



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

Kristian Harju

Reaaliaikainen hinnoittelu sähkömarkkinoilla

Pro gradu –tutkielma

Kansantaloustiede

Marraskuu 2013

Yksikkö Kansantaloustiede			
Tekijä Kristian Harju		Työn valvoja Svento Rauli, Prof.	
Työn nimi Reaaliaikainen hinnoittelu sähkömarkkinoilla			
Oppiaine Kansantaloustiede	Työn laji Pro gradu	Aika Marraskuu 2013	Sivumäärä 62
Tiivistelmä <p>Sähkö on hyödyke, joka on tukkumarkkinoilla hinnoiteltu tuntitarkkuudella, mutta kuluttajamarkkinoilla yleensä tasahinnoiteltu. Tasahinnoittelu aiheuttaa sähkön kysynnässä joustamattomuutta hinnan suhteen, mistä seuraa tehottomuutta aiheuttavia ongelmia sähkömarkkinoille. Useilta tahoilta näihin ongelmiin on esitetty ratkaisuksi siirtymistä reaaliaikaiseen tuntihinnoitteluun myös kuluttajamarkkinoilla.</p> <p>Tässä työssä selvitetään aiemmin tehtyjä tutkimuksia tarkastellen ja niiden tuloksia yhdistellen, reagoivatko kotitaloudet sähkön reaaliaikaiseen tuntihinnoitteluun kulutustaan muuttamalla ja jos reagoivatko, niin kuinka voimakkaasti. Työssä tarkastellaan sähkön reaaliaikaisesta tuntihinnoittelusta kotitalouksilla tehtyjä kokeita ja analysoidaan niiden tuloksia. Työssä tarkastellaan, mitkä seikat vaikuttivat kotitalouksien reaktioiden voimakkuuteen ja millä kulutuksen muuttamisen keinoilla kotitalouksien on mahdollista reagoida sähkön reaaliaikaiseen tuntihinnoitteluun. Tämän lisäksi työssä selvitetään tutkimuksia tarkastellen, mitä vaikutuksia kotitalouksien reagoinnilla on koko sähkömarkkinoiden toiminnalle ja mitä mahdollisia ongelmia sähkön reaaliaikaisen hinnoittelun laajamittaisemman käyttöönoton tiellä on.</p> <p>Työn tärkeimmät tulokset ovat seuraavat. Tutkimusten perusteella kotitalouksien kysyntä vaikuttaa olevan hintajoustavaa sähkön hinnan suhteen ollessaan reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä. Kotitalouksien kysynnän hintajoustavuutta voidaan kuvailla suuruusluokaltaan maltilliseksi. Kotitalouksien kysynnän hintajoustavuus on voimakkuudeltaan kuitenkin sellaista, että mikäli riittävän suuri määrä kotitalouksia olisi reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä, seuraisi siitä laajoja tehokkuushyötyjä sähkömarkkinoilla. Sähkönsäästöä edistävän teknologian käyttö ja parempi tiedottaminen sähkön hinnan käyttäytymisestä vaikuttavat kasvattavan kotitalouksien kysynnän hintajoustavuutta.</p>			
Asiasanat kotitaloudet, dynaaminen hinnoittelu, hintajousto			
Muita tietoja			

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	5
2. SÄHKÖMARKKINAT	8
3. MALLI SÄHKÖMARKKINOIDEN TOIMINNASTA	12
3.1 Mallin oletuksia ja määritelmiä.....	12
3.2 Tasapaino yhdellä tuotantoteknologialla.....	13
3.3 Tasapaino usealla tuotantoteknologialla	15
3.4 Reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän vaikutuksia.	18
4. KULUTTAJIEN SÄHKÖNSÄÄSTÖN MAHDOLLISUUDET	22
4.1. Sähkön luonne hyödykkeenä.....	22
4.2. Kulutusinformaation vaikutus kotitalouksien sähkönkulutukseen.....	26
4.3. Kysyntävaste	29
4.3.1. Kannustinpohjainen kysyntävaste	32
4.3.2. Hintapohjainen kysyntävaste	33
5. TUTKIMUKSIA DYNAAMISEN HINNOITTELUN	
VAIKUTTAVUUDESTA	37
5.1 Critical Peak Pricing hinnoittelukokeet	39
5.2 Real Time Pricing hinnoittelukokeet	41
5.2.1 Energy-Smart Pricing Plan.....	42
5.2.2 Olympic Peninsula Project.....	45
5.3. Reaaliaikainen hinnoittelu vai CPP?.....	46
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	51
LÄHTEET	60

KUVIOT

Kuvio 1. Sähkömarkkinat yhdellä tuotantoteknologialla. Mukaillen Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012,23). 13

Kuvio 4. Mukaillen Albadi ja El-Saadany (2008, 1991) 31

TAULUKOT

Taulukko 1. α :n ja ε :n muutoksien vaikutus tuotantorakenteeseen. Mukaillen Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012,35)..... 20

Taulukko 2. CPP hinnoitteluratkaisujen huippukysyntää vähentävä vaikutus prosenteissa. Mukaillen Faruqi ja Sergici (2010). 40

1. JOHDANTO

Sähkö on hyödyke, josta on suhteellisen lyhyessä ajassa muodostunut lähes välttämätön hyödyke miltei kaikkialla maailmassa. Viime vuosikymmenten yleinen kehityssuunta on ollut sellainen, missä yhteiskunnat muuttuvat kiihtyvällä tahdilla yhä sähkövaltaisemmiksi. Esimerkiksi Suomessa väkilukuun suhteutettu sähköenergian kulutus on kaksinkertaistunut siirryttäessä vuodesta 1980 vuoteen 2010 (World Bank 2013). World Bankin (2013) tilastojen trendi väkilukuun suhteutetussa sähkönkulutuksessa on ollut samansuuntaista miltei kaikkialla maailmassa. Kaavailut palvelujen ja lisääntyvissä määrin myös liikenteen sähköistämisestä varmistaneet, että kehitystrendi jatkunee samansuuntaisena myös lähitulevaisuudessa.

