole mahdollista, sähkön hinnat voivat nousta erittäin korkealle. Euroopan Unionin päästökaupan tarkoituksena on vähentää hiilidioksidipäästöjä. Näitä vähennyksiä koitetaan saada aikaan siellä, missä se on kaikkein kustannustehokkainta. Päästökaupan ansiosta uusiutuvaa energiaa hyödyntävät yritykset saavat kilpailuetua markkinoilla. Tämä on pitkällä aikavälillä hyvä asia, koska se ajaa esimerkiksi sähköteollisuutta investoimaan ympäristöystävälliseen suuntaan.

2.5 Kysyntäjousto

Sähkömarkkinat poikkeavat merkittävästi muista markkinoista. Tästä syystä on tärkeää ymmärtää miten sähkömarkkinat toimivat. Kysyntäjousto on merkittävässä hintaan vaikuttavassa roolissa sähkömarkkinoilla. NordpoolGroup (2023) kertoo *Quarterly newsletter* artikkelissa, että kysyntäjousto on kykyä sopeutua sähkön tarjonnan muutoksiin. Tämä voidaan toteuttaa vaihtamalla kulutuksen ajankohtaa tai päättämällä olla kuluttamatta, kun hinnat ovat korkeita. Kysyntäjousto voi esiintyä päivän aikana, joka heijastuu päivä etukäteen tarjoukseen (day ahead bid) tai pidemmällä aikajanelalla. Yleisesti ottaen kysyntäjousto viittaa fyysiseen joustavuuteen. Kuitenkin puhtaasti markkinalähtöisestä näkökulmasta voidaan miettiä myös mahdollisuuskustannusjousto eli spekulointia tukkumarkkinoiden osa-alueiden välillä.

Sähkömarkkinoilla on käynnissä kehitys kohti uusiutuvan energian tuotantoa, koska Euroopan ilmastopoliittika pyrkii vähentämään päästöjä. Lisääntynyt epäsäännöllisyys, kuten esimerkiksi vaihtelu uusiutuvan energian tuotannossa, lisää todennäköisesti hintavaihtelun suuruutta. Tämän vuoksi ilmastotavoitteiden ja taloudellisen kannattavuuden kannalta on järkevää säätää kysyntää sähkön hinnan mukaan aina, kun se on mahdollista. Viime vuosina Euroopan energiamarkkinoilla on koettu ennennäkemättömiä sähkön hintoja. Välillä tuntien hinnat ovat olleet erittäin korkeita, ja välillä negatiivisella tasolla day-ahead markkinassa. Korkeita hintoja on perusteltu sillä, että tarjonta on niukkaa ja kysyntä joustamatonta. Varmistaaksemme tehokkaan hinnan muodostumisen maksimaalisella sosiaalisella hyödyllä, on välttämätöntä, että kaikki kysyntäjousto näkyy myös tarjouksessa. Jos näin ei käy, liian suuri määrä sähköä välittyy korkeammilla hinnoilla kuin olisi oikea halukkuus maksaa. Tämä vaikuttaa kaikkiin kuluttajiin liian korkeina sähkön hintoina (NordpoolGroup, 2023).

3 Energiakriisi

Energiakriisi sai alkunsa vuonna 2022 ja sillä oli merkittävä vaikutus energiahintoihin vuosina 2022 ja 2023. Energiakriisi vaikutti kuluttajiin, yrityksiin ja koko talouden tilaan. Energiakriisin vaiheisiin ja vaikutuksiin perehtyminen on tärkeää tutkielman muiden osioiden ymmärtämisen kannalta, koska sen avulla luodaan tarkempi kuva Suomen sähkömarkkinoiden tilasta. Tässä osiossa käydään läpi energiakriisin vaiheita, ja sen vaikutusta sähkömarkkinoihin.

3.1 Energiakriisin vaiheet

Energiamarkkinat alkoivat kiristyä monesta syystä vuonna 2021. Tähän vaikutti poikkeuksellisen nopea talouden elpyminen pandemian jälkeen. Venäjän hyökkäys Ukrainaan helmikuussa 2022 laukaisi täysimittaisen globaalin energiakriisin. Maakaasu hinta saavutti ennätysellisiä lukemia, ja tästä seurasi sähkön hinnan nousu joillakin markkinoilla. Myös öljyn hinnat nousivat korkeimmalle tasolleen sitten vuoden 2008 kriisin. Korkeammat energianhinnat ovat johtaneet myös tuskallisen korkeaan inflaatioon, työntäneet perheitä köyhyyteen, pakottaneet tehtaita vähentämään tuotantoaan tai jopa lopettamaan toimintansa. Joissakin talouksissa korkeat energiahinnat ovat hidastaneet talouskasvua siinä määrin, että ne ovat menossa kohti vakavaa taantumaa. Erityisesti Euroopan kaasuntoimitus oli erityisen haavoittuvassa asemassa, koska se on historiallisesti riippuvainen Venäjästä (IEA50, 2022)

Vaikka tämänhetkisellä energiakriisillä on joitakin yhtäläisyyksiä 1970-luvun öljyshokkien kanssa, niin on näillä myös tärkeitä eroja. Vuoden 2020 kriisi koskee kaikkia fossiilisia polttoaineita, kun taas 1970-luvun shokit koskivat vain öljyä. 1970-luvulla maapallo oli paljon riippuvaisempi öljystä ja vähemmän kaasusta. Nykypäivänä koko maailmantalous on paljon enemmän yhteen linkitetty verrattuna 1970-lukuun, mikä voimistaa kriisin vaikutusta. Tästä syystä vuoden 2022 energiakriisiä voidaan kutsua ensimmäiseksi todellisesti globaaliksi energiakriisiksi. Sodan alettua EU ja Yhdysvallat asettivat Venäjälle sanktioita. Samalla Eurooppa on pyrkinyt korvaamaan Venäjän kaasun kokonaan. Tämä

aiheutti sen, että Yhdysvalloista, Australiasta ja Qatarista peräisin olevan nesteytetyn maakaasun hinnat nousivat. Kaasu määrittää usein myös sähkön myyntihinnan, ja tästä syystä myös sähkön hinnat nousivat (IEA50, 2022).

Näiden tapahtumien vuoksi joidenkin maiden hallitukset pyrkivät lieventämään kriisin aiheuttamia vaikutuksia kuluttajille joko suoran taloudellisella avustuksella tai rajoittamalla kuluttajahintoja ja maksamalla sen jälkeen energiatuottajille erotuksen. Monissa maissa mahdollisuudet tällaiseen tukeen ovat hyvin rajalliset, sillä inflaatio on reilusti tavoitetason yläpuolella ja covid-19 pandemian aikaisten hätäpakettien aiheuttama suuri budjettivaje tekee negatiivisten vaikutusten lieventämisestä taloudellisesti vaikeaa. Lisäksi kasvanut inflaatio on nostanut lyhyen aikavälin korkoja, mikä osaltaan hidastaa talouskasvua (IEA50, 2022).

Euroopassa kiirehdyttiin lisäämään kaasuntuontia vaihtoehtoisista tuottajamaista, kuten Norjasta, Algeriasta ja Azerbaidžanista. Lisäksi EU-valtioissa on päätetty kaasun varastointivelvoitteista ja sovittu vapaaehtoisista tavoitteista vähentää kaasun ja sähkön kysyntää 15% talvella 2022. Tähän on pyritty tehokkuustoimenpiteiden, uusiutuvan energian suuremman käytön ja tehokkuusparannusten tukemisen avulla. Venäjän hyökkäys on johtanut energiastrategioiden ja -prioriteettien uudelleenarviointiin. Samalla kyseenalaistetaan vuosikymmenten infrastruktuuri- ja investointipäätösten elinkelpoisuus ja suunnataan kansainvälinen energiakauppa uusille urille. Kaasun odotettiin olevan avainroolissa monissa maissa vähäpätöisempänä ”siltana” liikaisten fossiilisten polttoaineiden ja uusiutuvien energialähteiden välillä. Kriisi kuitenkin aiheutti kyseenalaistusta kaasun luotettavuudesta (IEA50, 2022).

3.2 Energiakriisin tuomat tarpeet uudistumiselle

Ambec ja muut (2023) kertovat artikkelissaan *Electricity market design: Views from European economists* Eurooppaa kohdanneesta energiakriisistä, joka johti ennätyskorkeisiin sähkö- ja kaasuhintoihin, ja näin vaikutti koko Euroopan talouteen. Tämä energian hinnan nousu on ollut inflaation pääasiallinen ajuri. EU:n inflaation

keskiarvo saavutti lokakuussa 2022 11.5% keskiarvon. Tämä nousu on pakottanut Euroopan keskuspankin nostamaan korkoja. Inflaation ja nostettujen korkojen yhdistelmä on vähentänyt Eurooppalaisten kotitalouksien käytettävissä olevia tuloja ja ostovoimaa, asettanut Eurooppalaisen teollisuuden kilpailukyvyn vaaraan ja pakottanut hallitukset toteuttamaan niiden epäsymmetristen taloudellisten mahdollisuuksiensa puitteissa kalliita tukitoimia lieventääkseen energiakriisin taloudellisia ja yhteiskunnallisia seurauksia. Nämä tapahtumat ovat asettaneet sähkömarkkinoiden suunnittelun huomion keskelle. Kysymys ei ole pelkästään siitä, miten energiakriisin toistumiselta vältytään tulevaisuudessa, vaan myös siitä, miten vahvistamme vähähiilisiä investointeja sellaisessa mittakaavassa ja vauhdissa, mikä on välttämätöntä hiilineutraalistamisen ja samalla tarvittavan toimitusvarmuuden säilyttämiseksi.

Ambec ja muiden (2023) mukaan lyhyen aikavälin sähkömarkkinat tulisi säilyttää. Lyhyen aikavälin sähkömarkkinat tarjoavat arvokkaan työkalun tuotannon tehokkuuden saavuttamiseen ja oikeiden signaalien tarjoamiseksi tehokkaaseen kulutukseen. Erityisesti lyhyen aikavälin hinnat ovat tärkeässä asemassa, kun ohjataan tiettyjen tuotantoresurssien tehokasta toimintaa. Tällaisia tuotantoresursseja ovat esimerkiksi vesivoima, energian varastointi ja kysynnän joustavuus. Pelkkään lyhyen aikavälin markkinoihin tukeutuminen ei riitä, sillä ne ovat hyvin volatiileja. Lisäksi lyhyen aikavälin markkinat eivät heijasta eri tuotantoteknologioiden keskinäisiä kustannuksia, eivätkä tarjoa tarpeeksi tehokkaita markkinasignaaleja pitkän aikavälin investointeihin sekä tarjonta- että kysyntäpuolella. Tällaisia ovat esimerkiksi investoinnit uusiutuvaan energiaan ja teollisuuden sähköistykseen. Investointien puute on erityisen huolestuttavaa, kun otamme huomioon pikaisen hiilidioksidipäästöjen vähentämisen tarpeen koko taloudelle. Tärkeimpänä tehtävänä markkinasuunnittelussa tulisi olla terveiden pitkäaikaisten sopimusten mahdollistaminen, jotka pystyvät vastaamaan näihin huolenaiheisiin (esim. Fabra 2022, Schittekatte and Carlos Batlle 2023).

Sähkömarkkinoiden uudistuksen ytimessä on tarve varmistaa riittävien pitkäaikaisten sopimusten kattavuus tuottajien ja kuluttajien keskuudessa kilpailukykyisillä hinnoilla.

Pitkäaikaiset sopimukset, jotka suojaavat kuluttajia ja tuottajia tulo- ja kustannusshokeilta, tulisi suunnitella niin, että ne alentavat sähkön hintoja ja vahvistavat kykyä ja kannustimia osallistua lyhyen aikavälin markkinoille. Mikäli ne suunnitellaan älykkäästi, pitkän aikavälin sopimukset parantavat myös lyhyen aikavälin markkinoiden toimivuutta. Tämä tapahtuu vähentämällä riskejä, jotka liittyvät sääntelytoimenpiteisiin tai teknologisiin läpimurtoihin. Tätä voidaan tehdä rajoittamalla kannustimia markkina-aseman väärinkäyttöön (esim. Allaz ja Vila 1993, Ito ja Reguant 2016, Fabra ja Imelda 2023), sekä lisäämällä markkinaosallistumista (Ambec ja muut, 2023).

Vaikka artikkelin tutkijat ovat yksimielisiä siitä, että pitkän aikavälin sopimuksia pitäisi vahvistaa, toteuttamistavat tälle ovat intensiivisen keskustelun alla. Kaksi päävaihtoehtoa tälle olisivat kahdenväliset yksityissopimukset, joita sähköalan slangissa kutsutaan sähkön ostosopimuksiksi (power purchasing agreements, PPA's), ja erotuskauppasopimusten huutokauppaaminen (contracts for differences, CfD's). Sääntelyviranomaisen järjestää ja takaa tämän kuluttajien puolesta (Ambec ja muut, 2023).

4 Empiirisiä tutkimuksia sähkömarkkinoista

Tutkielman kannalta on oleellista selvittää, millainen tilanne sähkömarkkinoilla on kilpailullisuuden ja sopimusmallien osalta. Kilpailullisuus ja sopimusmallit liittyvät olennaisesti sähkömarkkinoiden sujuvuuteen. Lisäksi kilpailullisuudella ja sopimusmalleilla on tärkeä vaikutus sähkön kysynnän hintajoustoan, joka on tutkielmassa tarkasteltavana.

4.1 Kuluttajamarkkinat

Sähkön kuluttajamarkkinoihin vaikuttaa merkittävästi sopimusten kilpailuttaminen ja kuluttajien halu, tai osaaminen kilpailuttaa sopimuksiaan. Sopimuksilla on suora vaikutus sähkön kysynnän hintajoustoan, sillä toiset sopimukset rohkaisevat joustoan enemmän kuin toiset. Suomessa kuluttajilla on eniten käytössä sopimustyyppinä, joissa ei ole kannustimia hintajoustoan. Sopimustyyppien muuttaminen olisi tehokas tapa lisätä hintajoustoan kuluttajien keskuudessa.

4.1.1 Reaaliaikainen hinnoittelu

Poletti ja Wright (2020) pohtivat tutkimuksessaan *Real-Time Pricing and Imperfect Competition in Electricity Markets* sähkömarkkinoiden epätäydellistä kilpailua ja reaaliaikaisen hinnoittelun sopimusten suhdetta tähän. Heidän mukaansa sähkömarkkinoissa on monia ominaisuuksia, minkä vuoksi ne poikkeavat paljon muista markkinoista. Sähkön varastoiminen suurina määrinä ei ole taloudellisesti kannattavaa, joten kysynnän ja tarjonnan pitäisi kohdata välittömästi. Suurta osaa asiakkaista ei voida laskuttaa ajalliseen kulutukseen perustuen, sillä heidän mittarinsa luetaan vain kerran kuukaudessa ja siinä seurataan vain kokonaiskulutusta. Tuloksena tästä seuraa alhainen kysynnänmuutos hinnanmuutokseen. Alhaisen kysyntäjoustoan lisäksi sähkömarkkinoilla on kova rajoitus tarjonnassa silloin, kun sähköä tuotetaan voimaloissa täydellä kapasiteetilla. Tämä tarkoittaa sitä, että tarjonta on hyvin joustamatonta kokonaistuotantokapasiteetin yli. Joustamattoman kysynnän ja tarjonnan yhdistelmästä

seuraa se, että sähkön hinnat voivat heitellä hyvin merkittävästi, ja ne ovat alttiita markkinavoiman käytölle sähkömarkkinoilla. Säätelämättömillä tukkumarkkinoilla sähkön hinnat voivat heilahdella jopa 100% päivän aikana, eivätkä 10 tai 100- kertaiset hintapiikit ole epätavallisia.

Näiden ominaisuuksien takia monet ekonomistit ovat sitä mieltä, että sähkömarkkinat toimisivat paremmin, jos kuluttajia laskutettaisiin real-time price mukaan, suomeksi reaaliaikaisen hinnoittelun mukaan eli toisin sanoen pörssihinnoitellun sopimuksen mukaan. Kuluttajat vähentäisivät tällöin kulutustaan korkean kysynnän aikana. Tämä tapahtuu tyypillisesti silloin, kun sähköä on myös kallista tuottaa. Kuluttajat kuluttaisivat sähköä enemmän silloin, kun markkinoilla olisi hiljaisempaa ja sähkö olisi edullisempaa. Tämän pitäisi johtaa korkeampaan tehokkaan kapasiteetin käyttöön ja samalla tehokkaampaan markkinaan. Näiden lisäksi on argumentoitu, että reaaliaikaisen hinnoittelun avulla kysynnän pitäisi muuttua joustavammaksi, joka auttaisi lieventämään sähköntuotannon markkinavoiman vaikutuksia (Poletti ja Wright 2020).