Siitä huolimatta, että sähkön merkitys yhteiskunnassamme on jatkuvasti kasvanut, ei sen hinnoittelussa ole tapahtunut suuriakaan muutoksia. Suurin osa asiakkaista on tasahinnoittelun piirissä, missä kuluttajalta veloittava sähkön hinta on sama kaikkina vuorokauden aikoina. Tasahinnoittelussa hinta perustuu arvioihin pitkän aikavälin keskimääräisistä kustannuksista ottamatta huomioon lyhyellä aikavälillä muuttuvia markkinaolosuhteita. Esimerkiksi Yhdysvalloissa vuonna 2010 vain noin prosentti kaikista asiakkaista oli sellaisen sähköpimuksen piirissä, jossa sähköstä maksettava hinta vaihteli vallitsevien markkinaolosuhteiden mukaisesti, joko etukäteen tai reaaliajassa (Joskow ja Wolfram 2012, 3).

Tukkumarkkinoilla sähkö on tyypillisesti hinnoiteltu tuntikohtaisesti, kun taas vähittäismyymtimarkkinoilla hintaa säädetään harvoin, tyypillisesti kaksi tai kolme kertaa vuodessa. Koska sähkön varastoiminen ei ole nykyisillä teknologioilla taloudellisesti kannattava ja kiinteästä tasahinnoittelusta johtuen kysyntä on hintajoustamatonta, aiheutuu sähkön tukkuhinnassa suuria vaihteluita. Sähkön hinta voi päivän sisällä vaihdella yli 100%. (Borenstein ja Holland 2005, 469.)

Ratkaisuksi on useilta tahoilta ehdotettu reaaliaikaista hinnoittelua tai muita dynaamisia hinnoitteluratkaisuja, jotka toisivat kuluttajien kysyntäjouston osaksi sähköjärjestelmää. Ongelmana aina viime vuosiin saakka on kuitenkin ollut riittävän mittarointiteknologian puuttuminen. Jotta sähkön dynaaminen hinnoittelu olisi

mielekäästä, tulee mittarointiteknologian olla sellaista, että sen avulla voidaan luotettavasti erotella kuluttajan sähkönkulutus eri hintajaksojen aikana. Viime vuosina tämän esteen dynaamisten hinnoitteluratkaisujen käyttöönotolta on poistanut mittarointiteknologian kehitys ja erityisesti kaksisuuntaisten AMI (Advanced Metering Infrastructure) mukaisten mittarointilaitteistojen kustannusten aleneminen ja sitä myötä niiden käyttöönotto laajasti eri puolilla maailmaa.

Reaaliaikaista hinnoittelua ja muita dynaamisia hinnoitteluratkaisuja sekä kotitalouksien reaktioita niihin on tutkittu hyvin vähän. Esimerkiksi tämän tutkimuksen tarkoituksia varten löytyi kaksi hinnoittelukoetta, jossa oli tutkittu kotitalouksien reaktioita reaaliaikaiseen hinnoitteluun. Yrityksien reagointia reaaliaikaiseen hinnoitteluun on tutkittu jo 1990-luvulta lähtien (Hopper et. al 2006). Yrityksien ja kotitalouksien reagointia reaaliaikaiseen hinnoitteluun ei kuitenkaan ole kovin mielekäästä verrata keskenään. Kulutuksen määrä ja luonne näiden kahden sektorin välillä poikkeavat huomattavasti toisistaan ja siten myös oletettavasti niiden reaktiot reaaliaikaiseen hinnoitteluun.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää reaaliaikaisesta hinnoittelusta tehtyjä tutkimuksia tarkastellen reagoivatko kotitaloudet reaaliaikaiseen hinnoitteluun ja muihin dynaamisiin hinnoitteluratkaisuihin muuttamalla kulutustaan, eli aiheuttavatko hinnoitteluratkaisut kotitalouksissa kysyntäjoustoa. Mitä voimakkaampaa on kotitalouksien kysyntäjousto, sitä voimakkaammin se vaikuttaa myönteisesti myös markkinoiden toimintaan. Lisäksi tarkoituksena on selvittää kuinka voimakasta kotitalouksien reagointi on ja mitkä seikat vaikuttavat reaktion voimakkuuteen. Tutkimuksen keskeinen kiinnostuksen kohde on reaaliaikainen hinnoittelu. Kotitalouksien reagointi dynaamista reaaliaikaista hinnoittelua osittain jäljittelevään hinnoitteluratkaisuun, Critical Peak Pricingiin, on otettu tutkimukseen mukaan vertailukohdaksi reaaliaikaista hinnoittelua koskevien tutkimusten vähäisen määrän vuoksi.

Tutkielman kulku on seuraava. Luvussa kaksi esitellään yleisesti sähkömarkkinoiden toimintaa säädelyssä sekä vapautetussa ympäristössä ja vertaillaan mitä merkitystä reaaliaikaisen hinnoittelun kannalta on sillä kummassa ympäristössä toimitaan. Luku kolme esittelee mallin sähkömarkkinoiden toiminnasta

vapautetussa kilpailullisessa ympäristössä, sekä yhden että useamman sähkön tuotantoteknologian tapauksessa. Malli on tarpeellinen, sillä sen avulla voidaan osoittaa, millaisia koko markkinoiden laajuisia vaikutuksia reaaliaikaisella hinnoittelulla on. Luku neljä käsittelee millainen hyödyke sähkö luonteeltaan on, millaisia erilaisia sähkön kysyntäjoustopuotoja on olemassa ja sitä minkälaisin käytännön toimin kotitaloudet voivat synnyttää kysyntäjoustopuotoa. Luvussa viisi tarkastellaan reaaliaikaista hinnoittelua ja Critical Peak Pricingia tutkineita hinnoittelukokeita ja analysoidaan niistä saatuja tuloksia. Luku kuusi sisältää koko aiheen tiimoilta tehtävät johtopäätökset ja yhteenvedon.

2. SÄHKÖMARKKINAT

Historiallisesti sähköala on lähes kaikkialla maailmassa kehittynyt alkujaan vertikaalisesti integroituneiden monopolien muotoon, jotka ovat joko julkisomisteisia tai hinta ja kilpailurajoitteisia luonnollisia monopoleja. Vertikaalisella integraatiolla tarkoitetaan sitä, että sähköntoimituksen kolme perusosa-aluetta, tuotanto, siirto ja vähittäismyynti, ovat kaikki integroituneina yhdelle samalle palveluntarjoajalle. Näillä säädellyillä palveluntarjoajilla on historiallisesti ollut monopoliasema sähkön toimituksessa kotitalouksille ja yrityksille, jollakin tietyllä maantieteellisesti rajatulla alueella. (Joskow 2008, 10-11).

Historiallisesti näiden säädeltyjen monopolien suoriutuminen ja tehokkuus on vaihdellut paljon eri maiden välillä. Tuotantoteknologiset kehitysaskeleet ja kilpailullisuuden puutteen mukanaan tuomat korkeammat kustannukset ovat aiheuttaneet painetta uudistaa historiallisesti vallinnutta järjestelmää ja tehdä muutoksia jotka alentaisivat sähkön kustannuksia ja kuluttajahintoja. Uudistusten ensisijaisena tavoitteena on luoda sähköalalle sellainen järjestelmä, joka tuo mukanaan pitkäaikaisia hyötyjä yhteiskunnalle ja varmistaa, että osa näistä hyödyistä siirtyy myös kuluttajille. (Joskow 2008, 11). Lyhyesti sanottuna uudistuksien tavoitteena on siis muuttaa vanhaa säädeltyä ja vertikaalisesti integroitua mallia kilpailulliseksi siinä määrin, kuin sen muuttaminen kilpailulliseksi on perusteltua.

Joskow (2008, 12-13) on artikkelissaan kehittänyt ”oppikirjamallin” siitä, millaisia piirteitä tulisi optimaalisesti olla sähköalan uudelleenjärjestelyssä, jossa siirrytään säädellystä kilpailulliseen ympäristöön. Seuraavassa esitellään hänen mallinsa keskeisimmät piirteet. Ensiksi hän mainitsee, että julkisomisteiset sähköalan monopolit tulisi yksityistää, jotta voidaan luoda insentiivejä näiden tahojen toiminnan tehostamiselle. Toiseksi aiemmin vertikaalisesti integroituneet osiot, joilla on mahdollisuus toimia kilpailullisessa ympäristössä, tulisi erottaa osioista joiden tulisi jatkossakin olla säädeltyjä. Kilpailulliseksi tulisi muuttaa sähkön tuotanto ja jälleenmyynti. Säätelyn piiriin Joskowin (2008, 12) mukaan tulisi jäädä sähkön siirtoon liittyvät toiminnot. Näiden toimintojen erottamisen lisäksi tulisi varmistaa, ettei säätelyn piiriin jäävillä toiminnoilla voida taloudellisesti tukea kilpailullisia toiminnan osioita ja että jakelutoiminnot kohtelevat kaikkia kilpailullisia toimijoita

tasavertaisesti. Lisäksi tärkeää on, että kilpailullisesti tarjottavat palvelut ja hinnat ovat erotettu sääntelyn piiriin jäävien palveluiden hinnoista.

Joskowin (2008, 12) ”oppikirjamallissa” tuotantosektorin tulisi olla laajasti horisontaalisesti integroitunut, jotta voidaan varmistua, että tukkumarkkinat ovat riittävän kilpailulliset ja yksittäisillä sähkön tuottajilla ei ole liiaksi markkinavoimaa. Horisontaalisen laajan integraation lisäksi tulisi varmistaa siirtoyhteyksien riittävyys, jotta laajempi horisontaalisesti integroitunut markkina-alue toimii myös käytännössä. Lisäksi markkinoilla tulisi olla itsenäinen systeemivastaava taho joka ohjaa sähköverkon toimintaa ja sähkön tuotannon ajoituksia kysyntäolosuhteiden mukaisesti. Joskowin (2008, 12-13)

Reaaliaikaisen hinnoittelun ja muiden dynaamisten hinnoitteluratkaisuiden kannalta ei sähkömarkkinoiden kuitenkaan välttämättä tarvitse olla kilpailulliset. Jo 1970-luvulla, kun sähköala oli vielä miltei kaikkialla sääntelyn piiriin kuuluva ala, Fred Kahn tutki kuinka rajakustannushinnoittelua voitaisiin soveltaa sääntelyn alaisten palveluiden hinnoitteluratkaisuissa (Joskow ja Wolfram 2012). Kahn ymmärsi, että mikäli käytössä olisi sellainen hinnoitteluratkaisu, joka tehokkaammin kuvastaisi tuotannosta koituvia kustannuksia, vähentäisi se huippukysyntää ja huippukysynnän tyydyttämiseen tarkoitettujen tuotantoyksiköiden rakentamisen tarvetta. Kahnin mukaan tehokkaammin kustannuksia jäljittelevä hinnoittelu johtaisi loppujen lopuksi kasvaneeseen hyvinvointiin. (Joskow ja Wolfram 2012). Reaaliaikainen hinnoittelu on hinnoittelumuoto, joka on jalostettu Kahnin mainitsemasta rajakustannushinnoittelusta ja joka toimii erityisesti vapautetuilla kilpailullisilla sähkömarkkinoilla.

Reaaliaikaisen hinnoittelun kannalta Joskowin (2008, 12-13) mukaisesti vapautetut sähkömarkkinat ovat kuitenkin käytännön kannalta yksinkertaisempi toimintaympäristö verrattuna säädeltyyn toimintaympäristöön. Mikäli sähkön tukkumarkkinat ovat riittävän kilpailulliset kuvastavat markkinoiden tukkuhinnat tuottamisesta koituvia kustannuksia (Joskow ja Wolfram 2012). Säädellyssä ympäristössä rajakustannusten määrittely, jonka pohjalta kuluttajahinnat määritellään, voisi olla hyvin hankalaa. Hankalaa se olisi etenkin, mikäli kaikki toiminnot ovat vertikaalisesti integroituneita samalle palveluntarjoajalle.