Polettin ja Wrightin (2020) mukaan yrityksiä ollessa täysin kilpailullisessa asemassa tukkumarkkinahinnat olisivat riippumattomia pörssihinnoiteltujen sopimusten määrästä. Toisin sanoen markkinavoimien vallitessa tukkumarkkinahinnat muuttuvat pörssihintaisten ja kiinteähintaisten sopimusten määrien suhteiden muuttuessa. Tällä on merkitystä markkinoiden tulosten kannalta. Kokonaiskysyntä muuttuu herkemmäksi tukkumarkkinahinnoille, kun kuluttajista suuremmalla osalla on pörssihintaisia sopimuksia. Tämä vähentäisi osittain yritysten mahdollisuuksia hyödyntää markkinavoimaa. Erityisesti tukkumarkkinahinnat muuttuvat vähemmän eri kysyntätilanteissa ja yritysten voitot pienenevät, kun kuluttajat siirtyvät pörssihinnoiteltuihin sopimuksiin. Tutkimuksessa havaittiin, että kuluttajat hyötyvät enemmän hintojen laskusta korkean kysynnän hetkinä verrattuna siihen, paljonko he häviävät hintojen noususta matalan kysynnän hetkinä. Kuluttajahyöty lisääntyy enemmän, kun yrityksillä on markkinavoimaa. Tämän lisäksi kuluttajat, jotka vaihtavat

sopimuksensa pörssihinnoiteltuun sopimukseen sekä nekin kuluttajat, jotka eivät vaihda, hyötyvät muiden siirtymisestä pörssisähkösopimukseen.

Monien ekonomien mielestä sähkömarkkinat tehostuisivat, mikäli suurempi osuus kuluttajista siirtyisi pörssihinnoiteltuun sopimukseen. Kilpailullisilla markkinoilla saattaisi olla mahdollisia tehokkuushyötyjä, mikäli näin kävisi. Asiakkaiden vaihtaminen pörssisähkösopimuksille on kuitenkin ollut vähäistä mittaritekniologian takia (Poletti ja Wright, 2020). Suomessa sähkön kysyntäjouaston alhaisuutta ei aiheuta älymittareiden vähäisyys, sillä tavanomaisten mittareiden määrä on Suomessa erittäin alhainen. Käytännössä lähes kaikki käyttöpaikat Suomessa ovat etämittauksen piirissä (Energiateollisuus 2022). Tämä tarkoittaa sitä, että kaikilta kuluttajilta voidaan mitata tunnitainen kulutus ja kuluttajia voidaan laskuttaa ajalliseen kulutukseen perustuen. Ennen energiakriisiä pörssihinnoiteltujen sopimusten osuus Suomessa on kuitenkin ollut pientä (Energiavirasto, 2023). Pörssihinnoiteltujen sopimusten pieni osuus vaikuttaa siihen, että kuluttajilla ei ole tarvetta joustaa kysynnässä, sillä sähkön hinta on kiinteä. Mikäli kuluttajien keskuudessa pörssihinnoitellut sopimukset siis nousisivat merkittävästi, olisi tällä varmasti myös vaikutusta lyhyen aikavälin kysynnän hintajousto.

4.1.2 Sopimusten kilpailutus

Wilson ja Price (2010) tutkivat kuluttajien sähkönmyyntiyhtiön kilpailutusta empiirisessä tutkimuksessaan *Do consumers switch to the best supplier?* Tutkimuksen mukaan kuluttajilla on ollut ongelmia taloudellisesti kannattavimman sopimuksen valitsemisessa sähkömarkkinoilla. Kuluttajista jotka vaihtoivat sopimusta hintasyistä, vain 8-20% onnistuivat vaihtamaan sopimukseen, jossa taloudellinen hyöty oli suurin. Yleensä sähköntoimittajaa vaihtaneet saivat saatavilla olevasta maksimihyödystä 30-52%. Huolimatta siitä, että sähkömarkkinoilta löytyy useita sähköhintavertailusivustoja, kuluttajat eivät aina vaihda optimaalisimpaan sopimukseen. Syitä tähän ovat etsintä- ja päätöksentekokustannukset ja erilaiset kognitiiviset päätöksenteon kustannukset. Lisäksi tutkimuksen mukaan kuluttajat olivat tehneet tietoisia tai tiedostamattomia päätöksiä, joilla he päätyivät huonompiin sopimuksiin.

Pörssisidonnaisella sopimuksella on pitkällä aikavälillä keskimäärin edullisin hinta. Jotkin kuukaudet saattavat olla huomattavasti kalliimpia, mutta keskimäärin nämä sopimukset ovat edullisimpia. Suurimman hyödyn kuluttajat saavat, kun he seuraavat aktiivisesti sähkön hintoja ja muokkaavat kulutustaan tämän suhteen (Halvinsähkösopimus.fi, 2024). Hintajouston kannalta on ongelmallista, että kuluttajat eivät valitse taloudellisesti kannattavinta sopimusta. Pörssisähkö antaa kuluttajille eniten syytä hintajoustavuuteen ja siitä saatavat säästöt ovat kaikkein suurimmat. Kuluttajien tulisi kilpailuttaa sopimuksiaan kannattavammin ja valita pörssisidonnainen sopimus. Sähköä kulutetaan pitkällä aikavälillä, joten hetkittäisten hintapiikkien ei pitäisi estää tämän sopimuksen valitsemista. On mahdollista, että kuluttajat välttelevät tätä sopimusta, koska kokevat sähkön hintojen seuraamisen taakkana. Tämä saattaa vaikuttaa kuluttajien päätökseen valita toisenlainen sopimus.

4.1.3 Kotitalouksien halukkuus joustoon

Enni Ruokamo ja muut (2019) selvittivät valintakoetutkimuksessaan *Towards flexible energy demand – Preferences for dynamic contracts, services and emissions reductions*, miten halukkaita kotitaloudet ovat osallistumaan sähkönkulutuksen ja tilalämmityksen kuorman ohjaukseen. Lisäksi he tutkivat, ovatko kuluttajat kiinnostuneita dynaamisista hinnoittelusopimuksista sekä miten erilaiset päästöjen vähentämisen tasot vaikuttavat heidän osallistumiseensa joustoon. Tutkimuksessa todettiin, että kysyttäessä kuluttajilta energiasäästöistä, pidettiin sitä tärkeänä pääosin taloudellisista syistä. Tämän lisäksi ilmastonmuutoksen torjunta oli vastaajien mielestä tärkeää. Vastaajista 71% halusi enemmän päätösvaltaa kotitalouksille sähköntuotannon suhteen Suomessa. Lisäksi suurin osa oli sitä mieltä, että uusiutuvan energian osuutta tulisi lisätä, vaikka se lisäisi kustannuksia yhteiskunnalle.

Vastaajilta kysyttiin myös mielipiteitä sähkön hinnoittelusta. Selvällä enemmistöllä (72%) sopimus oli kiinteähintainen. Vain harvoilla (5%) oli pörssisähkösopimus. Tästä pienestä määrästä huolimatta vastaajista 11% ilmoitti, että he olivat pohtineet

pörssisähkösopimusta, mutta eivät hankkineet tätä vielä. Kun tutkimuksissa kysyttiin syytä kiinteähintaisen sopimuksen valinnalle, suosituin selitys oli, että tämä sopimustyyppi on helposti ymmärrettävä. Lisäksi syiksi annettiin tarve välttää sähkön hinnan vaihteluita, ja oletus siitä, että kiinteähintainen olisi edullisin. Suuri osa vastaajista uskoi sähkön hinnan nousevan merkittävästi lähitulevaisuudessa. Lisäksi suurin osa ilmoitti sähkön siirtohinnan olevan liian korkea sähkön hintaan nähden. Mielenkiintoista oli myös se, että 79% vastaajista halusivat enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa omaan sähkön hintaansa omilla toimillaan. Vastaajista suurimmalla osalla ei ollut toleranssia epävarmuudelle, sillä 84% ei pitänyt vaihtelusta kuukausittaisessa sähkölaskussaan. Lisäksi enemmistö vastaajista haluaisi saada lisää tietoa kulutuksestaan yleisesti (Ruokamo ja muut, 2019).

Tutkimuksen mukaan vastaajat olisivat vaatineet noin 78€ vuosittaista alennusta sähkölaskuunsa valitakseen pörssihinnoitellun sopimuksen kiinteähintaisen sijaan. Tämä viittaa siihen, että kuluttajat välttelisivät sähkölaskun monimutkaisuuden ja epävarmuuden aiheuttamaa epämukavuutta melko paljon. On mahdollista, että tämä havainto antaisi viitteitä siitä, kuinka paljon kuluttajat olisivat valmiita säättämään sähkönkulutustaan vastauksena hinnanvaihteluihin spot-tunti hinnoissa. Mielenkiintoista oli, että merkittäviä eroja löytyi käsityksestä kuormanhallinnassa aamun ja illan välillä. Suurin epämukavuus löytyi kuormanhallinnasta sähkön käytön rajoituksiin illalla. Korvaus, mitä vaadittiin kuormanhallinnasta illalla oli noin 199€ ja 54€ aamulla. Perusteluna tälle esitettiin se, että arkipäiväiset kotityöt kuten pyykin- ja astioiden pesu tapahtuvat useimmiten illalla (Ruokamo ja muut, 2019).

Ruokamon ja muiden (2019) tutkimuksen mukaan markkinoilla löytyisi tarvetta automatisoiduille älyteknologioille, joilla voisi säädellä sähkökulutusta ilman, että se vaatisi kuluttajilta suoria toimia. Kotitalouksilta löytyisi halukkuutta osallistua älykkäisiin kuormanhallintapalveluihin, mutta samalla vaadittaisiin hinnanalennusta siitä aiheutuvalle epämukavuudelle. Huolimatta potentiaalisesta kiinnostuksesta suoriin kuormanhallintapalveluihin ja älymittari-infrastruktuuriin, älykotiteknologioiden

tunkeutuminen markkinoille on ollut käytännössä vähäistä. Lisääntyvä kysyntä tuo markkinoille selkeitä hyötyjä, koska sillä on suora vaikutus tuotantokapasiteetin korkeampaan käyttöasteeseen ja vaihtelevan uusiutuvan energian tehokkaampaan käyttöön. Tästä syystä olisi tärkeää miettiä, pitäisikö myös yhteiskunnan tai energiayhtiöiden osallistua älykotiteknologiasta aiheutuviin kustannuksiin.

Ruokamon ja muut (2019) kertovat, että dynaamiset Real Time Pricing sopimukset (RTP) eivät ole saavuttaneet merkittävää markkinaosuutta, vaikka ne ovat olleet kuluttajille saatavilla jo monia vuosia. Syitä tälle on monia, mutta yhtenä voidaan pitää sitä, että sähkön spot-hinnat ovat olleet pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla pitkään alhaisia, ja tästä johtuen potentiaaliset säästöt sähkönkäytön ajoittamisessa ovat olleet melko matalia. Toinen syy saattaisi olla riskin kaihtamisella, koska kuluttajilla voisi olisi vaikeuksia ymmärtää RTP sopimuksia (Hobman et al., 2016). Tästä voitaisiin päätellä, että sähkönmyyntiyhtiöiden pitäisi tehdä RTP sopimuksista entistä yksinkertaisempia ja asiakasystävällisempiä. Dütschke and Paetz (2013) mukaan hintaan liittyviä riskejä voidaan vähentää hyödyntämällä automatisoituja älytaloteknologioita, jotka hallinnoivat hintatietoja ja kuormaa.

Tulevaisuudessa saattaa löytyä ratkaisu RTP sopimusten vaatimattomiin taloudellisiin hyötyihin, jotka aiheutuvat alhaisista spot-hinnoista. Tämä ratkaisu olisi aggregaattoreissa ja virtuaalienergiayhtiöissä, jotka yhdistäisivät useita kotitalouksia ja tarjoaisivat niiden luomaa joustavuutta esimerkiksi tasapainotusmarkkinoille, joilla saatavat taloudelliset hyödyt olisivat suuremmat. Osa näistä tuloista voitaisiin jakaa sähkön hinnoissa joustaville kotitalouksille erilaisten sopimusetujen muodossa. Vaihtelevan uusiutuvan energian kasvava markkinaosuus vaatii joustavampaa kysyntää markkinatasapainon ylläpitämiseksi. Kaksiosainen tai kausiluontoinen tariffi ei voi tarjota tällaista joustoa. Tästä syystä tarvitaan sopimuksia, jotka tarjoavat kannustimia vähintään tunnittaiseen joustavuuteen. Lisäksi ymmärryksen lisääminen siitä, miten kuluttajia voitaisiin motivoida olemaan aktiivisempia jäseniä sähkömarkkinoilla olisi tärkeää. Tällaisen ymmärryksen lisääminen vaatii yhdistelmää teknologisista, rahallisista

ja muista arvopohjaisista kannustimista. Ympäristönäkökohdat ovat olleet kuluttajille nousevissa määrin tärkeitä aiheita ilmastonmuutoksen vuoksi. Mikään nykyinen sopimustyyppi ei kuitenkaan tarjoa todellisia kannustimia muuttaa kulutusta ympäristötiedon perusteella (Ruokamo ja muut, 2019).

Energiakriisin aiheuttamat sähkön hintavaihtelut lisäävät entisestään tarvetta tunnittaiselle joustolle sähkön kysynnässä. Tämä olisi tärkeää sekä kuluttajille, että markkinoiden sujuvuudelle. Kuluttajilla olisi halukkuutta lisätä omaa joustoaan taloudellisista syistä, mutta saatavia taloudellisia hyötyjä ei ole koettu tarpeeksi suurina. Energiakriisin aiheuttamat korkeat sähkön hinnat ovat lisänneet näitä potentiaalisia taloudellisia hyötyjä. Lisäksi kuluttajat kokevat myös jouston taakkana, ja siksi esimerkiksi iltaisin vaadittavan taloudellisen hyödyn pitäisi olla suurempi kuin aamuisin. Tämän taakan pienentämistä voitaisiin lisätä älykotiteknologioilla, jolloin vaadittavat taloudelliset hyödyt pienentyisivät. Energiakriisin aiheuttama vaikutus RTP sopimusten kasvaneeseen osuuteen pitäisi myös lisätä joustavuutta. Tämä siitä syystä, että joustolla kuluttaja pystyy suoraan vaikuttamaan oman sähkölaskunsa suuruuteen. Yksinään nämä muutokset ovat verrattain pieniä, ja markkinoilla olisi edelleen tarvetta sopimustyyppien muutoksille siten, että kuluttajilla olisi entistäkin suuremmat kannustimet lisätä sähkön kysyntäjoustavuutta.

4.1.4 Energiakriisin aiheuttama muutos

Vuonna 2022 kuluttajat alkoivat siirtyä suurissa määrin pörssihinnoiteltuihin sopimuksiin. Energiaviraston (2023) mukaan vuoden 2022 lopussa pörssihinnoiteltujen sopimusten osuus oli 13,7%. Aikaisempina vuosina tämä luku on ollut noin 10% ja vuodesta 2021 nousua oli 4,3% prosenttiyksikköä. Määräaikaisten sopimusten osuus laski, mutta sopimusmallina oli silti selkeästi yleisin. Viime vuosina toistaiseksi voimassa olevien sopimusten osuus on ollut tasaisessa laskussa. Määräaikaaisissa ja toistaiseksi voimassa olevissa sopimuksissa sähkönmyyjät tarjoavat kiinteää hintaa muutamasta kuukaudesta muutamaan vuoteen.

Syynä näille muutoksille oli se, että 2022 vuoden syksystä lähtien sähkön vähittäismyyjät tarjosivat useimmiten uutena sopimuksena pörssihinnoiteltua sähköä. Samaan aikaan muiden sopimustyyppien tarjonta laski. Tätä muutosta voidaan perustella tukkumarkkina- ja johdannaismarkkinahintojen jyrkällä nousulla. Lisäksi sähkömarkkinoilla oli paljon epävarmuutta talvelle 2022-2023. Tämä vaikeutti sähkönmyyjien mahdollisuuksia suojata hankintahintaansa pitkällä aikavälillä. Sähkömarkkinatilanne parantui keväällä 2023, mikä puolestaan lisäsi myös muiden sopimustyyppien tarjontaa (Energiavirasto 2023).

4.2 Yritysten sähkösopimusmallit

Yrityssähkösopimuksissa on joitakin eroja kuluttajien sähkösopimuksiin. Perinteisten sopimusten lisäksi yrityksille on saatavilla esimerkiksi sähkönostosopimuksia ja erilaisia palvelusopimuksia. Nämä sopimusmallit ovat hieman monimutkaisempia, mutta voisivat olla tärkeässä roolissa markkinoiden hinnan tasauksen kannalta, sillä nämä tarjoavat yrityksille myös toisenlaisen mahdollisuuden sähkön kilpailutukseen ja hankintaan.

4.2.1 PPA-sopimukset

Ambec ja muut, (2023) kertovat, että pitkäaikaiset sähkönostosopimukset (PPA) tuottajien ja suurten energiakulutusta vaativien yritysten välillä ovat mahdollistaneet ensimmäiset uusiutuvien energialähteiden investoinnit jo monissa EU-maissa. On kuitenkin epätodennäköistä, että pelkästään näiden avulla päästäisiin tarvittaviin uusiutuvan energian investointeihin tarpeeksi nopeasti, jotta voitaisiin saavuttaa EU:n ja jäsenvaltioiden tasolla sovitut energiaturvallisuus- ja ilmastotavoitteet. Koska tulevaisuudessa hinnoissa ja määrissä on suuria epävarmuuksia, yritykset eivät pysty tarjoamaan tarvittavaa määrää PPA-sopimuksia. Lisäksi jos pitkän aikavälin hinnat osoittautuvat lyhytaikaisia tukkuhintoja korkeammiksi, yritykset voivat vaihtavaa tarjoajiin, jotka tarjoavat alhaisempia hintoja.

Mikäli lyhyen aikavälin sopimusten hinnat laskevat pitkän aikavälin sopimushintojen alapuolelle, PPA-sopimukseen sidottu teollisuustoimija menettäisi kilpailukykyänsä niihin kilpailijoihin nähden, jotka hankkivat sähkönsä pörssihintaan. Pitkien sopimuskausien ja korkeiden kustannusten takia energiayhtiöt ja suurta energiakulutusta vaativat teollisuudenalat kykenevät täyttämään vain pienen osan energiatarpeestaan PPA-sopimuksilla. Tästä syystä nämä sopimukset eivät kykene täyttämään niitä uusiutuvan energian investointeja, joita Euroopan unioni ja sen jäsenvaltiot suunnittelevat tulevaisuuteen. Tähän mennessä PPA-sopimuksia ovat hyödyntäneet valtio-omisteiset yritykset ja suurta energiakulutusta vaativat yritykset pieneen osuuteen sähkötarpeestaan, sekä suuret yritykset, joilla on vähäinen energiatarve kokoonsa nähden, kuten esimerkiksi IT-yritykset (Ambec ja muut, 2023).

Näistä vioista huolimatta PPA-sopimusten rooli on moniulotteinen. Ensinnäkin pitkän aikavälin sopimusten rajallisen tarjonnan vuoksi PPA-sopimukset ovat tarjonneet tähän mahdollisuuden yrityksille, jotka voivat allekirjoittaa uskottavasti sopimuksen osuuteen energiatarpeestansa. Lisäksi nämä sopimukset tarjoavat joustavuutta räätälöidä sopimuksia erityisiin energiatarpeisiin, mikäli yhtiöiden neuvotteluasemat eivät ole liian epäsymmetriset. PPA sopimukset myös tarjoavat todennäköisesti välineen sijoittaa pitkäaikaisesti olemassa oleviin uusiutuviin energialähteisiin (Ambec ja muut, 2023).

Ambec ja muut (2023) tulevat artikkelissaan siihen tulokseen, että he tukevat Euroopan komission aloitetta avata keskustelua sähkömarkkinoiden uudistamisesta. Sähkön hinnat ovat liian korkeita ja vaihtelevia Euroopan yrityksille ja kotitalouksille. Uuden sähkömarkkinajärjestelmän tulisi pyrkiä tarjoamaan markkinakestävyyttä tulevissa sähköntuotantojärjestelmän kriiseissä ja edistää hiilidioksidipäästöjen vähentämistä mahdollisimman alhaisilla kustannuksilla ja riskeillä kuluttajille sekä yrityksille. Kannattavien pitkäaikaisten sopimusten saavuttamista ei kannata tavoitella pelkillä PPA sopimuksilla. Pitkäaikaisten sopimusten suunnittelussa tulisi ottaa huomioon lyhyen aikavälin energiamarkkinoiden toiminnan vahvistaminen, sillä nämä ovat avainasemassa tuottavuuden ja joustavuuden edistämässä.

Energiakriisi antoi paljon aihetta tutkia, toimivatko sähkömarkkinat optimaalisella tavalla hinnan muodostumisen näkökulmasta. Lyhyen aikavälin energiamarkkinoilla olisi elintärkeää saada sähkön hintoja alemmas ja hintojen heilahteluja pienennettyä. Tätä pitää tukea erilaisilla mekanismeilla, jotka vakauttavat sähkömarkkinoita pitkällä sekä lyhyellä aikavälillä. Tähän voidaan vaikuttaa uudentyyppisillä sopimuksilla, mutta nämä sopimukset täytyy toteuttaa läpinäkyvästi ja niin, että ne eivät aiheuta kuluttajille ja yrityksille lisäkustannuksia tai lisää hiilidioksidipäästöjä. Pitkän aikavälin sopimukset voivat olla vakauttava mekanismi markkinoilla, mikä lisää markkinoiden ennustettavuutta. Tämä auttaa hintajoustoon, sillä hinnat ovat ennustettavampia ja tasaisempia.

4.2.2 CPPA-sopimukset

Suuret yritykset eivät hanki sähköään aina välikäden kautta, vaan tukeutuvat sähkön ostosopimukseen (PPA). Mendicino, L. Ja muut (2019) tutkivat tarkemmin Corporate Power Purchase Agreement (CPPA) eli yritysten välisiä sähkönostosopimuksia tutkielmassa *Corporate power purchase agreement: Formulation of the related levelized T cost of energy and its application to a real life case study*. Heidän mukaansa yrityksille ja teollisuudelle on muodostunut yhä tärkeämmäksi oman ympäristöjalanjäljen pienentäminen. Tämä siksi, että sillä voidaan parantaa tuotteiden ja palveluiden ”vihreää ja sosiaalista brändiä”, mikä taas voi lisätä myyntiä. Tähän voidaan käyttää monia välineitä, mutta CPPA sopimus on yhä useammin käytetty sopimustyyppi. CPPA on sopimus uusiutuvista lähteistä sähköä tuottavan yrityksen ja loppukäyttäjän välillä. CPPA on näin tehokas työkalu tuotteiden ja palveluiden ”vihreän brändin” saavuttamiseen. Päähuolenaiheena on kustannukset, sillä uusiutuva energia on edelleen kalliimpaa kuin fossiililla polttoaineilla tuotettu energia. Tämä johtaa korkeampiin hintoihin yritysten palveluissa ja tuotteissa, ja siksi on löydettävä tasapaino CPPA:n hinnan ja vihreän brändin saavuttamisen välillä.

PPA sopimukset ovat kehittäjille ja rahoitusosapuolille sopiva väline riskin vähentämiseen ja ne voivat merkittävästi auttaa uusiutuvan energian kehityksessä. Näillä sopimuksilla voidaan luoda uusiutuvan energian voimalaitoksia, jotka vaativat suuria alkuinvestointeja. Tällaisia ovat esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoimalaitokset. PPA sopimuksen laadinnassa täytyy määritellä tarkasti parametrit esimerkiksi minimi ja maksimi sähkön toimitukset, sanktiot, laiminlyönnit, vakuutukset ja monet muut muuttujat. Näiden merkitys nousee entisestään, kun yritykset laskevat sopimukseen ryhtymisen taloudellista kannattavuutta. PPA sopimukseen voi liittyä myös erilaisia hinnoittelurakenteita, kuten kiinteä hinta, indeksihinta tai täysin räätälöity hinta. CPPA sopimuksella myyty sähkö voi olla peräisin olemassa olevasta uusiutuvan energian laitoksesta tai uudesta voimalaitoksesta, joka on toteutettu hankkeena. Jälkimmäisessä tapauksessa hankkeen rahoituksen vuoksi CPPA sopimuksilla on tiukemmat vaatimukset. CPPA voidaan strukturoida useilla eri tavoilla, ja oikean valinta vaatii ymmärrystä yrityksen ensisijaisista ajureista, kuormaprofiilin analysointia, ja muiden yritystajajän kannalta tärkeiden seikkojen arviointia (Mendicino, L. Ja muut 2019).

Mendicino, L. Ja muut (2019) päättelivät tutkielmassaan, että viime vuosina aurinkopaneelien ja tuuliturbiinien laskeneiden kustannusten myötä kiinnostus CPPA sopimusten hyödyntämiseen uusiutuvan energialähteiden rahoituksen keräämiseen on noussut myös ilman syöttötariffeja. Nämä pitkäaikaiset sopimukset mahdollistavat uusien uusiutuvaan energiaan perustuvien voimalaitosten markkinaparieteettitoiminnan saavuttamisen. Kirjallisuuden mukaan CPPA sopimukset voidaan luokitella "Behind the meter, Sleeved and Virtual PPA" sopimuksiksi. Virtuaaliset CPPA -sopimukset ovat kaikkein yleisimpiä, sillä tällöin voimalaitos voi sijaita muuallakin, kuin yrityksen toimipisteessä, ja julkista sähköverkkoa voidaan käyttää sähkön vaihtoon. Nämä virtuaaliset CPPA -sopimukset tuovat kuitenkin mukanaan uusia kustannuksia, kuten energian epätasaisuudet, markkinaoperaattoreiden takuut, ruuhkamaksut, epätasapainoiset energianhallinta sekä käyttö- ja ylläpitokustannukset. Nämä kaikki on otettava huomioon, kun arvioidaan investoinnin kannattavuutta.

CPPA sopimukset voivat olla erinomainen vaihtoehto sähkön hankintaan yrityksille, jotka haluavat pitää erityistä huolta omasta vihreästä brändistään ja kehittää tätä. CPPA sopimuksen kustannukset nousevat usein korkeammiksi, kuin esimerkiksi normaalit markkinoilta hankitut sopimukset, mutta tämä kuitenkin toimii vaihtoehtona yrityksille. Yritys ei voi tukeutua täysin CPPA sopimuksen varaan, sillä uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä ei ole välttämättä aina saatavilla tuulen tai auringonpaisteen puutteen vuoksi. CPPA sopimukseen ryhtyessään yrityksen täytyy tehdä laajoja kustannusarvioita investoinnista ja arvioida mikä on mahdollisesti yritykselle luotava arvo tällä sopimuksella. CPPA sopimukset sopivat paremmin yrityksille, joilla on suuri sähkön kulutus ja sähkö on merkittävä kuluerä tuotannosta. Tällainen investointi ei ole järkevää yritykselle, jolla on pieni kulutus. CPPA sopimukset luovat markkinoille erinomaisen vaihtoehdon sähkön hankinnalle ja näiden sopimusten hyödyntäminen auttaa hiilijalanjäljen pienentämisessä. CPPA sopimukset ovat toimiva väline sähkön kysyntäjouaston lisäämisessä, koska ne luovat vakautta ja ennustettavuutta sähkön ostamisessa. Nämä sopimukset auttavat yrityksiä erityisesti riskienhallinnassa ennustettavuuden takia, jolloin yritykset voivat olla halukkaampia osallistumaan joustoon. Investointien lisääminen uusiutuvaan energiaan lisää tarjontaa. Tämä kasvava tuotantokapasiteetti tasoittaa sähkön hintojen vaihteluita ja laskee myös sähkön hintoja.

4.2.3 Sähkö palveluna

Toinen tapa yrityksille hankkia sähköä, on energiapalvelusopimuksen kautta. Sorrell, S. (2007) kertoo näiden sopimusten hyödyistä ja haitoista tutkimuksessaan *The economics of energy service contracts*. Nämä sopimukset voivat tarjota yritykselle kustannustehokkaan tavan voittaa energiatehokkuuden esteet. Energiapalvelusopimukset antavat asiakkaalle mahdollisuuden vähentää energian käyttökustannuksia, siirtää riskiä ja keskittyä ydinliiketoimintoihin. Energiapalvelumalli ei välttämättä sovi kaikille energiapalveluille ja energiaa käyttäville organisaatioille. Tämä luo haasteen liiketoimintastrategialle ja julkiselle hallinnolle, kun arvioidaan tilanteita, joissa energiapalvelusopimukset toimivat ja olosuhteita, joissa ne mahdollisesti onnistuvat. Energiapalvelusopimus on sähkön hankinnan ulkoistuksen muoto, joka

valitaan sellaisessa tilanteessa, kun energiapalvelusopimuksesta aiheutuneet tuotantokustannusten alentuminen on suurempaa kuin energiapalvelutarjoajan kanssa aiheutuneiden neuvottelujen ja suhteen transaktiokustannukset. Tuotantokustannukset määräytyvät energiasysteemin fyysisien ominaisuuden ja asiaankuuluvien organisaatiojärjestelyjen teknisen tehokkuuden perusteella. Näihin kuuluvat myös mittakaavaedut ja erikoistuminen. Transaktiokustannukset muodostuvat energiapalvelun monimutkaisuuden, urakoitsijan tekemien investointien, energiapalvelumarkkinoiden kilpailukyvyn ja asiaankuuluvien oikeudellisten, taloudellisten ja sääntelyllisten sääntöjen perusteella.

Sorrell, S. (2007) loi tutkimuksessaan mallin, jonka mukaan energiapalvelusopimuksilla voi olla tärkeä rooli vähähiilisen talouden luomisessa, mutta tukkumainen siirtyminen hyödykkeestä palveluntarjoamiseen ei ole toteuttamiskelpoinen tai toivottava. Tämä siksi, että sopimus saattaa olla sopiva vain osalle energiapalveluista ja vain osalle organisaatioista. Lisäksi se on erityisen sopimaton loppuenergiapalveluille pienillä maantieteellisillä alueilla ja prosessikohtaisille energian käytöille suurilla maantieteellisillä alueilla. Huolimatta kattavien suorituskykyä koskevien sopimusten saamasta huomiosta, voivat rajoitetut tarjontasopimukset usein olla soveltuvampia. Markkinoiden laajentuminen sopimusten kautta voisi olla mahdollista institutionaalisten uudistusten kautta, joilla laskettaisiin transaktiokustannuksia. Tällaisia toimenpiteitä olisivat mallisopimukset, standardoidut seuranta- ja vahvistusjärjestelmät sekä energiapalveluyritysten akkreditointijärjestelmä. Näiden mekanismien suhteellisesta tehokkuudesta on kuitenkin vähän näyttöä ja ne ovat usein kohdanneet skeptisyyttä itse energiapalveluyhtiöiden toimesta. Lisäksi näiden muutosten yhteenlaskettu vaikutus voi jäädä pieneksi, sillä institutionaaliset tekijät muodostavat vain osan sopimusten transaktiokustannuksista. Tästä syystä vaikka sopimusten poliittinen tuki voi olla sopivaa ja hyödyllistä, se voi muodostaa vain yhden osan laajemmasta strategiasta saavuttaa vähähiilinen talous.

Hamwi ja Lizarralde (2017) myös tutkivat energiapalvelusopimuksia tutkimuksessaan *A review of business models towards service-oriented electricity systems*. Myös heidän mukaansa siirtyminen energiapalvelusopimukseen sisältää monia esteitä ja haasteita. Perinteisesti energiayhtiöt ovat kiinnittäneet vain vähän huomiota energiapalveluliiketoimintamallin konseptiin. Tästä on seurannut, että liiketoimintamalleissa on ollut vain vähän kehitystä viime vuosina. Syynä tälle on se, että liiketoiminta keskittyy vain konkreettiseen hyödykkeeseen, jossa aineettoman arvon huomioiminen on vasta jälkikäteen ajateltu. Toinen syy on siinä, että tämän hyödykkeen tuotanto ja jakelu on suojeltu julkisella sääntelyllä, jossa kilpailu on hyvin rajoitettua. Tämän lisäksi yhtiöt saavat luotua arvoa vain myymällä sähköä vakiintuneilla markkinoilla. Innovaatioille ei siis ole kovaa tarvetta. Viime aikoina teknologia on kehittynyt ja energiamarkkinat ovat liberalisoituneet. Lisäksi nousevassa markkinassa sähkön kuluttajilla on useita vaihtoehtoja liittyen transaktiokustannuksiin ja tuottajien heterogeenisyyteen. Uusiutuvan energian nousu fossiilisen energian kustannuksella on ajanut markkinoiden uudet tulokkaat rakentamaan asemaansa uusien liiketoimintamallien avulla ja luomaan innovatiivisia palveluja.