Kilpailullisilla sähkömarkkinoilla sähkön tukkuhinta on tulosta sähkön tuottajien välisestä kilpailusta ja jälleenmyyntihinta on tulosta jälleenmyyjien välisestä kilpailusta. Tuotantokapasiteettia rakennetaan siihen asti kunnes yksittäiset tuottajat kykenevät juuri kattamaan kustannuksensa. (Borenstein ja Holland 2005). Mikäli reaaliaikainen hinnoittelu halutaan ottaa käyttöön, ei kilpailullisuus ole siis välttämättömyys. Kuitenkin kuten Borenstein ja Holland (2005) ovat teoreettisesti esittäneet, kilpailullisessa ympäristössä voidaan osoittaa, että reaaliaikainen hinnoittelu on hyvinvointinäkökulmasta teoreettisesti ylivertainen hinnoitteluratkaisu. Samaa ei voida kiistatta sanoa reaaliaikaisesta hinnoittelusta säädellyssä toimintaympäristössä. Säädellyssä toimintaympäristössä reaaliaikaisen hinnoittelun suoriutuminen on paljolti riippuvaista siitä kuinka säätelystä vastaava taho onnistuu tehtävässään.

Eri puolilla maailmaa on siirrytty säädellystä toimintaympäristöstä vaihtelevissa määrin Joskowin (2008) ”oppikirjamallia” seuraaviin sähkömarkkinoihin. Esimerkiksi osassa Australiaa, Kanadan Ontariossa, Brasiliassa ja Pohjoismaissa sähkömarkkinat ovat hyvin pitkälti oppikirjamallin mukaiset, lukuun ottamatta tuotantosektorin osittaista julkisomisteisuutta. Tarkimmin ”oppikirjamallia” seuraavan uudistuksen ovat Joskowin (2008) mukaan toteuttaneet Englanti, Wales, Argentiina ja Chile. Oppikirjamallin mukaisiin vapautettuihin sähkömarkkinoihin ei toistaiseksi ole siirrytty Japanissa, eikä suurimmassa osassa Manner-Eurooppaa, lukuun ottamatta Espanjaa ja Alankomaita. Japanissa ja suurimmassa osassa Manner-Eurooppaa markkinoiden vapauttaminen on ollut, joko osittaista, tai maissa on pysyttäydyytty kokonaan vertikaalisesti integroituneiden palveluntarjoajien järjestelmässä. Esimerkiksi Saksassa alaa dominoivat edelleen vertikaalisesti integroituneet palveluntarjoajat. Tämän lisäksi Saksassa markkinat eivät ole horisontaalisesti integroituneet, vaan segmentoituneet pienempiin alueisiin, joiden sisällä verkon tasapainottaminen tapahtuu. Yhdysvalloissa markkinat ovat osittain vapautuneet ja osittain säätelyn alaisten palveluntarjoajien alaiset. Yhdysvaltojen koillisosissa, ja Kaliforniassa markkinat ovat paljolti ”oppikirjamallin” mukaisesti vapautuneet. Suurimmassa osassa Yhdysvaltoja käytössä on silti edelleen säädeltyjen vertikaalisesti integroituneiden palveluntarjoajien alainen järjestelmä. (Joskow 2008, 17-21.)

Sähkömarkkinat ovat siis vapautuneet useissa maissa ja useissa näistä maista on vapauttamisen seurauksena saavutettu merkittäviä tehokkuushyötyjä. Tehokkuushyödyt ovat olleet erityisen suuria sellaisissa maissa, joissa julkisomisteisten monopolien suoriutuminen on ollut erityisen huonoa. Yleisellä tasolla voidaan sanoa, että markkinoiden vapauttaminen niiltä osin kun se on perusteltua ja säätelyn alaiseksi jäävien osien tarkka suoritusperusteinen säätely (Performance-Based Regulation) ovat johtaneet merkittäviin kustannussäästöihin kuitenkin huonontamatta saatavilla olevan palvelun laatua. Jotta markkinoiden vapauttaminen olisi onnistunut uudistustoimi, on tärkeää, että päättäjät onnistuvat välttämään eri eturyhmien painostuksen ja toteuttamaan uudistuksen, joka johtaa tehokkaampiin ja paremmin toimiviin markkinoihin. (Joskow 2008, 37)

3. MALLI SÄHKÖMARKKINOIDEN TOIMINNASTA

3.1 Mallin oletuksia ja määritelmiä

Tässä tutkimuksessa käytettävä malli sähkömarkkinoiden toiminnasta mukailee Kopsakangas-Savolaisen ja Svennon (2012) esiteltyä simulaatiomallia. Kopsakangas-Savolaisen ja Svennon (2012) mukainen malli sähkömarkkinoiden toiminnasta on käypä tämän tutkimuksen tarkoituksia varten, koska malli ottaa huomioon sähkön kysyntäpuolen reagoinnin reaaliaikaiseen hinnoitteluun.

Mallissa oletetaan vakiojoustava kysyntäfunktio, joka kalibroidaan vastaamaan tietyn tarkan markkina-alueen kysyntäprofiileja jokaiselle vuoden tunnille käyttämällä ankkurointipistettä A_h . Ankkurointipiste, $A_h = D_h / p_c^\varepsilon$, missä D on kysyntä, h on tunti, ε on kysynnän hintajousto ja p_c^ε on vakioinen markkinahinta. Vakioinen markkinahinta p_c^ε on sellainen hinta, jonka asettamalla sähkön tuotantopuoli pääsee nollavoitto-tulokseen. Ankkurointipistettä A_h käytetään skaalaamaan tuntikohtaiset kysynät vastaamaan, jonkin tietyn markkina-alueen kuormituskäyrää. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012, 21-22.)