Hamwi ja Lizarralde (2017) tutkimuksen tulosten mukaan ”BM” eli liiketoimintamallikonseptia on laajasti käytetty käsittelemään energiasiirtymää. Sen käyttöönotosta ja uusien toimijoiden rooleista ei ole selkeää viitekehystä. Tutkimus pyrkii kaventamaan kuilua kestävien liiketoimintamallien tarpeen ja uusien toimijoiden roolin epävarmuuden välillä nousevassa sähkömarkkinassa. Toinen tulos on, että Product Service System (PSS) eli tuote-palvelu systeemiä on käytetty laajasti käsittelemään kestävyden potentiaalia muilla sektoreilla. Energiasektorilla on samanaikaisesti nouseva ja hallitseva kehitys palvelullistamiseen. PSS on saanut hieman huomiota potentiaalinsa osalta rakenteellisesti kestävien energialiiketoimintamallien edistämässä.

Sähkön hankkiminen palveluna voi olla hyödyllinen muoto etenkin vähähiilisen talouden saavuttamisen kannalta, mutta siihen liittyy vielä paljon ongelmia. Ensinnäkin tällainen

malli sopii vain harvoille yrityksille. Tästä syystä sillä ei voida tehdä suurta muutosta ilmastonmuutoksen tai sähkömarkkinoiden toiminnan parantamiseksi. Yrityksissä joissa tämä malli voi toimia, ja joissa tällä mallilla voidaan saavuttaa aitoja kustannusleikkauksia, pitäisi lisätä palvelumallin käyttöä. Sähkön hankinta palveluna mahdollistaa monipuoliset sopimusehdot, jolloin yritykset voidaan motivoida osallistumaan joustoon. Kulutuksen seurannalla ja siihen liittyvällä analytiikalla yritykset saavat mahdollisimman paljon tietoa sähkön kulutuksesta ja sen ajankohdista. Tätä tietoa voidaan hyödyntää siten, että sähköä kulutetaan edulliseen aikaan, jolloin hintajousto lisääntyy. Tässä sopimusmuodossa on myös etuna se, että yritys voi keskittyä enemmän omaan ydinliiketoimintaansa, ja siirtää sähkön hankintaan liittyvää riskiä muualle.

5 Sähkön hintajousto

Tutkielmassa keskeisessä roolissa ollut sähkön kysynnän hintajousto vaikuttaa sähkömarkkinoiden sujuvuuteen olennaisesti. Energiakriisin tuomat muutokset, esimerkiksi pörssisidonnaisten sopimusten lisääntyminen, antavat syyn tutkia energiakriisin aikaista hintajoustoa. Tässä osiossa käydään läpi hintajouaston teoreettinen pohja ja esitellään tutkimuksia aiheesta.

5.1 Hintajouaston teoreettinen pohja

Andersson ja muut (1997) kertovat artikkelissaan *Price elasticity of demand* kysynnän hintajouaston historiasta ja teoriasta. Taloustieteen tunnetuimmaksi laiksi kutsuttu kysynnän laki tarkoittaa sitä, että mitä korkeampi hyödykkeen hinta on, sitä vähemmän kuluttajat sitä ostavat. Kuluttajakäyttäytymisen ennustamiseksi taloustieteilijät käyttävät tarkasti määriteltyjä tekniikoita, joilla arvioidaan kuluttajien herkkyyttä hinnan muutoksille. Nämä mikrotalouden perusteet muodostavat tekniikat on kehittänyt Brittiläinen taloustieteilijä Alfred Marshall (1842-1924) 1900-luvun alkupuolella. Yleisin käytetty mittari kuluttajien hintaherkkyydelle on kysynnän hintajousto. Yksinkertaistettuna se tarkoittaa kysynnän muutoksen suhdetta hinnan muutokselle. Vuosien varrella on tehty satoja tutkimuksia pitkän ja lyhyen aikavälin hintajoudesta. Hyödykkeet, jotka ovat olennaisempia jokapäiväisessä elämässä ja joille on vähemmän vaihtoehtoja, kuten peruselintarvikkeet, ovat yleensä alhaisempia joustavuuksiltaan. Hyödykkeet, joille on enemmän vaihtoehtoja, tai jotka eivät ole yhtä välttämättömiä, on korkeampi joustavuus. Tällaisia joustavia hyödykkeitä ovat esimerkiksi luksustuotteet, joiden ostoa voi helposti lykätä.

Friedel, A. (2014) esittelee tutkimuksessaan *Price Elasticity : Research on Magnitude and Determinants* hintajouaston konseptin ja teoreettista taustaa. Kaikista yleisin mittari hinnan vaikutuksesta kysyntään on hintajousto. Yleisesti joustolla mitataan yhden muuttujan suhteellisen muutoksen suhdetta toisen muuttujan suhteelliseen muutokseen. Tarkemmin sanottuna kysynnän hintajousto tarkoittaa prosentuaalista

muutosta määrässä suhteessa prosentuaaliseen muutokseen hinnassa (Simon ja Fassnacht 2009, s. 95; Diller 2008, s. 75; Monroe 2003, s. 32)

$$\text{Hintajousto} = \frac{\text{Prosentuaalinen muutos kysynnässä}}{\text{Prosentuaalinen muutos hinnassa}} \quad (1)$$

Friedel (2014) mukaan hintajoustop tulos on negatiivinen, sillä kysynnän muutoksella ja hinnalla on käänteinen suhde. Jos esimerkiksi hinta nousee 10% ja kysyntä laskee -30%, saadaan hintajoustop tulokseksi -3. Hintajousto on yleisesti negatiivinen, sillä kysynnän määrällinen muutos on päinvastainen hinnan muutoksen kanssa. Mikäli määrän prosentuaalinen muutos on korkeampi kuin hinnan prosentuaalinen muutos esimerkiksi, $\epsilon < -1$ or $|\epsilon| > 1$ ϵ = jousto, kutsutaan kysyntää joustavaksi. Kysyntää kutsutaan joustamattomaksi, jos prosentuaalinen määrällinen muutos on pienempi, kuin prosentuaalinen hinnan muutos eli $\epsilon > -1$ or $|\epsilon| < 1$ (Diller 2008, s. 75).

5.2 Sähkön kysynnän hintajoustop estimointi regressiomallin avulla

Sähkön reaaliaikainen hintajoustop sisältämä tieto antaa arvokasta tietoa kuluttajien kysynnän suhteesta hintahuippujen volatilitettiin. Mark G. Lijesenin (2007) empiirisessä tutkimuksessa *The real-time price elasticity of electricity* tarjotaan kvantifiointi kokonaishuippukysynnän ja spot-markkinahintojen väliselle suhteelle. Tutkimuksessa löydetään matala arvo reaaliaikaiselle hintajoustavuudelle, joka voi osittain selittyä sillä, että kaikki kuluttajat eivät seuraa spot-markkinahintaa. Kun tämä ilmiö korjataan, on hintajousto silti matala aktiivisiltakin spot-markkinan seuraajilta. Tutkimuksessa keskityttiin kysyntävasteeseen sähkömarkkinoilla ja määriteltiin reaaliaikainen joustavuus tunneittain.

Tutkimuksessa määriteltiin kokonaiskysynnän ja sen määrittävien tekijöiden välistä suhdetta käyttäen regressiomallia. Sähkön kysyntään vaikuttavat monet tekijät sähkön hinnan lisäksi. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi vuorokaudenaika, päivä, kuukausi ja sääolot. Esimerkiksi yöaikaan sähköä kulutetaan vähemmän ja kylminä kuukausina

sähköä kuluu enemmän esimerkiksi lämmitykseen. Tutkimuksessa kellonajat ja muut ajankohdat otettiin huomioon dummy-muuttujilla. Tutkimuksessa jokaista kellonaikaa ei otettu huomioon, vaan vain kellonajat, jolloin kulutus on suurimmillaan. Sama pätee tutkimuksessa myös viikonpäivä ja kuukausi dummyihin. Sääolot otettiin huomioon päivän maksimilämpötiloina ja valoisuus dummyina (Lijesen 2007).

Knaut ja Paulus (2016) pyrkivät tutkielmassaan *Hourly Price Elasticity Pattern of Electricity Demand in the German Day-ahead Market* osoittamaan, että kysyntä mukautuu hintaliikkeisiin lyhyellä aikavälillä. Tutkielmassa määritellään kysynnän joustavuuden aste päivää edeltävillä markkinoilla olettamalla, että kysyntäfunktio on erilainen vuorokaudenaikojen vaihdellessa. Sähkön kulutuksen hyöty olisi siis tällä perusteella erilainen koko päivän ajan ja vaihtelisi tunneittain. Näin voidaan saada kuva kysyntäreaktioiden vaikutuksesta koko järjestelmän turvallisuuteen. Kun tuulivoiman tuotantoa käytetään instrumenttimuuttujana ja sovelletaan 2SLS-menetelmää (two stage least squares estimation) eli kaksivaiheista pienimmän neliösumman menetelmää, saadaan kysynnän ja tarjonnan samanaikaisuuden ongelma poistettua.

Knaut ja Paulus (2016) kertovat, että uusiutuvan energian osuus on lisännyt osuuttaan viime vuosina merkittävästi sähkömarkkinoilla. Uusiutuvalla energialla sähköä ei tuoteta fossiililla polttoaineilla, joten niiden polttoainekustannukset ovat lähellä nollaa. Ainutlaatuinen piirre uusiutuvassa energiassa on sen stokastinen luonne, jota ohjaavat tuulen nopeudet ja auringon säteily. Kun tuulivoiman tuotantoa käytetään laskelmissa instrumenttina, otetaan huomioon epävakaata ajasta ja säästä riippuvainen tuulivoimantuotanto, mikä auttaa taltioimaan hintaliikkeet arvioinnissa. Tutkielmassa otetaan huomioon tarjontaa ja kysyntää siirtävät tekijät soveltamalla kaksivaiheista pienimmän neliösumman menetelmää tunneittaisiin tietoihin. Sähkön hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan perusteella, ja on siten endogeenisesti määritelty markkinassa. Tästä syystä voidaan käyttää estimoinnin ensimmäisessä vaiheessa tunneittaista tuulivoiman tuotantoa muuttujana, joka toimii sähkön hintojen välitysmuuttujana. Tuulivoiman tuotanto muuttujana täyttää kaksi ehtoa. Ensimmäinen ehto on:

$cov[w, p_{el}] \neq 0$ ja toinen ehto on $cov[x, \mu] = 0$, missä w on tuulivoiman tuotanto, p_{el} on sähkön hinta ja μ on virhetermi. Ensimmäinen ehto on tärkeä puolueettomien sähkön hinta-arvioiden tarjoamiseksi. Tässä kontekstissa valittu instrumentti w korreloi sähkön hinnan kanssa. Toisesta ehdosta saadaan selville, että w ja μ eivät korreloi keskenään. Koska tuulivoiman tuotantoa voidaan pitää stokastisena muuttujana etenkin päivän aikana, ja kuormitus noudattaa voimakkaita päivittäisiä kaavoja, voidaan molempia pitää riippumattomina. Koska nämä kaksi sääntöä täyttyy, voidaan ensimmäisen ja toisen vaiheen yhtälöt esittää. Kaavassa $y_{0,h}$ ja $y_{1,h}$ ovat tunneittaisia kertoimia, $w_{h,t}$ on tuulen tuotanto ja $e_{h,t}$ on virhe termi. Ensimmäinen vaihe on muodossa:

$$p^{el}_{h,t} = y_{0,h} + y_{1,h} \cdot w_{h,t} + e_{h,t} \quad (2)$$

Toisessa vaiheessa estimoidaan kysyntä $q^{el}_{h,t}$ ja käytetään ensimmäisessä vaiheessa saatua ennustettua arvoa p^{el} . Kaavassa $\beta_{0,h}, \beta_{1,h}, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ tarkoittavat kertoimia sähkön hinnalle ($p^{el}_{h,t}$), päivien lämmitysasteelle (HDD_t), maanantain vaikutukselle sähkön kysyntään (MON_t) ja perjantain vaikutukselle kysyntään (FRI_t). Kaavassa ($\mu_{h,t}$) on virhetermi. Toinen vaihe on muodossa:

$$q^{el}_{h,t} = \beta_{0,h} + \beta_{1,h} \cdot p^{el}_{h,t} + \beta_2 \cdot HDD_t + \beta_3 \cdot MON_t + \beta_4 \cdot FRI_t + \mu_{h,t} \quad (3)$$

Tutkimuksessa arvioitiin hintakertoimia $\beta_{1,h}$ ja kuvitteellisia kertoimia $\beta_{0,h}$ tunneittain h . Näin toimittiin, sillä tutkimuksessa oletettiin sähkön kulutuksen hyödyn olevan erilainen jokaiselle tunnille vuorokaudessa. Tässä $\beta_{0,h}$ tallentaa sähkönkulutuksesta saadun hyödyn muutoksen, joka on riippumaton hinnasta koko päivän ajan.

Näissä tutkimuksissa saatiin sähkön kysynnän hintajousto estimoitua regressiomallilla ottamalla huomioon myös kysyntään vaikuttavia tekijöitä, kuten kellonaika, viikonpäivä ja kuukausi. Kulutukseen vaikuttavat myös sääolot, kuten lämpötila. Lisäksi sähkön hintaan vaikuttaa suuresti tuulivoiman tuotanto, joten tämän aiheuttama vääristymä regressiosta voidaan poistaa instrumenttimuuttujamenetelmällä käyttäen kaksivaiheista

pienimmän neliösumman menetelmää. Kellonaika, viikonpäivä ja kuukausi voidaan ottaa huomioon regressioanalyysissä hyödyntäen dummy-muuttujaa. Hardy (1993) selittää dummy-muuttujien hyödyistä teoksessaan *Regression with dummy variables*. Hänen mukaansa riippumattomia laadullisia muuttujia huomioitaessa tarvitaan tekniikka, jolla mahdollistetaan tämän tiedon esittäminen kvantitatiivisessa muodossa ilman epärealististen mittausoletusten asettamista kategorisille muuttujille. Esimerkiksi jos ammattiluokat on koodattu arvoille 1-12, ei tällöin ole järkevää sisällyttää ammattia muuttujana, joka vaihtelee matalasta arvosta 1 korkeaan arvoon 12. Tämä siitä syystä, että tämä käsittely olettaa taustalla olevan mittakaavan, jossa on yhtä suuret välit. Dummy-muuttuja luodaan kategorialiselle muuttujalle, jolla on j-luokkaa joukolla, jossa on j-1 dummy-muuttujia, jotta voidaan tallentaa alkuperäisen erottelujoukon sisältämät jakautumistiedot. Tässä käytetään binääristä (0,1) koodausta ja kaikille vastaajille, jotka ovat jonkun tietyn luokan jäseniä, saavat arvon 1 ja vastaajat, jotka eivät ole tuossa luokassa, saavat arvon 0. Tätä tekniikkaa voidaan siis hyödyntää kellonaika, viikonpäivä ja kuukausi dummy-muuttujien luomiseen regressiomallia varten.

5.3 Empiiristen tutkimusten tuloksia

Sähkön kysynnän hintajoustop, estimoinnin tuloksiin vaikuttavat monet tekijät, mutta näiden tulosten vertailu on kuitenkin hyödyllistä yleiskuvan saamiseksi siitä, millaisia hintajoustoja sähkön kysynnällä yleisesti on. Mark G. Lijesen (2007) estimoiti sähkön kysynnän hintajoustop tunneittain vuoden 2003 sähkön kulutusdatalla Alankomaissa. Tutkimus toteutettiin regressiomallin avulla käyttäen aika ja sää dummy-muuttujia. Tutkimuksen kulutustiedot olivat vain arkipäiviltä ja kulutuksen huipputunneilta välillä klo 09.00-18.00. Tutkimuksen tulosten mukaan lineaarinen estimointi antaa tuloksen -0.0014 ja loglineaarinen estimointi antaa tuloksen -0.0043. Luvut ovat siis hyvin matalia, mikä viittaa siihen, että lyhyen aikavälin hintajousto on joustamatonta.

Knaut ja Paulus (2016) estimoivat myös sähkön kysynnän hintajoustop Saksan kysynnälle lyhyelle aikavälille regressiomallilla. Tutkimuksessaan he käyttivät estimointiin kaksivaiheista regressiota, ja tuulivoiman tuotantoa instrumentti muuttujana.

Tutkimuksen tuloksen mukaan sähkön kysynnän hintajousto oli noin -0.002 ja -0.006 välillä riippuen tutkittavasta tunnista. Tutkimuksen tulosten mukaan hintajousto oli matalimmillaan yöaikaan (22.00-06.00). Korkeimmillaan kysynnän hintajousto oli aamulla (06.00-08.00) ja iltapäivällä (16.00-20.00). Lim, K. M., Lim, S. Y., ja Yoo, S. H. (2014) tutkivat Korean palvelusektorin lyhyen ja pitkän aikavälin sähkön kysynnän hintajoustoa empiirisessä tutkimuksessaan *Short- and long-run elasticities of electricity demand in the Korean service sector*. Tutkimus toteutettiin datalla vuosilta 1970-2011. Lyhyen ja pitkän aikavälin sähkön kysynnän hinta- ja tulojoustot estimoitiin hyödyntäen yhteisintegrointi- ja virheenkorjausmallia. Tutkimuksen tulosten mukaan sähkön kysynnän hintajousto pitkälle aikavälille oli -1.002 ja lyhyelle aikavälille -0.421. Tästä voimme huomata, että sähkön kysynnän hintajousto on huomattavasti joustavampaa pitkällä aikavälillä kuin lyhyellä.

Hirth, Khanna ja Ruhnau (2022) kertovat lyhyen aikavälin sähkön kysynnän hintajoustosta Saksassa empiirisessä tutkimuksessaan *The (very) short-term price elasticity of German electricity demand*. Heidän mukaansa sähkö on erikoinen taloudellinen hyödyke siinä mielessä, että sitä on toimitettava juuri oikealla hetkellä. Tämä aiheuttaa sen, että tuntitasolla sähkön hinnat saattavat vaihdella suuresti. On esimerkiksi mahdollista, että tuntitasolla hinnat nousevat moninkertaiseksi keskiarvostaan, tai käyvät negatiivisen puolella. Tutkimuksen aiheena oli selvittää, kuinka hyvin kysyntä vastaa näihin hintamuutoksiin lyhyellä aikavälillä. Tähän kysymykseen vastataksaan he käyttävät kysyntäkäyrää arvioitaessa säästä riippuvaa tuulivoiman tuotantoa instrumenttimuuttujana. Tutkimuksen tulosten mukaan 1€/MWh nousu Saksan tukkumyynnihinnoissa aiheuttaa kokonaiskysynnässä 67-80MW laskun, käyttäen 2SLS/2SGAM- menetelmää eli 0,12%-0,14% logaritmisilla arvoilla.

Hirth, Khanna ja Ruhnau (2022) tutkimuksen tulosten mukaan sähkön lyhyen aikavälin kysynnän hintajoustop arvoit voivat vaikuttaa pieniltä, mutta todellisuudessa ne eivät ole sitä. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että tukkumyynnin sähkön hinnat vaihtelevat laajasti lyhyellä aikavälillä. Tämän asettamiseksi perspektiiviin, johdetaan

absoluuttisen hintavasteen odotettavissa olevaan tuulivoimasta aiheutuvien vaihtelujen vaihteluväliin tukkuhinnassa. Tutkimuksessa keskityttiin vain tuulivoiman aiheuttamaan vaihteluun, jotta voidaan heijastaa, että tutkimuksen arviointitekniikka kattaa hintamuutoksiin reagoinnin, joka voidaan selittää vain tuulienergialla. Tästä saatujen tulosten perusteella absoluuttinen kysyntävaste tuulienergian aiheuttamiin muutoksiin tukkuhinnassa on noin 2GWh. Tämä vastaa noin 2,6% osuutta huippukysynnästä. Tämä on korkea tulos, kun otetaan huomioon laajalle levinnyt oletus siitä, että sähkön kysyntä on hyvin joustamatonta lyhyellä aikavälillä. Näissä arvioissa täytyy ottaa huomioon vielä se seikka, että vain pienellä osalla Saksan sähkön kuluttajista on pörssihinnoiteltu sopimus. Tämä tarkoittaa sitä, että kuluttajat, joilla on kiinteästi hinnoiteltu sopimus, eivät reagoi hinnan muutoksiin ollenkaan. Todellisuudessa tukkuhintojen muutoksille alttiiden kuluttajien kysynnän prosentuaalinen muutos €/MWh kohti on esitettyjä arvioita korkeampi.

Hofmann ja Lindberg (2024) tutkivat hintajoustoa vuosien 2021 ja 2022 aikana kotitalouksista, joilla oli käytössä pörssihinnoiteltu sopimus, tutkimuksessaan *Residential demand response and dynamic electricity contracts with hourly prices: A study of Norwegian households during the 2021/22 energy crisis*. Heidän mukaansa hintajoustava kysyntä voi olla keskeisessä roolissa uusiutuvaan energiaan siirtymisen helpottamisessa tasapainottamalla uusiutuvan energian tuotantoa ja vähentämällä sähköverkko investointien tarvetta. Tämä tapahtuu vähentämällä kysyntää huippuhintojen aikana. Siirtyminen pörssihinnoiteltuihin sopimuksiin voi tutkijoiden mielestä olla ratkaisu tähän ongelmaan. Kuluttajilla on suuremmat kannustimet hintajoustoan, kun sähkön tunneittaiset hinnat vaikuttavat suoraan heidän sähkölaskuunsa. Pörssisähkösopimusten merkitystä korostaa myös EU, joka loi oikeuden kaikille sähkönkäyttäjille näihin sopimuksiin sisäisillä sähkömarkkinoilla. Ainoana ehtona tälle sopimukselle on, että kuluttajilla täytyy olla asennettuna älymittari, joka kykenee mittaamaan kulutuksen vähintään tunneittain.

Hofmannin ja Lindbergin (2024) tutkimus toteutettiin ekonometrisellä mallilla. Mallissa dummy-muuttujat ilmaisevat eri ajanjaksoja hintashokin jälkeen. Tämän ideana on tallentaa sähkön kysynnän muutokset verrattuna viitekauteen ennen hinnan merkittävää nousua. Tutkimuksen tulosten perusteella kotitaloudet reagoivat välittömästi hintashokin jälkeen, sillä pörssihinnoitellut sopimukset siirsivät hinnat suoraan asiakkaille. Energiasäästöt arvioitiin 11,4% suuruisiksi ja huipputuntien vähennykset 10,4%. Kysynnän hintajousto on vaikuttanut ilman lämpötila, oletettavasti sähkölämmitysten takia. Erittäin kylminä päivinä hintajousto oli rajoitettua, sillä sähkölämmityksiä ei ole voitu laittaa pois päältä. Lämpiminä päivinä kysyntää, jota voitiin vähentää oli vähemmän. Näiden seurauksena korkein kysynnän muutos, joka saavutettiin, oli 13% vähennys. Tämä tapahtui ulkoilman lämpötilan ollessa $-10-0^{\circ}\text{C}$. Nämä löydökset viittaavat siihen, että pörssihinnoitellut sopimukset kannustivat välittömään hintajousto kasvaneiden sähkölaskujen takia. Tällä on suora positiivinen vaikutus energiakriisin vaikutuksiin.

Keskimääräinen kotitalous ei tutkimuksen mukaan osoita lyhyen aikavälin hintajousto päivittäisellä tai tunneittaisella aikavälillä. Lisäksi kysynnän vähennykset huipputuntien aikana olivat pienempiä, kuin hiljaisten tuntien aikana. Niihin ei myöskään vaikuttanut päivän sisäiset hintavaihtelut. Tämä viittaisi siihen, että kuluttajat reagoivat vain yleiseen tietoon siitä, että hinnat ovat tavallista korkeampia. Kuluttajat eivät tutkimuksen perusteella reagoi varsinaiseen hintatasoon tai sen vaihteluihin. Tästä huolimatta useat kotitalousryhmät osoittivat hintajousto lyhyellä aikavälillä. Kotitaloudet jotka aktiivisesti seurasivat hintojen vaihtelua, osoittivat huipputuntien aikana korkeampia kulutusvähennyksiä verrattuna hiljaisiin tunteihin. Suurimmat vähennykset (15,7%) tapahtuivat huipputuntien aikana kotitalouksissa, joissa oli automatisoitu älylataus sähköautoille. Tämä älylatausjärjestelmä aiheutti merkittävän liikkeen kulutuksessa huipputunneilta hiljaisille tunneille (Hofmann ja Lindberg, 2024).

Sähkön kysynnän hintajousto lyhyelle aikavälille on empiiristen tutkimusten perusteella joustamatonta. Jouston suuruus riippuu suuresti tutkimusmenetelmästä, käytetystä datasta ja muista muuttujista. Tässä tutkielmassa olemme erityisen kiinnostuneita

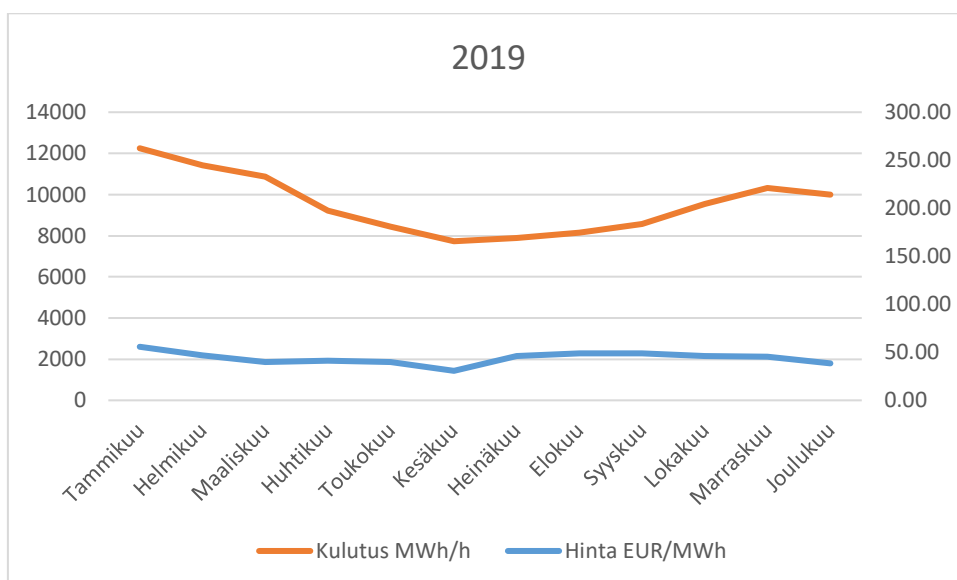
lyhyen aikavälin hintajoustosta regressiomenetelmällä. Empiiristen tutkimusten perusteella tämän estimoinnin tulokset liikkuvat välillä -0.001 ja -0.006 riippuen käytetyistä muuttujista ja esimerkiksi kellonajasta. Näistä tuloksista voimme kuitenkin päätellä, että sähkön kysyntä on kääntäen verrannollinen hinnan suhteen, mutta joustamatonta, eli sähkön kysyntä ei muutu suuresti hinnan muuttuessa.

Kotitalouksien hintajousto on vaikuttaa merkittävästi tietämys sähkön yleisistä hinnoista ja motivaatio seurata näitä. Kuluttajat yleisesti seuraavat sähkön hintoja melko heikosti. Kotitaloudet, jotka aktiivisesti seuraavat sähkömarkkinoiden hintojen heilahteluja, saavat säästöjä sähkölaskuunsa. Erityisesti kuluttajat, jotka hyödyntävät älyteknologioita, saavuttavat suurimpia säästöjä käyttämällä sähköä enemmän edullisten tuntien aikana. Kuluttajien tietouden lisäämisellä ja älyteknologioita hyödyntämällä olisi sähkömarkkinoilla saavutettavissa enemmän hintajoustoa. Hintajouston lisääminen lisäisi säästöjä kuluttajille ja tasoittaisi markkinoita. Ymmärrettävästi osalle kuluttajista hintojen aktiivinen seuraaminen voi tuntua raskaalta, sillä saavutettavat säästöt jäävät pieniksi. Älyteknologioiden avulla tämä taakka saataisiin poistettua, sillä kuluttajan ei itse tarvitsisi puuttua asiaan suuresti.

6 Empiirinen tutkimus

Energiakriisi on aiheuttanut merkittäviä muutoksia Suomen sähkömarkkinoilla, kuten pörssisidonnaisten sopimusten lisääntyminen sekä laaja media huomio sähkön hinnoista ja hintojen kehityksestä. Näillä seikoilla on merkittävä vaikutus myös sähkön kysynnän hintajousto, sillä kuluttajat ja yritykset ovat tietoisempia sähkön hinnoista ja sen myötä kulutuksestaan. Tässä osiossa esitellään tutkimusdataa sähkömarkkinoista, estimoidaan sähkön kysynnän hintajousto Suomessa vuosille 2022-2023 ja esitellään estimoinnin tulokset.

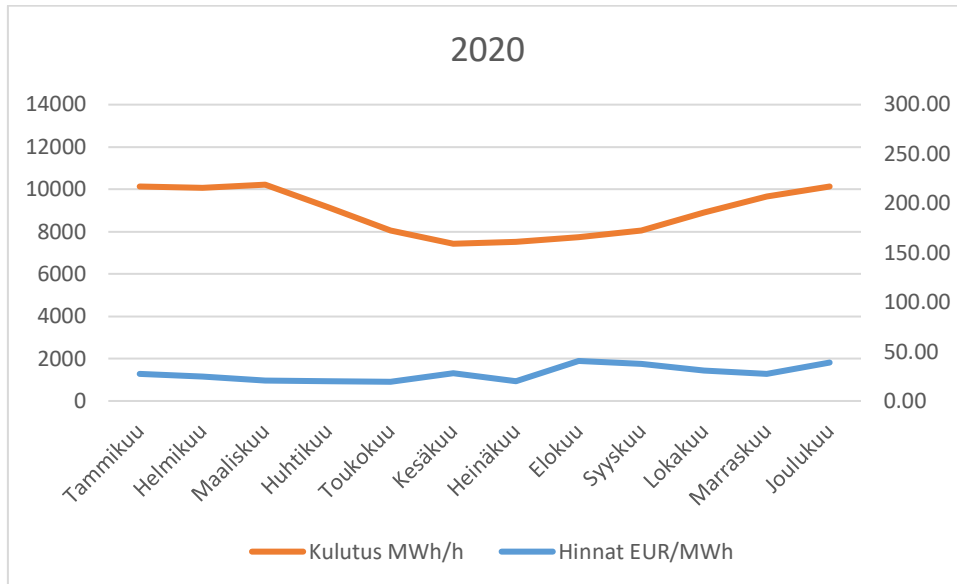
6.1 Sähkön kulutuksen ja hinnan dataa



Kuvio 1 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2019 (NordpoolGroup, 2023)

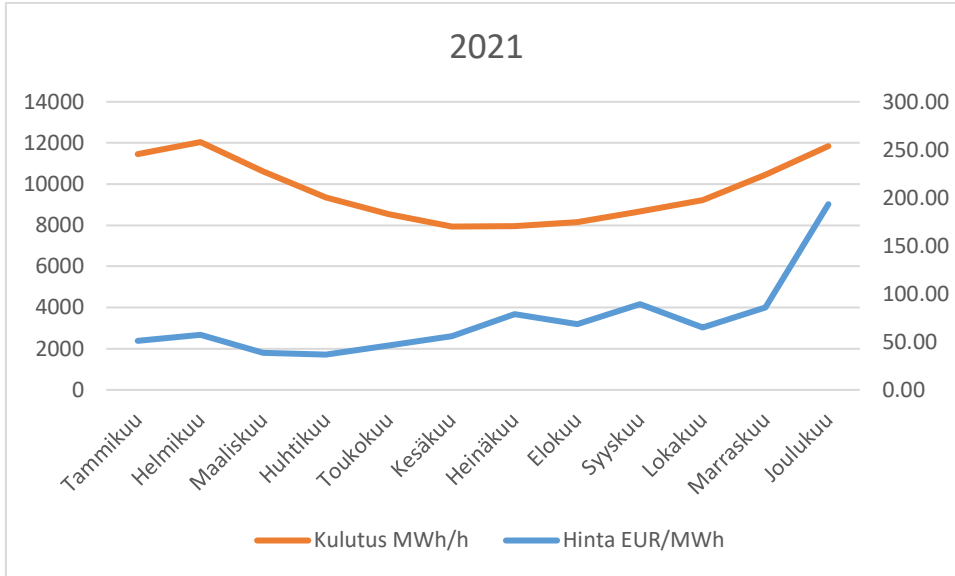
Vuoden 2019 kulutus- ja hintakaaviossa vasemmalla puolella Y-akselia näkyy Suomen kokonaiskulutusarvot keskimäärin päivässä (MWh/h) ja oikealla puolella kuukausittaiset keskihinnan arvot (EUR/MWh). Kaaviosta huomaamme, että sähkön kulutus laskee selkeästi kesällä ja nousee talvella. Tämä on luonnollista, sillä esimerkiksi lämmityskustannukset kasvavat talvella. Hinnoista voimme nähdä, että ne ovat pysyneet keskimäärin melko samalla tasolla koko vuoden ja alin hinta oli kesäkuussa 30,71

(EUR/MWh) ja korkein tammikuussa 55,78 (EUR/MWh). Yleisesti sähkön hinnat ovat alhaisempia kesällä ja korkeampia talvella. Koko vuoden keskiarvo oli 44,04 (EUR/MWh).