Oletetaan, että asiakkaista osa α , $0 < \alpha \leq 1$ on muuttuvan reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä ja maksavat tunneittain muuttuvaa hintaa p_r . Loput asiakkaista, $1 - \alpha$ maksavat sähköstään tasahintaa p_f . Kaikkien asiakkaiden oletetaan olevan homogeenisiä. Lisäksi merkitään ε :llä homogeenisten asiakkaiden hintajoustoa. Sähkön kysyntä tunnille h voidaan kirjoittaa muotoon:

$$D_h(p_r, p_f) = [\alpha p_r^\varepsilon + (1 - \alpha) p_f^\varepsilon] A_h, \quad h = 1, \dots, 8760 \quad (1)$$

Sähkön tuottajien ja jälleenmyyjien oletetaan maksimoivan voittojaan ja toimivan kilpailullisessa ympäristössä. Voittofunktiot tuottajille ja jälleenmyyjille voidaan kirjoittaa muotoon:

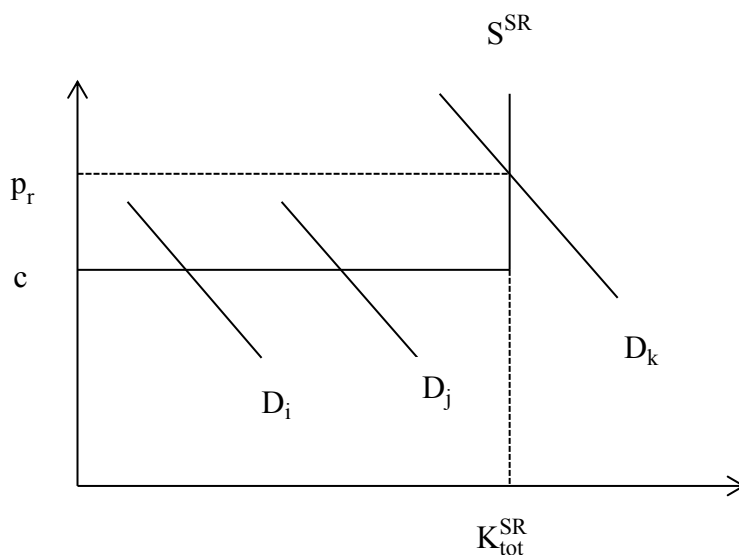
$$\pi_R = \sum_{h=1}^{8760} [(p_f - w_h)(1 - \alpha)D_h(p_f) + (p_r - w_h)\alpha D_h(p_r)], \quad (2)$$

$$\pi_G = \sum_{h=1}^{8760} (w_h D_h - c D_h) - rK, \quad (3)$$

missä: R = jälleenmyyntisektori, G = tuotantosektori, w = sähkön tukkuhinta, c = tuotannon rajakustannukset ja rK = tuotantokapasiteetin vuotuiset pääomakustannukset. Yhtälö (2) on siis jälleenmyyjien voittofunktio ja yhtälö (3) sähkön tuottajien voittofunktio. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012, 22.)

3.2 Tasapaino yhdellä tuotantoteknologialla

Yhtälöiden (2) ja (3) avulla voidaan ratkaista lyhyen ja pitkän aikavälin tasapaino koko sähköjärjestelmälle. Jotta tasapaino löytyisi, pitää ensin määrittää hinnoittelulogiikka, sekä tuotanto- että jälleenmyyntisektoreille. Oletetaan ensin, että käytössä on vain yksi tuotantoteknologia ilman skaalavaikutuksia. Näin ollen lyhyen aikavälin tarjontakäyrä, S^{SR} muodostuu kuviossa 1. kuvatus kaltaiseksi. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012, 23.)



Kuvio 1. Sähkömarkkinat yhdellä tuotantoteknologialla. Mukailten Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012,23)

Lyhyellä aikavälillä tuotantokapasiteetin määrä on kiinteä. Tuotantokapasiteetin kiinteästä määrästä johtuen sähkön tuotantopuolen lyhyen aikavälin optimointiongelmaksi muodostuu yhtälön $\pi_G^{SR} = w_h D_h - c D_h$ maksimointi kysynnän D_h suhteen. Tuotantosektorin kilpailullisuuden vuoksi optimointiongelman ratkaisuna saadaan $w_h = c$, mutta vain niille tunneille h , jolloin kysyntä D_h on pienempää kuin kapasiteettirajoite K_{tot}^{SR} . Kuviossa 1. tällaisia kysyntäaikoja kuvaavat kysyntäkäyrät D_i ja D_j . Kuviossa 1. kysyntäkäyrä D_k kuvaa sellaisia kysyntäaikoja jolloin kysyntä on suurempaa kuin lyhyen aikavälin kapasiteettirajoite K_{tot}^{SR} . Koska tasahinta p_f ei voi muuttua on reaaliaikaisen hinnan p_r sopeuduttava siten, että järjestelmässä löytyy tasapaino. Tasapainossa tarjonnan tulee vastata kysyntää, eli:

$$D_k = \left[\alpha p_r^\epsilon + (1-\alpha) p_f^\epsilon \right] A_h = K_{tot}^{SR} \quad (4)$$

Yhtälön (4) avulla voidaan ratkaista järjestelmän tasapainottava reaaliaikainen hinta p_r :

$$p_r = \left[\frac{K_{tot}^{SR} - (1-\alpha) p_f^\epsilon A_h}{\alpha A_h} \right]^{-\epsilon} \quad (5)$$

Tuotantosektorin hinnoittelulogiikka on siis seuraavanlainen. Kun $D_h \leq K_{tot}^{SR}$ niin tuottajat asettavat $w_h = c$. Kun puolestaan $D_h > K_{tot}^{SR}$, asettavat tuottajat $w_h = p_r$. Kun tiedetään kysyntä ja tukkuhinta jokaiselle tunnille, voidaan laskea tuotantosektorin voitot. Oletetaan kuitenkin, että kilpailun vuoksi kapasiteettia rakennetaan siihen pisteeseen saakka, että tuotantosektorin voitot ovat nolla. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012,23.)