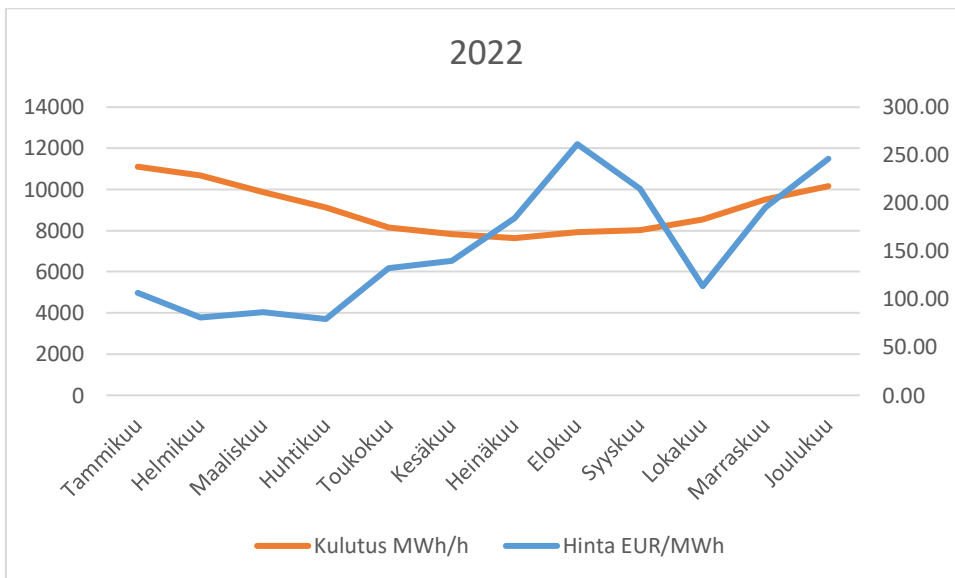
Kuvio 2 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2020 (NordpoolGroup, 2023)

Vuoden 2020 kulutus- ja hintakaaviossa vasemmalla puolella Y-akselia näkyy Suomen kokonaiskulutusarvot keskimäärin päivässä (MWh/h) ja oikealla puolella kuukausittaiset keskihinnan arvot (EUR/MWh). Vuonna 2020 kulutus noudatti hyvin samanlaista kaavaa kuin vuonna 2019, tosin hinnat olivat hieman maltillisemmat. Vuoden matalin sähkön hinta oli toukokuussa 19,46 (EUR/MWh) ja korkein hinta oli elokuussa 40,55 (EUR/MWh), mikä on hieman normaalista poikkeavaa, sillä kesäkuukausina sähkön hinnat ovat usein alhaisemmat kuin talvella. Sähkön hintaan vaikuttaa monet tekijät, joten lämpötilat eivät yksin eroja selitä. Koko vuoden keskiarvo oli 28,02 (EUR/MWh).



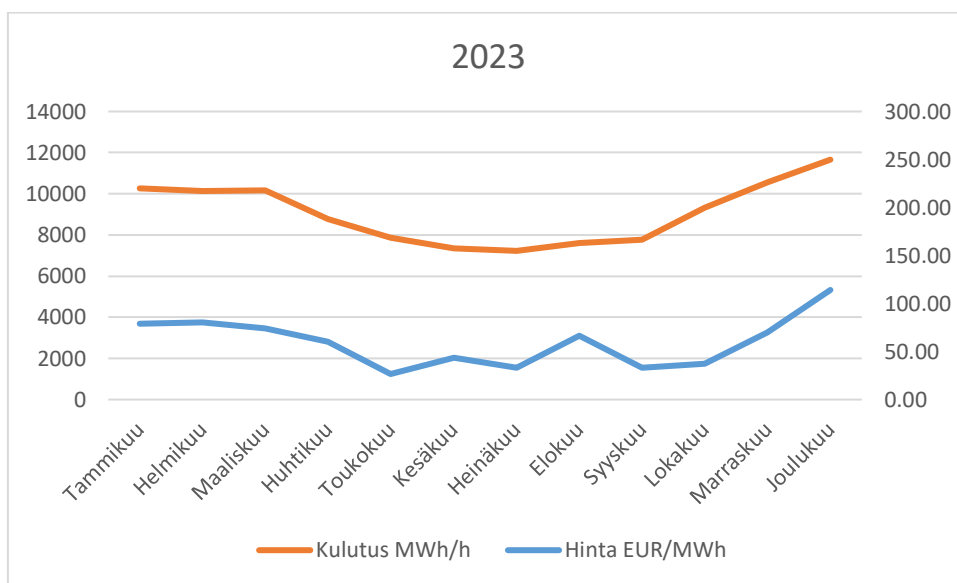
Kuvio 3 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2021 (NordpoolGroup, 2023)

Vuoden 2021 kulutus- ja hintakaaviossa vasemmalla puolella Y-akselia näkyy Suomen kokonaiskulutusarvot keskimäärin päivässä (MWh/h) ja oikealla puolella kuukausittaiset keskihinnan arvot (EUR/MWh). Vuoden 2021 kulutus noudatti samaa kaavaa, kuin aiemmatkin vuodet. Sähkön hinnat olivat kuitenkin vuonna 2021 huomattavasti korkeammat, sillä koko vuoden keskiarvo oli 72,34 (EUR/MWh). Sähkön hintatason osalta vuoden alhaisin kuukausi oli huhtikuu 36,76 (EUR/MWh) ja korkein kuukausi oli joulukuu hinnalla 193,38 (EUR/MWh).



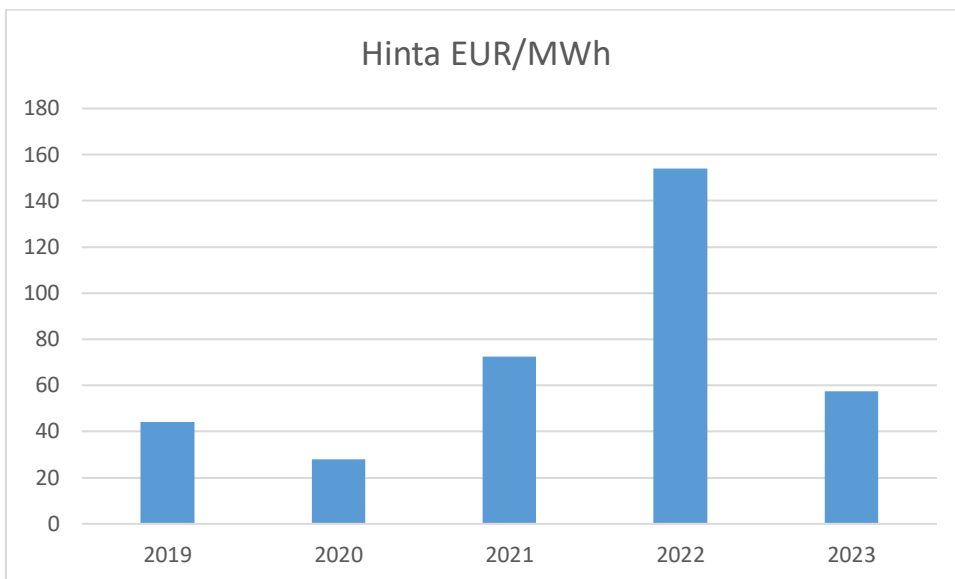
Kuvio 4 Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2022 (NordpoolGroup, 2023)

Vuoden 2022 kulutus- ja hintakaaviossa vasemmalla puolella Y-akselia näkyy Suomen kokonaiskulutusarvot keskimäärin päivässä (MWh/h) ja oikealla puolella kuukausittaiset keskihinnan arvot (EUR/MWh). Vuonna 2022 alkanut energiakriisi ei näkynyt kuukausittaisessa kokonaiskulutuksessa erityisemmin, sillä kokonaiskulutuksen arvot noudattavat hyvin samanlaista kaavaa kuin aiemmatkin vuodet. Energiakriisi näkyy kuitenkin vuoden 2022 sähkön hinnoissa selkeästi, sillä vuoden alhaisin kuukausi oli huhtikuu 79,36 (EUR/MWh) ja korkein kuukausi oli elokuu 261,49 (EUR/MWh). Koko vuoden keskiarvo hinnassa oli 154,04 (EUR/MWh). Energiakriisin korkeat sähkön hinnat eivät ole siis vaikuttaneet lähes lainkaan vuoden kokonaiskulutukseen. Sähkö on välttämättömyyshyödyke, ja sen vähentäminen suuresti pitkällä aikavälillä ei ole mahdollista.

**Kuvio 5** Sähkön kulutus- ja hintakaavio 2023 (NordpoolGroup, 2023)

Vuoden 2023 kulutus- ja hintakaaviossa vasemmalla puolella Y-akselia näkyy Suomen kokonaiskulutusarvot keskimäärin päivässä (MWh/h) ja oikealla puolella kuukausittaiset keskihinnan arvot (EUR/MWh). Tutkielmaan käytettävissä olevasta aineistosta vuoden 2023 data päättyy 15.12.2023, eli joulukuulta ei ole täyttä datamäärää. Vuonna 2023

sähkön hinnat olivat jo selkeästi maltillisemmat vuoteen 2022 verrattuna, sillä koko vuoden keskiarvo oli 57,35 (EUR/MWh). Sähkön hinnan osalta vuoden korkein kuukausi oli joulukuu hinnalla 114,14 (EUR/MWh), mutta tulokseen vaikuttaa se, että tutkimuksessa oli vajavainen määrä dataa. Viimeisestä kuukaudesta on siis dataa tutkielmassa vain 15 päivää. Vuoden 2023 matalin keskihinnan arvo oli toukokuussa, 26,61 (EUR/MWh).



Kuvio 6 Vuotuiset keskihinnat vuosilta 2019-2023 (NordpoolGroup, 2023)

Yllä olevasta kaaviosta näemme vielä hintavertailun vuosittain ja huomaamme, että vuosi 2022 oli yli kaksi kertaa kalliimpi, kuin vertailudatan toiseksi korkein vuosi. Energiakriisin vaikutukset sähkön hintoihin on siis nähtävissä vuonna 2022 hyvin konkreettisesti.

6.2 Regressiomalli

Tässä tutkielmassa tutkimme sähkön kysynnän hintajoustoa tunnittaisella datalla vuosilta 2022 ja 2023. Tämä sen takia, että haluamme tarkastella nimenomaan energiakriisin aikaista hintajoustoa. Tutkielmassa hintajousto estimoitiin aiemmin esitettyjen regressiomallien yhdistelmällä. Estimoinnissa käytettiin tuntidataa Suomen sähkön kokonaiskulutuksesta, sähkön hinnasta (P_t) eli sähkön hinta tunnilla t ,

tuulivoiman tuotannosta (TP_t), ilman lämpötilan keskiarvoja (T_t), sademäärän keskiarvoja (R_t) ja keskituulen nopeuden keskiarvoa (W_t). Sähkön kokonaiskulutuksen ja hinnan data saatiin tutkielmaa varten Nodpoolgroupilta (2023). Tuulivoiman tuotanto on Fingridin avoimesta data-aineistosta (2024) ja säämuuttujat on hankittu Ilmatieteenlaitokselta (2024), ja näissä sijainniksi on valittu Helsinki. Dummy-muuttujina olivat kellonaika-dummy ($D_{h,i,t}$), viikonpäivä-dummy ($D_{w,j,t}$) ja kuukausi-dummy ($D_{m,k,t}$). Kellonaika-dummin referenssimuuttuja oli tunti 24, viikonpäivä-dummin referenssimuuttuja oli sunnuntai ja kuukausi-dummin referenssimuuttuja oli joulukuu. Tuulivoimatuotanto toimi estimoinnissa instrumenttimuuttujana, sillä tuulivoiman tuotanto riippuu sekä tuulesta että asennetusta tuulivoimakapasiteetista. Asennettu kapasiteetti ei voi reagoida hintaan tai kysyntään lyhyellä aikavälillä. Ensimmäisessä vaiheessa hinnat ja tuulivoiman tuotanto muutettiin logaritmiseen muotoon, ja regressioon otettiin mukaan myös muut muuttujat. Kaavassa (u_t) on virhetermi. Ensimmäisen vaiheen kaava on esiteltyä alapuolella.

$$\log(P_t) = \beta_0 + \beta_1 \log(TP_t) + \beta_2 T_t + \beta_3 R_t + \beta_4 W_t + \sum_{i=1}^{23} y_i D_{h,i,t} + \sum_{j=1}^6 \delta_j D_{w,j,t} + \sum_{k=1}^{11} \epsilon_k D_{m,k,t} + u_t \quad (4)$$

Ensimmäisen vaiheen tulosten avulla laskettiin ennustettu hinta (\hat{P}_t) jokaiselle tunnille. Toisessa vaiheessa käytettiin logaritmista kulutusta (C_t), ennustettuja hintoja ja muita muuttujia ilman tuulivoiman tuotantoa, hintajoustop estimoimiseen alla olevalla kaavalla. Kaavassa (ϵ_t) on virhetermi.

$$\log(C_t) = \alpha_0 + \alpha_1 \log(\hat{P}_t) + \alpha_2 T_t + \alpha_3 R_t + \alpha_4 W_t + \sum_{i=1}^{23} \theta_i D_{h,i,t} + \sum_{j=1}^6 \xi_j D_{w,j,t} + \sum_{k=1}^{11} \phi_k D_{m,k,t} + \epsilon_t \quad (5)$$

6.3 Hintajousto Suomessa vuosina 2022 ja 2023

Tässä osiossa esitellään vuosien 2022 ja 2023 sähkön kysynnän hintajoustop tulokset ja pohditaan näiden syitä sekä vaikutuksia sähkömarkkinoihin. Sähkön kysynnän

hintajouaston muutosten estimointi on tärkeää, jotta voidaan luoda kuva siitä, kuinka paljon hintavaihteluihin ja markkinoiden ennustettavuuteen voidaan vaikuttaa tältä osin.

Taulukko 1 Keskeisten muuttujien arvot vuosi 2022 (Nordpoolgroup (2023), Fingrid Avoin Data (2024), Ilmatieteen laitos (2024))

2022	Kulutus	Hinta	Tuulituotanto	Ilman lämpötila keskiarvo [°C]
Keskiarvo	9042,10	154,04	6,78	7,30
Keskikihajonta	1346,86	132,38	0,99	8,37
Min	6203,00	-2,08	1,39	-17,20
Max	13767,00	861,14	8,35	29,00

Yllä olevasta taulukosta näemme tunnittaisen kulutuksen, hinnan, tuulituotannon ja ilman lämpötilan keskiarvojen keskeisiä arvoja vuodelle 2022. Kulutuksen keskiarvo tunneittain oli 9042 (MWh/h) ja hinta 154,04 (EUR/MWh). Tämä hinta on erittäin korkea ja sen aiheutti suurilta osin energiakriisi.

Taulukko 2 Keskeisten muuttujien arvot vuosi 2023 (Nordpoolgroup (2023), Fingrid Avoin Data (2024), Ilmatieteen laitos (2024))

2023	Kulutus	Hinta	Tuulituotanto	Ilman lämpötila keskiarvo [°C]
Keskiarvo	8883,62	57,35	6,95	7,67
Keskiahajonta	1505,72	57,14	1,08	8,67
Min	5273,00	-500,00	0,74	-12,90
Max	13209,00	777,18	8,62	27,70

Yllä olevassa taulukossa on vuoden 2023 osalta samat tunnusluvut, kuin vuodelta 2022. Vuoden 2023 keskimääräinen tunnin hinta 57,35 (EUR/MWh), oli huomattavasti alhaisempi vuoteen 2022 verrattuna. Maksimi sähkön hinnat ovat kuitenkin melko lähellä toisiaan. Molempina vuosina keskimääräinen tuulituotanto on ollut saman suuruista. Lisäksi keskimääräiset lämpötilat ovat hyvin lähellä toisiaan. Erityisen

mielenkiintoinen huomio on, että vuonna 2022 kulutus on ollut suurempaa, vaikka hinnat ovat olleet lähes kolminkertaiset verrattuna vuoteen 2023 verrattuna. Tähän vaikuttavat esimerkiksi talven lämpötilat. Kylmillä sääoloilla kulutusta on vaikeaa vähentää pitkällä aikavälillä, sillä asuntoja täytyy lämmittää.

Taulukko 3 Vuoden 2022 hintajouaston estimoinnin tulokset

	<i>coeff</i>	<i>t stat</i>
Intercept	9,81149801	1561,8627
Ennustettu hinta	-0,0035086	-3,3582817
Maanantai	0,06647895	35,0863926
Tiistai	0,0707464	37,2973136
Keskiviikko	0,06883884	36,8475775
Torstai	0,06798506	36,8047954
Perjantai	0,07125657	38,8156904
Lauantai	0,01651647	9,40844953
Tunti 1	-0,03595	-10,983895
Tunti 2	-0,0554571	-16,855581
Tunti 3	-0,0648817	-19,634551
Tunti 4	-0,0621891	-18,794117
Tunti 5	-0,0408222	-12,41977
Tunti 6	0,017491	5,3572336
Tunti 7	0,05602264	16,9381844
Tunti 8	0,08294211	24,4607017
Tunti 9	0,09554325	27,6285846
Tunti 10	0,1021344	29,237146
Tunti 11	0,10926836	30,9618976
Tunti 12	0,11122354	31,441702
Tunti 13	0,10563926	29,9765863
Tunti 14	0,09855479	28,2034732
Tunti 15	0,09593763	27,6030761
Tunti 16	0,10019115	28,8483633
Tunti 17	0,10596729	30,3434545
Tunti 18	0,1081389	30,6911718
Tunti 19	0,11148232	31,5762481
Tunti 20	0,09689624	27,8681649
Tunti 21	0,06027719	17,7804182
Tunti 22	0,06736473	20,0128634
Tunti 23	0,04455916	13,4727091

Taulukko 3 Vuoden 2022 hintajouaston estimoinnin tulokset

Tammikuu	0,07814065	32,8333348
Helmikuu	0,04671542	18,351256
Maaliskuu	-0,0156845	-6,2921853
Huhtikuu	-0,0668933	-26,845397
Toukokuu	-0,1326643	-48,119923
Kesäkuu	-0,1155691	-33,130566
Heinäkuu	-0,1216382	-32,493846
Elokuu	-0,0792633	-20,712383
Syyskuu	-0,1348465	-45,344638
Lokakuu	-0,0934712	-34,64726
Marraskuu	-0,030675	-12,761648
Ilman lämpötila keskiarvo [°C]	-0,0083431	-52,941387
Sademäärä keskiarvo [mm]	-0,0159276	-1,7938952
Keskituulen nopeus keskiarvo [m/s]	0,00241992	7,33254699
Adjusted R Square	0,91093264	
Observations	8760	

Vuoden 2022 tuloksista nähdään, että mallin selitysaste (Adjusted R Square) on noin 0,911. Tämä tarkoittaa sitä, että malli selittää noin 91% sähkön kysynnän vaihteluista. Malli on siis hyvin sovitettu dataan, ja käytetyt selittävät muuttujat ovat merkityksellisiä. Havaintojen lukumäärä mallissa oli 8760. Sähkön kysynnän hintajousto oli vuonna 2022 ollut noin -0,0035. Tämä tarkoittaa sitä, että kun sähkön ennustettu hinta nousi 1% laski sähkön kulutus 0,0035%. Sähkön kysyntä oli siis kääntäen verrannollinen hintaan eli sähkön hinnan noustessa kysyntä laski. Lisäksi sähkön kysyntä on hyvin joustamatonta hinnan muutoksiin. Viikonpäivä dummy-muuttujat olivat kaikki pieniä ja positiivisia, mikä tarkoittaa sitä, että näillä oli vaikutusta sähkön kysyntään hieman. Tässä sunnuntai on referenssipäivä. Voimme myös huomata, että lauantapäivällä oli pienempi vaikutus kuin arkipäivillä, eli arkipäivillä on voimakkaampi vaikutus sähkön kulutukseen kuin lauantailta verrattuna referenssipäivään. Kellonajoissa tuntia 24 käytettiin referenssituntina ja dummy-muuttujista huomataan, että tunnit 1-5 ovat negatiivisia, mikä viittaisi siihen, että näiden tuntien kohdalla kysyntä laskee verrattuna

referenssituntiin ja päinvastaisesti taas nousee muiden tuntien kohdalla. Tuntien kertoimet olivat suurimmillaan klo 9 ja 20 välillä, eli näinä tunteina sähkön kulutus oli aktiivisimmillaan. Kuukausi dummy-muuttujissa joulukuu on referenssikuukausi. Tammikuu ja helmikuu ovat arvoiltaan positiivisia ja loput negatiivisia. Positiivisten kertoimien kohdalla kysyntä on siis ollut suurempaa verrattuna referenssikuukauteen. Ilman lämpötilan keskiarvon kertoimen huomaamme olevan negatiivinen, mikä viittaisi siihen, että kysyntä on noussut, kun lämpötila on laskenut. Tämä käy järkeen, sillä ilmojen viiletessä sähköä kulutetaan enemmän esimerkiksi lämmitykseen. Sademäärän keskiarvon kerroin on myös negatiivinen, mutta tämä ei ole tilastollisesti niin merkittävää. Keskituulen nopeuden keskiarvon kerroin on positiivinen, mikä tarkoittaa sitä, että tuulen nopeuden kasvaessa myös kulutus kasvaa.

Taulukko 4 Vuoden 2023 hintajouaston estimoinnin tulokset

	<i>coeff</i>	<i>t stat</i>
Intercept	9,94764242	492,658932
Ennustettu hinta	-0,0135025	-5,9188243
Ilman lämpötila keskiarvo [°C]	-0,0123786	-30,328216
Sademäärä keskiarvo [mm]	-0,0011745	-0,0943318
Keskituulen nopeus keskiarvo [m/s]	0,00444557	4,88056251
Maanantai	0,0864227	16,6587028
Tiistai	0,09319926	17,8167713
Keskiviikko	0,09467154	18,5164279
Torstai	0,09443456	17,8590361
Perjantai	0,09302061	17,9113803
Lauantai	0,03638686	7,31583085

Taulukko 4 Vuoden 2023 hintajoustop estimoinnin tulokset

Tunti 1	-0,0357005	-3,9844729
Tunti 2	-0,0550788	-6,1444875
Tunti 3	-0,0985325	-10,939721
Tunti 4	-0,0709603	-7,8658312
Tunti 5	-0,0511369	-5,6848128
Tunti 6	0,00636704	0,7103552
Tunti 7	0,04913649	5,45277176
Tunti 8	0,0796112	8,68018879
Tunti 9	0,10003347	10,7508207
Tunti 10	0,11191516	12,0053007
Tunti 11	0,11886428	12,7066564
Tunti 12	0,11923263	12,794903
Tunti 13	0,1143674	12,3128614
Tunti 14	0,10662251	11,5075114
Tunti 15	0,10533716	11,3926632
Tunti 16	0,11124304	11,9856291
Tunti 17	0,1184845	12,6809616
Tunti 18	0,12342449	13,1125207
Tunti 19	0,12532964	13,3887557
Tunti 20	0,11191825	11,9866206
Tunti 21	0,07480873	8,17179529
Tunti 22	0,07678016	8,46354297
Tunti 23	0,04806751	5,34721815
Tammikuu	-0,0750485	-8,0508451
Helmikuu	-0,0893821	-9,530474
Maaliskuu	-0,093744	-10,060592
Huhtikuu	-0,1437782	-14,210954
Toukokuu	-0,2247246	-20,128748
Kesäkuu	-0,2030403	-16,655261
Heinäkuu	-0,2139565	-17,478267
Elokuu	-0,1529468	-12,216981
Syyskuu	-0,173841	-14,466018
Lokakuu	-0,1209965	-11,648211
Marraskuu	-0,0313786	-3,3171632
Adjusted R Square	0,66239083	
Observations	8232	

Vuonna 2023 selitysaste oli hieman matalampi kuin vuonna 2022 eli noin 66%. Malli soveltuu silti melko hyvin dataan, ja käytetyt selittävät muuttujat ovat merkityksellisiä. Havaintojen lukumäärä vuonna 2023 oli 8232. Pienempi havaintojen määrä johtuu siitä, että vuoden 2023 havainnot päättyivät päivämäärään 9.12.2023. Estimoitu hintajousto tuolle vuodelle oli noin -0,0135, tämä tarkoittaa sitä, että ennustetun hinnan noustessa 1% laskee kysyntä 0,0135%. Tässäkin kysynnän hintajousto on hyvin matala, mikä viittaa siihen, että sähkön kysynnän hintajousto on hyvin joustamatonta. Ilmanlämpötilan kerroin oli myös vuonna 2023 negatiivinen, joten voimme sanoa, että ilman lämpötilalla ja sähkön kulutuksella on negatiivinen yhteys, eli ilmojen viilentyessä sähkön kulutus nousee. Lisäksi tässäkin mallissa sademäärän keskiarvon kerroin on myös negatiivinen, mutta tämä ei ole tilastollisesti niin merkittävää. Keskituulen nopeuden keskiarvon kerroin on positiivinen, mikä tarkoittaa sitä, että tuulen nopeudella ja sähkön kulutuksella on positiivinen korrelaatio. Viikonpäivä-dummyt olivat kaikki positiivisia ja pieniä, ja voimme huomata, että tässäkin estimoinnissa lauantapäivän kerroin on pienempi kuin arkipäivien kertoimet. Tämä johtuu siis siitä, että viikonpäivinä kulutus on suurempaa kuin viikonloppuisin. Tunti-dummyistä 1-5 tuntien kertoimet olivat negatiivisia, eli kulutus oli näihin kellonaikoihin pienempää verrattuna referenssituntiin. Toisina tunteina kertoimet olivat positiivisia ja aktiivisimmat tunnit olivat klo 9 ja 20 välillä. Vuoden 2022 tuloksiin poiketen vuonna 2023 kaikki kuukaudet ovat negatiivisia, mutta myös pieniä.

Vuosien 2022 ja 2023 hintajoustop regressiomallien tuloksista nähdään, että vuosilla oli paljon yhteistä ja joitakin eroja kulutuksen ja muiden muuttujien suhteen. Vuoden 2023 selitysaste oli hieman matalampi, mutta voimme pitää tätä silti vertailukelpoisena vuoteen 2022 verrattuna. Hintajousto oli molempina vuosina hyvin matala, eli kysyntä oli joustamatonta hinnan suhteen. Voimme kuitenkin huomata, että vuonna 2023 hintajousto oli melkein neljä kertaa korkeampi kuin vuonna 2022. Energiakriisi alkoi vuoden 2022 alussa ja tämän jälkeen pörssihintaiset sopimukset alkoivat yleistymään kuluttajien keskuudessa. Sähkön kysynnän hintajoustop lisääntyminen olisi siis linjassa pörssisähkösopimusten yleistymisen kanssa, sillä kuluttajat, joilla on pörssihinnoiteltu

sopimus, seuraavat sähkön hintoja tiiviimmin ja reagoivat kulutuksella sen muutoksiin. Toinen muutos, mikä energiakriisissä on saattanut lisätä sähkön kysynnän hintajoustoa on se, että kuluttajat ja yritykset tulivat entistä tietoisemmiksi sähkön hinnoista, sillä vuonna 2022 ja 2023 sähkön hinnat olivat mediassa paljon näkyvillä. Lisääntynyt mediahuomio, ja tietoisuus myös siitä, mistä sähkön hintoja voi seurata, voivat lisätä sähkön kysynnän hintajoustoa varsinkin niillä, joilla on pörssisidonnainen sopimus.

7 Johtopäätökset

Tässä tutkielmassa tutkittiin sähkön kysynnän hintajoustoa ja sähkömarkkinoiden kilpailullisuutta Suomessa energiakriisin aikana. Aihe on tärkeä, sillä 2022 alkanut energiakriisi aiheutti sähkön hinnoissa suuria vaihteluja ja vaikutti taloudellisesti kaikkiin kuluttajiin Suomessa. Sähkö on hyödykkeenä hyvin erilainen, sillä kysynnän ja tarjonnan täytyy kohdata jokaisella tunnilla. Tarjontaa ei pystytä sähkössä lisäämään tuotantolaitosten täyden kapasiteetin yli, ja tämä taas johtaa hintapiikkeihin korkean kysynnän tunteina. Vihreäsiirtymä on aiheuttanut sähkön tuotannossa painopisteen siirtymistä uusiutuvaan energiaan. Uusiutuvaa energiaa voidaan tuottaa vain tuulisina ja aurinkoisina hetkinä. Tämä aiheuttaa sen, että markkinoilla tulee hintapiikkejä vähätuulisina hetkinä. Näitä hintapiikkejä pitäisi lieventää joustamalla kysynnässä hinnan suhteen. Sähkön kysynnän hintajousto on kuitenkin tunnetusti joustamatonta. Sähkömarkkinoiden kilpailullisuuden tutkiminen on aiheen kannalta tärkeää, sillä valitsemalla oikeat sopimukset kuluttajat ja yritykset voivat auttaa hintajouston lisäämisessä.

Tutkielman tulosten perusteella kaikki kuluttajat hyötyisivät siitä, että pörssihinnoitellut sopimukset lisääntyisivät. Pörssihinnoiteltujen sopimusten lisääminen lisäisi sähkön kysynnän hintajoustoa, sillä kuluttajilla olisi enemmän kannustimia osallistua joustoon. Tämä johtuu siitä, että korkeiden hintapiikkien pienentymisestä saatavat säästöt olisivat korkeampia, kuin matalien hintojen noususta menetettävät tappiot. Tätä pörssihinnoiteltuihin sopimuksiin siirtymistä kuitenkin hidastaa sopimusten kilpailuttamiseen liittyvät seikat. Kuluttajat eivät valitse omalta kannalta edullisimpia sopimuksia, vaan suoriutuvat sopimusten kilpailuttamisessa heikosti. Kuluttajilla olisi halukkuutta osallistua joustoon, mutta se koetaan taakkana ja siitä saatavia hyötyjä ei koeta tarpeeksi suurina. Energiakriisistä aiheutuneet nousseet sähkön hinnat kuitenkin lisäsivät hintajoustopa saattavia taloudellisia hyötyjä. Lisäksi hintajoustoa voitaisiin lisätä älykotiteknologioilla, jolloin joustoon ei tarvitsisi osallistua itse niin aktiivisesti.

Erilaisia yrityssähkö sopimuksia löytyy enemmän verrattuna kuluttajille tarjottaviin sopimuksiin. Näillä sopimusmalleilla on tärkeä merkitys hintapiikkeihin ja hintajousto, sillä erilaiset sopimukset muodostavat erilaiset kannustimet osallistua hintajousto. Tämän lisäksi monipuolisemmat sopimusmallit tarjoavat yrityksille enemmän vaihtoehtoja kilpailutukseen. Tällaisia sopimusmalleja on sähkönostosopimukset ja sähkön ostaminen palveluna. Sähkönostosopimukset ovat erityisessä asemassa vihreässä siirtymässä ja yrityksen hiilijalanjäljen pienentämisessä. Näillä sopimuksilla voidaan lisätä uusiutuvan energian investointeja, sillä ne tarjoavat rahoitusta suoraan näihin. Tämä on erityisen tärkeää Euroopan ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Sähkönostosopimukset ovat toimivia sopimuksia yrityksille, joilla on suuri sähkönkulutus, mutta ne eivät toimi ainoana vaihtoehtona. Sähkönostosopimukset auttavat sähkön kysynnän hintajouston lisäämisessä niin, että investoinnit uusiutuvaan energiaan lisäävät tarjontaa näissä. Lisääntynyt tarjonta laskee sähkön hintoja ja tasaa hintahuippuja. Lisäksi nämä sopimukset lisäävät yrityksille ennustettavuutta sähkön hinnoissa, jolloin niillä voi olla enemmän halukkuutta jousto.