Jälleenmyyntisektorin kilpailullisuus ajaa jälleenmyyntisektorin voitot nolliin jo lyhyellä aikavälillä. Jälleenmyyjien välisestä kilpailusta johtuen, mikäli reaaliaikainen jälleenmyyntihinta p_r on suurempi kuin tukkuhinta w_h , on kilpailevan jälleenmyyjän mahdollista asettaa hinta joka on marginaalisesti alhaisempi ja haalia kaikki asiakkaat itselleen. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012). Jälleenmyyjien oletetaan olevan siis Bertrand-kilpailuasetelmassa keskenään. Bertrand-

kilpailuasetelman voidaan olettaa kuvaavan kilpailuasetelmaa sähkön jälleenmyyjien kesken, koska sähkön jälleenmyyjät myyvät homogeenistä tuotetta ilman kapasiteettirajoitteita ja ovat hinnantottajia tukkumarkkinoilla. (Borenstein ja Holland 2005).

Kun tiedetään, että on oltava $p_f = w_h$ jokaiselle tunnille, supistuu jälleenmyyntisektorin nolavoittoehto muotoon:

$$(1-\alpha) \sum_{h=1}^H (p_f^\varepsilon - w_h) D_h(p_f) = 0 \quad (6)$$

Josta voidaan ratkaista tasahinta p_f :

$$p_f = \frac{\sum_h^H w_h D_h(p_f)}{\sum_h^H D_h(p_f)} \quad (7)$$

Tasahinta p_f on siis tasahinta-asiakkaiden kysynnöillä painotettu keskimääräinen tukkuhinta. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012,24.)

Siirryttäessä lyhyestä aikavälistä pitkään aikaväliin voi tuotantokapasiteetin määrä K muuttua. Kilpailulliset investoinnit varmistavat, että pitkällä aikavälillä sähkön tuottajasektorin voitot ovat nolla. Kapasiteettia joko rakennetaan lisää tai poistetaan käytöstä niin kauan kunnes näin tapahtuu. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012) ja (Borenstein ja Holland 2005.)

3.3 Tasapaino usealla tuotantoteknologiolla

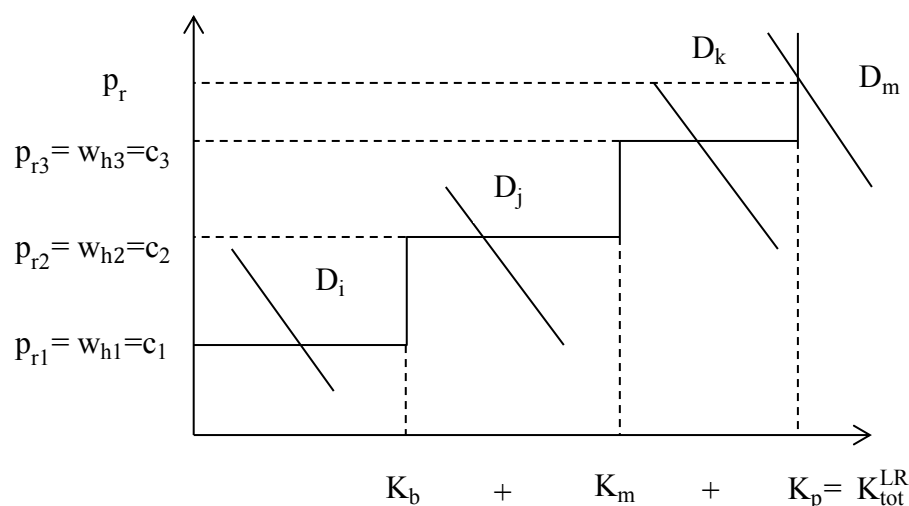
Edellä esitelty malli sähkömarkkinoiden toiminnasta voidaan helposti laajentaa mallintamaan realistisempaa tilannetta, jossa käytössä on useita tuotantoteknologioita. Erilaisten tuotantoteknologioiden oletetaan poikkeavan toisistaan siinä, missä suhteessa niiden kustannukset koostuvat kiinteistä pääomakustannuksista ja muuttuvista tuotannon marginaalikustannuksista. Yksinkertaistavana yleistyksenä oletetaan että käytössä on kolme eri teknologiaa: baseload-, midmerit- ja peak-teknologia. Tuotantoteknologioiden määrää voidaan

muokata vastaamaan jonkin alueen realistisia markkinaolosuhteita. Lisäksi tuotantoteknologiat voivat olla sellaisia, että niiden käyttöä voidaan vapaasti optimoida tai tuotantoteknologialla voi olla jonkinlaisia kapasiteettirajoitteita. Tuottajasektorin kilpailullisuudesta johtuen vapaasti optimoitavissa olevien teknologioiden mukaista kapasiteettia rakennetaan siihen saakka, kunnes teknologian mukaisten tuottajien voitot ovat nolla. Kapasiteettirajoitteisen teknologian mukaista kapasiteettia rakennetaan kapasiteettirajoitteeseen saakka, tai kunnes tuottajien voitot ovat nolla. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012,24-25.)

Tasapainon ratkaiseminen usean tuotantoteknologian tapauksessa lähtee liikkeelle samalla tavalla kuin tasapainon ratkaiseminen yhden tuotantoteknologian tapauksessa. Ensiksi ratkaistaan lyhyen aikavälin tasapaino, kuten yhden teknologian tapauksessakin, käyttäen vain yhtä kapasiteettia joka on siis peak-teknologian mukaista kapasiteettia. Tasapainon mukainen kapasiteetin määrä on sellainen määrä kapasiteettia, että jos kapasiteettia lisättäisiin siitä yhdellä yksiköllä, menisivät peak-teknologian mukaisten tuottajien voitot nollassi. Saatua kapasiteetin määrä on lyhyen aikavälin kokonaiskapasiteetti K_{tot}^{SR} . (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012,25.)