Sähkön hankinta palveluna voi auttaa yrityksiä lisäämään sähkön kysynnän hintajousto usealla tavalla. Ensinnäkin monimuotoiset sopimusmallit mahdollistavat jouston kannustimien lisäämisen yritysten kulutukseen. Erilaiset palveluun kuuluvat mittarit ja analytiikka tarjoavat yritykselle mahdollisuuden seurata omaa kulutustaan uudella tavalla ja optimoida sitä hintavaihteluiden mukaan. Sähkön hankkiminen palveluna mahdollistaa yrityksille myös riskien siirtoa, jolloin ne voivat keskittyä ydinliiketoimintaansa. Tämä sopimusmalli on myös tärkeässä osassa uusiutuvaan energiaan siirtymisessä. Huonona puolena tässä sopimusmallissa on, että se sopii vain harvoille yrityksille. Sähkön hankintaa palveluna pitäisi kuitenkin lisätä niille yrityksille, joille se on mahdollista. Sähkön hankinta palveluna mahdollistaa yrityksille hintajouston lisäämisen, ja se tasoittaa samalla sähkön hintavaihteluita.

Tutkielmassa käsiteltiin aiempia tutkimuksia sähkön kysynnän hintajousto. Näiden tutkimusten perusteella hintajousto on hyvin joustamatonta, ja regressiomalleilla saadut

tulokset osoittavat lyhyen aikavälin hintajouston liikkuvan -0,001 ja -0,006 välillä. Tämä osoittaa, että kysyntä laskee vain vähän hinnan noustessa. Tässä tutkielmassa estimoitiin sähkön kysynnän hintajousto tunnittaisella datalla Suomessa 2022-2023. Estimoinnin tulosten perusteella vuonna 2022 Suomen lyhyen aikavälin hintajousto oli -0,0035. Tämä tulos on hyvin linjassa aiempien tutkimusten kanssa siitä, että kysynnän hintajousto on joustamatonta lyhyellä aikavälillä. Tähän vaikuttaa esimerkiksi se, että kuluttajilla on Suomessa vain vähän käytössä pörssihinnoiteltuja sopimuksia. Vuonna 2023 hintajousto oli myös joustamatonta, sillä estimoinnin arvoksi saatiin -0,0135.

Vuonna 2023 hintajoustossa tapahtui vuoteen 2022 verrattuna huomattava muutos, sillä vuodesta 2022 vuoteen 2023 hintajousto lähes nelinkertaistui. Tämä viittaisi siihen, että markkinoilla on tapahtunut muutoksia, jotka ovat lisänneet hintajoustoa. Energiakriisin aiheuttamat hintavaihtelut aiheuttivat sen, että markkinoilla tarjottiin pelkästään pörssihinnoiteltuja sähkösopimuksia kuluttaja-asiakkaille. Tämä pörssihinnoiteltujen sopimusten määrän nousu on lisännyt kuluttajien hintajoustoa lyhyellä aikavälillä. Tämä käy järkeen, sillä kuluttajilla on suuremmat kannustimet hintajoustoan, koska sähkön tunnittaiset hinnat vaikuttavat suoraan sähkölaskuun. Toinen energiakriisin aiheuttama muutos on sähkön hintojen kasvanut mediahuomio. Sähkön hinnat ovat olleet korkealla, ja tästä on uutisoitu laajasti. Lisääntynyt mediahuomio on voinut kasvattaa kuluttajien ja yritysten tietoisuutta sähkön hinnoista, ja lisätä aktiivisuutta seurata näitä hintoja. Mahdollinen lisääntynyt aktiivisuus on siirtänyt kulutusta huipputunneilta rauhallisemmille tunneille, ja siksi sähkön kysynnän hintajousto on lisääntynyt.

Sähkön kysynnän hintajoustavuudella on suuri merkitys hintavaihteluille ja markkinoiden ennustettavuudelle. Hintajoustoan vaikuttavat monet tekijät, kuten yritysten ja kuluttajien sopimusmallit, yleinen tietoisuus sähkön hinnoista, ja älyteknologioiden käytön määrä. Kuluttajilla olisi halua osallistua hintajoustoan, mutta tämä koetaan usein taakkana. Yrityksillä ja kuluttajilla olisi saatavilla kustannussäästöjä, mikäli ne lisäisivät hintajoustavuutta. Yritysten tulisi panostaa oikeiden sopimusmallien valintaan ja saatavilla olevien teknologioiden hyödyntämiseen. Kuluttajat voisivat lisätä

älyteknologioiden hyödyntämistä, jolloin hintajoustoosoon osallistuminen ei olisi yhtä raskasta. Oikeiden sopimusmallien, kuluttajien tietämyksen ja älyteknologioiden lisäämisellä markkinoiden ennustettavuus lisääntyisi ja hintavaihtelut pienenisivät. Tämä olisi markkinoiden kannalta positiivinen asia ja tällaista muutosta tulisi jatkossakin rohkaista esimerkiksi poliittisin keinoin.

Tutkielman tulokset antavat kuvan lyhyen aikavälin sähkön kysynnän hintajoustoosoon Suomessa. Tutkielma ehdottaa myös millä keinoin hintajoustoosoa voidaan lisätä, ja minkä takia tätä tulisi lisätä. Tutkielmassa ei perehdytty Suomen historialliseen hintajoustoosoon, eikä pitkän aikavälin hintajoustoosoon. Jatkotutkimusmahdollisuuksia tutkielmalle olisi pitkän aikavälin hintajoustoosoon tutkiminen, ja millaisia kustannussäästöjä kuluttajat ja yritykset ovat mahdollisesti saavuttaneet lisääntyneestä hintajoustoososta.

Lähteet

- Allaz, B & J-L Villa (1993), *Cournot competition, forward markets and efficiency*, Journal of Economic Theory 59 (1): 1-16. <https://doi.org/10.1006/jeth.1993.1001>
- Andersson, P. L., McLellan, R. D., Overton, J. P., & Wolfram, G. L. (1997). *Price elasticity of demand*. McKinac Center for Public Policy. Noudettu 18-12-2023 osoitteesta: https://scholar.harvard.edu/sites/scholar.harvard.edu/files/alada/files/price_elasticity_of_demand_handout.pdf
- Chris M. Wilson & Catherine Waddams Price, (2010), *Do consumers switch to the best supplier?* Oxford economic papers. Vol.62 (4) s.647-668 Doi: 10.1093/oep/gpq006
- Diller, H. (2008). *Preispolitik*. W. Kohlhammer Verlag. 4. painos s. 75 ja 95. Noudettu 12-12-2023 osoitteesta: [https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=9NnLU0uVrgMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Diller,+H.+\(2008\):+Preispolitik&ots=8h21toEkAX&sig=s3UTB-3xLmY4uXRu5ASX5OpYmyk&redir_esc=y#v=onepage&q=Diller%2C%20H.%20\(2008\)%3A%20Preispolitik&f=false](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=9NnLU0uVrgMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Diller,+H.+(2008):+Preispolitik&ots=8h21toEkAX&sig=s3UTB-3xLmY4uXRu5ASX5OpYmyk&redir_esc=y#v=onepage&q=Diller%2C%20H.%20(2008)%3A%20Preispolitik&f=false)
- Dütschke, E., & Paetz, A. G. (2013). *Dynamic electricity pricing—Which programs do consumers prefer?* Energy Policy, 59, s.226-234. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.025>
- Elfi Suomen Sähkökäyttäjät Ry (2023) *Sähkön hinta*. Noudettu 10-11-2023 osoitteesta: <https://www.elfi.fi/sahkomarkkinat/sahkon-hinta/>
- Energiateollisuus (2022) *SÄHKÖN MITTAUKSEN PERIAATTEITA*. Kajave.fi. Noudettu 01-04-2024 osoitteesta: <https://kajave.fi/sites/default/files/2023-07/Sähkön%20mittauksen%20periaatteita%202022.pdf>
- Energiavirasto (2023) *Pörssihintaisten sähkösopimusten osuus nousi lähes 14 prosenttiin vuonna 2022*. Noudettu 08-12-2023 osoitteesta: <https://energiavirasto.fi/-/porssihintaisten-sahkosopimusten-osuus-nousi-lahes-14-prosenttiin-vuonna-2022>
- Energiavirasto (2021). *Sähkön vähittäismarkkinat*. Noudettu 09-11-2023 osoitteesta: <https://energiavirasto.fi/sahkomarkkinat>
- Enni Ruokamo, Maria Kopsakangas-Savolainen, Teemu Meriläinen, Rauli Svento (2019) *Towards flexible energy demand – Preferences for dynamic contracts, services*

and emissions reductions. Energy Economics 84
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104522>

- Fabra, N and Imelda (2023), *Market Power and Price Exposure: Learning from Changes in Renewables Regulation*, American Economic Journal: Economic Policy, forthcoming. <https://doi.org/10.17863/CAM.70008>
- Fabra, N. (2022). *Electricity Markets in Transition: A proposal for reforming European electricity markets*. Centre for Economic Policy Research. No. 17689. Noudettu 11-12-2023 osoitteesta: https://nfabra.uc3m.es/wp-content/uploads/2022/12/Electricity_Reform-REV.pdf
- Fingrid Avoin Data (2024) *Tietoaineistot/Tietoaineistojen lataus*, Noudettu 17-02-2024 osoitteesta: <https://data.fingrid.fi/data?datasets=75>
- Friedel, E. (2014) *Price Elasticity : Research on Magnitude and Determinants*, Peter Lang GmbH,. ProQuest Ebook Central, Internationaler Verlag der Wissenschaften, s. 9-10. Noudettu 18-12-2023 osoitteesta: <https://ebookcentral-proquest-com.proxy.uwasa.fi/lib/tritonia-ebooks/detail.action?docID=1840957>.
- Halvinsähkösopimus.fi (2024) *Millainen sähkösopimus nyt kannattaa tehdä? Löydä paras vaihtoehto*. Noudettu 29-04-2024 osoitteesta: <https://halvinsähkösopimus.fi/artikkelit/millainen-sahkosopimus-kannattaa-tehda/>
- Hamwi, M., & Lizarralde, I. (2017). *A review of business models towards service-oriented electricity systems*. Procedia CIRP, 64, 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.032>
- Hardy, M. A. (1993). *Regression with dummy variables* (Vol. 93). Sage. DOI: 10.4135/9781412985628
- Hirth, L., Khanna, T., & Ruhnau, O. (2022). *The (very) short-term price elasticity of German electricity demand*. Noudettu 03-04-2024 osoitteesta: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/249570/1/Hirth%2c%20Khanna%2c%20Ruhnau%202021.%20The%20%28very%29%20short-term%20price%20elasticity%20of%20German%20electricity%20demand_WP.pdf
- Hirvonen, Rita; Sulamaa, Pekka; Tamminen, Eero (2003), *Kilpailu sähkömarkkinoilla: Sähkömarkkinoiden keskeiset piirteet ja toiminta*, ETLA Discussion Papers, No. 879, The Research Institute of the Finnish Economy (ETLA), Helsinki. Noudettu 25-11-2023 osoitteesta: <https://www.econstor.eu/handle/10419/63960>
- Hobman, E. V., Frederiks, E. R., Stenner, K., & Meikle, S. (2016). *Uptake and usage of cost-reflective electricity pricing: Insights from psychology and behavioural*

economics. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 455-467.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.144>

Hofmann, M., & Lindberg, K. B. (2024). *Residential demand response and dynamic electricity contracts with hourly prices: A study of Norwegian households during the 2021/22 energy crisis*. Smart Energy, 13, 100126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.segy.2023.100126>

IEA50 (2022) *Global Energy Crisis*. Noudettu 01-03-2024 osoitteesta: <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis>

Ilmatieteen laitos (2024) *Havaintojen lataus*. Noudettu 18-02-2024 osoitteesta: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Ito, K & M Reguant (2016), *Sequential Markets, Market Power and Arbitrage*. American Economic Review 106(7): 1921-1957. DOI: 10.1257/aer.20141529

Knaut, A., & Paulus, S. (2016). *Hourly price elasticity pattern of electricity demand in the German day-ahead market* (No. 16/07). EWI Working Paper. Noudettu 01-03-2024 osoitteesta: <https://www.econstor.eu/handle/10419/144865>

Lijesen, M. G. (2007). *The real-time price elasticity of electricity*. Energy economics, 29(2), 249-258. <https://doi.org.proxy.uwasa.fi/10.1016/j.eneco.2006.08.008>

Lim, K. M., Lim, S. Y., & Yoo, S. H. (2014). *Short-and long-run elasticities of electricity demand in the Korean service sector*. Energy Policy, 67, 517-521. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.017>

Mendicino, L., Menniti, D., Pinnarelli, A., & Sorrentino, N. (2019). *Corporate power purchase agreement: Formulation of the related levelized cost of energy and its application to a real life case study*. Applied Energy, 253, 113577. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113577>

Monroe, K.B. (2003): *Pricing: Making Profitable Decisions*, 3. painos s.32, Boston: Mc Graw Hill. Noudettu 12-12-2023 osoitteesta: https://books.google.fi/books/about/Pricing.html?id=ole-QgAACAAJ&redir_esc=y

Nordpoolgroup (2023) Data lisenssillä.

Nordpoolgroup (2023) *History*. Noudettu 27-04-2024 osoitteesta: <https://www.nordpoolgroup.com/en/About-us/History/>

Nordpoolgroup (2023) *Quarterly Newsletter Q2 2023*. Noudettu 01-12-2023 osoitteesta: <https://www.nordpoolgroup.com/4a1a19/globalassets/download-center/market-surveillance/market-surveillance-newsletter-q2-2023.pdf>

Schittekatte, T & C Batlle (2023) *Calls for an Electricity Market Reform in the EU: Don't Shoot the Messenger*, Research Commentary, MIT Center for Energy and

- Environmental Policy Research. Noudettu 20-01-2024 osoitteesta:
https://www.researchgate.net/profile/Tim-Schittekatte/publication/368303366_Calls_for_an_Electricity_Market_Reform_in_the_EU_Don't_Shoot_the_Messenger/links/63e188b82f0d126cd18d7c71/Calls-for-an-Electricity-Market-Reform-in-the-EU-Dont-Shoot-the-Messenger.pdf
- Sorrell, S. (2007). *The economics of energy service contracts*. Energy policy, 35(1), 507-521. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.12.009>
- Simon, H. & Fassnacht, M. (2009): *Preismanagement: Strategie – Analyse – Entscheidung – Umsetzung*, 3. painos s.95, Wiesbaden: Gabler. DOI: 10.1007/s11621-009-0081-y
- Stefan Ambec, Albert Banal, Estelle Cantillon, Claude Crampes, Anna Creti, Francesco Decarolis, Natalia Fabra, Reyer Gerlagh, Karsten Kneuhoff, Camille Landais, Matti Liski, Gerard Llobet, David Newbery, Michele Polo, Mar Reguant, Sebastian Schwenen & Iivo Vehviläinen (2023) *Electricity market design: Views from European economists* CEPR POLICY INSIGHT No. 120. Noudettu 20-01-2024 osoitteesta: <https://www.sipotra.it/wp-content/uploads/2023/03/Electricity-market-design-Views-from-European-economists.pdf>
- Stephen Poletti & Julian Wright, (2020) *Real-Time Pricing and Imperfect Competition in Electricity Markets*, The journal of industrial economics, Vol.68 (1) s. 93-135, DOI: 10.1111/joie.12215
- Ville Aalto-Setälä, Kaisa Matschoss, Marita Nikkilä & Paavo Saarinen, 2005, *Markkinarakenne ja kilpailu Suomessa*, Kuluttajatutkimuksen vuosikirja 2005. Noudettu 20-11-2023 osoitteesta:
https://www.researchgate.net/profile/Kaisa-Matschoss/publication/237665938_Markkinarakenne_ja_kilpailu_Suomessa/links/5474ed810cf2778985ac65ef/Markkinarakenne-ja-kilpailu-Suomessa.pdf