Seuraavassa vaiheessa aletaan korvata peak-teknologian mukaista kapasiteettia midmerit kapasiteetilla. Midmerit-kapasiteetti on tarjontakäyrällä peak-teknologian mukaisen kapasiteetin alapuolella ja näin ollen midmerit-kapasiteetti kaikkina aikoina käytetään kokonaisuudessaan ennen kuin käytetään yhtään yksikköä peak-teknologian mukaista kapasiteettia. Peak-teknologian mukaisen kapasiteetin tapaan, midmerit-kapasiteettia rakennetaan siihen pisteeseen saakka, että midmerit-kapasiteetin tuottajien lyhyen aikavälin voitot ovat nolla. Saatua kapasiteetin määrä on midmerit kapasiteetti, K_m . Samaa prosessia käyttäen ratkaistaan tasapainomäärä baseload kapasiteetti ja saatua kapasiteetin määrää merkitään K_b . Jos jokin teknologia on kapasiteettirajoitteinen, rakennetaan sitä joko siihen pisteeseen saakka, että tuottajien voitot ovat nolla tai että saavutetaan kyseisen teknologian mukainen kapasiteettirajoite. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012, 25.)

Sen jälkeen kun on ratkaistu tasapainon mukaiset kapasiteetin määrät eri teknologioille, on ratkaistava lyhyen aikavälin tasapaino jälleenmyyntimarkkinoilla. Lyhyen aikavälin tasapaino jälleenmyyntimarkkinoilla on sellainen tilanne, jossa jälleenmyyjät tuottavat nollavoittoa, eli tasapaino voidaan ratkaista yhtälöstä (6). Käyttäen yhtälön (6) ratkaisevaa tasahintaa p_f aloitetaan koko prosessi uudelleen peak-tekniologian mukaisesta kapasiteetista ja tätä prosessia toistetaan niin kauan, kunnes tasapainoehdot sekä tuottaja että jälleenmyyntisektorille täyttyvät. (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012,25.)



Kuvio 2. Sähkömarkkinoiden rakenne usealla tuotantoteknologiolla. Mukailten Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012)

Sähkömarkkinoiden pitkän aikavälin tasapaino muodostuu kuvion 2 mukaiseksi. Kuviossa 2 K_b kuvastaa baseload kapasiteetin määrää, K_m midmerit-kapasiteetin määrää ja K_p peak-tekniologian mukaisen kapasiteetin määrää. Alhaisen kysynnän aikoina, jota kuviossa 2 kuvastaa kysyntäkäyrä D_i , käytössä on vain baseload-kapasiteetti. Reaaliaikainen hinta on silloin p_{r1} eli tukkuhinta w_{h1} samana ajankohtana. Kuten aiemminkin on mainittu, tuotantosektorin kilpailullisuuden vuoksi tuo hinta on sama kuin baseload mukaisen tekniologian tuotantokustannukset. Aikoina jolloin kysyntä on suurempaa kuin kokonaiskapasiteetti K_{tot}^{LR} , eli tilanteessa

jota kuviossa 2 kuvastaa kysyntäkäyrä D_m , reaaliaikaisen hinnan on sopeuduttava, jotta markkinat ovat tasapainossa.

Simulaatiomallin tulosten vertailukohdaksi pitää vielä määrittää tasapaino sellaiselle tilanteelle, jossa reaaliaikaisen hinnoittelun parissa ei ole yhtään asiakasta. Mikäli asiakkaita ei ole reaaliaikaisen hinnoittelun parissa, ei kysynnällä ole lyhyen aikavälin hintajoustoa. Ilman lyhyen aikavälin hintajoustoa kapasiteettia tulee olla niin paljon, että korkeimmankin kysynnän aikana tarjonta riittää kattamaan kysytyn määrän ja markkinahinta ei muodostu korkeimpia tuotannon marginaalikustannuksia korkeammaksi. Jotta voidaan varmistua, että tarjontaa on aina riittävästi ja tuottajat voivat kattaa myös tuotannon kiinteät kustannukset, täytyy sähkön tuottajille maksaa tukkuhinnan lisäksi jonkinlaista lisämaksua. Tämä maksu on yhtä suuri, kuin peak-kapasiteetin vuosittaiset kiinteät kustannukset. Jotta tuotantorakenne ei häiriinny, on tämä maksu maksettava kaikille sähkön tuottajille, tuotantoteknologiasta riippumatta. (Borenstein 2005, 3)

3.4 Reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän vaikutuksia

Borenstein ja Holland (2005) argumentoivat, että reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden α määrän muuttamisella on kiintoisia vaikutuksia edellä esitellyn mallin mukaisilla sähkömarkkinoilla. He ovat jakaneet vaikutukset kolmeen luokkaan. Ensimmäisenä on α :n muuttamisen vaikutukset kuluttajien maksamiin hintoihin p_f ja p_r . Toisena luokkana ovat α :n muuttamisen vaikutukset sähköjärjestelmän kapasiteettiin. Kolmantena luokkana ovat α :n muuttamisen hyvinvointivaikutukset.

Reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän α lisääminen lisää kysynnän hintajoustoa. Reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrää lisäämällä kysynnän hintajoustolla on kaksinainen vaikutus tukkuhintaan w_h . Aikoina jolloin tukkuhinta on korkeampi kuin tasahinta p_f , α :n kasvattaminen pienentää kysyntää ja laskee tukkuhintaa w_h . Tämä johtuu siitä, että useampia asiakas kohtaa korkeamman hinnan p_r ja vähentää kysyntäänsä reaktiona korkeampaan hintaan. Vastaavasti aikoina jolloin reaaliaikainen hinta on tasahintaa

alhaisempi α :n kasvattaminen lisää kysyntää ja nostaa tukkuhintaa. Pitkällä aikavälillä voidaan kuitenkin osoittaa, että reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän kasvattaminen laskee pitkällä aikavälillä myös tasahinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden maksamaa hintaa p_f . (Borenstein ja Holland 2005.)

Reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän kasvattamisen vaikutuksista kapasiteetin määrään sähköjärjestelmässä ei voida puolestaan sanoa mitään yhtä yksiselitteistä kuin sen vaikutuksista hintoihin. Reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän kasvattaminen voi joko lisätä tai vähentää kapasiteetin määrää pitkän aikavälin tasapainossa. Se, kasvattaako vai vähentääkö α :n kasvattaminen kapasiteetin määrää riippuu tarjontakäyrän muodosta. Mikäli tarjontakäyrä on suhteellisen loiva matalilla kysynnän tasoilla ja suhteellisen jyrkkä korkeilla kysynnän tasoilla, on α :n kasvattamisella kapasiteettia vähentävä vaikutus. Tällaisessa tapauksessa α :n kasvattamiseen liittyvän lisääntyneen kysyntäjouaston korkeilla kysynnän tasoilla kysyntää vähentävä vaikutus on suurempi kuin sen matalilla kysynnän tasoilla kysyntää lisäävä vaikutus. Kilpailullisilla markkinoilla investoinnit tuotantokapasiteettiin tehdään voitontekomahdollisuuksien mukaan. Borenstein ja Holland (2005) mainitsevat, että useimmissa tapauksissa eli useimmilla markkina-alueilla tilanne on todennäköisesti juuri tällainen. Mikäli tarjontakäyrä markkina-alueella on kuitenkin suhteellisen jyrkkä matalammilla kysynnän tasoilla ja suhteellisen loiva korkeammilla kysynnän tasoilla, on mahdollista, että α :n kasvattamisella olla kokonaiskapasiteetin määrää kasvattava vaikutus. (Borenstein ja Holland 2005).

Reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden osuuden α lisääminen vaikuttaa kapasiteetin määrään seuraavanlaisen mekanismin kautta. Kilpailullisilla markkinoilla päätökset investoinneista tuotantokapasiteettiin tehdään voitontekomahdollisuuksien perusteella. Reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden osuuden α lisääminen lisää kysynnän hintajoustoja korkean kysynnän aikoina ja vähentää tuottajien voitontekomahdollisuuksia korkean kysynnän aikoina. Vähentyneet voitontekomahdollisuudet korkean kysynnän aikoina vähentävät insentiiviä investoida tuotantokapasiteettiin. Silloin kun reaaliaikainen hinta on tasahinnan alapuolella, α :n kasvattaminen kasvattaa kysyntää ja voittoja tällaisina aikoina. Lisääntyneet voitot toimivat insentiivinä uusille investoinneille.

Tuotantokapasiteetin kokonaismäärä kasvaa, mikäli voittojen lisääntyminen matalan kysynnän aikoina on suurempaa kuin voittojen väheneminen korkean kysynnän aikoina. Tuotantokapasiteetin määrä vähenee, mikäli voittojen väheneminen korkean kysynnän aikoina on suurempaa kuin voittojen lisääntyminen matalan kysynnän aikoina. (Borenstein ja Holland 2005). Se vaikuttaako reaaliaikainen hinnoittelu kapasiteetin määrään ja millä tavoin riippuu siis tarjontakäyrän muodosta ja siitä kuinka reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevat asiakkaat muuttavat kulutustaan reaktiona muuttuviin hintoihin. Borensteinin ja Hollandin (2005) analyysi ei ota huomioon sitä, että vaikka reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevat asiakkaat saattavat vähentää kysyntäänsä korkean hintojen aikoina, eivät asiakkaat välttämättä lisää kysyntäänsä, ainakaan samassa suhteessa, matalien hintojen aikoina.

Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012) ovat käyttäneet simulointimalliaan simuloidakseen reaaliaikaisen hinnoittelun vaikutuksia tuotantorakenteeseen ja kokonaistuotantokapasiteettiin eri kysynnän hintajoustop ϵ ja reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden α arvoilla. Simulaatiotulokset perustuvat pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla vallitseviin todellisiin kysyntä- ja tarjontaolosuhteisiin. Taulukkoon 1. on tiivistetty tuotantorakennetta koskevat tulokset näistä simulaatioista.

Taulukko 1. α :n ja ϵ :n muutoksien vaikutus tuotantorakenteeseen. Mukailten Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012, 35)

ϵ	α	Sähköenergian kokonaiskulutus (TWh)	Mid-merit kapasiteetin määrä (MW)	Peak- kapaasiteetin määrä (MW)	Kapasiteetin kokonaismäärä (MW)
0	0	389.38	14,351	15,318	63,204
-0.025	0.333	390.08	14,419	12,799	60,753
-0.025	0.666	390.51	14,451	11,277	59,263
-0.025	0.999	390.83	14,486	10,260	58,281
-0.1	0.333	393.90	14,869	9,723	58,127
-0.1	0.666	394.79	15,033	7,513	56,081
-0.1	0.999	395.49	15,213	5,900	54,648
-0.3	0.333	402.90	16,088	6,329	55,952
-0.3	0.666	404.97	16,679	2,599	52,813

-0.3	0.999	406.51	16,967	0	50,502
------	-------	--------	--------	---	--------

Kuten taulukosta 1. voidaan lukea, on α :n kasvattamisella kokonaiskapasiteetin määrää pienentävä vaikutus, sekä ϵ :n arvolla -0.025, -0.1, että -0.3. Taulukosta voidaan lukea myös, kuinka kaikilla taulukkoon merkityillä ϵ :n arvoilla α :a kasvattamalla tasapainon mukainen peak-kapasiteetin määrä laskee ja tasapainon mukainen midmerit-kapasiteetin määrä hieman nousee. Simulaatiomallin mukaan pohjoismaisten sähkömarkkinoiden tapauksessa reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän kasvattaminen siis pienentää tarvittavan kokonaiskapasiteetin määrää ja muuttaa tuotantorakennetta, siten vähentäen peak-tuotantoyksiköiden tarvetta ja lisäten midmerit- ja baseline-tuotantoyksiköiden käyttöä. Kuten taulukosta 1. voidaan lukea, kaikkein korkeimmilla α :n ja ϵ :n arvoilla on peak-kapasiteetin määrä nolla ja käytössä on vain midmerit- ja baseline-kapasiteettia.

Sen lisäksi, että ϵ :tä kasvattamalla simulaatiomallissa saadaan kokonaiskapasiteetin määrä pienenevä, on samanlainen vaikutus myös α :n kasvattamisella annetulla ϵ :llä. Simulaatiomallin mukaan siis α :a ja ϵ :ia maksimoimalla, ainakin ϵ :n arvoon -0.3 saakka, minimoituu kokonaiskapasiteetin määrä. Kuten taulukosta 1. voidaan lukea, samalla kuitenkin energian kokonaiskulutus kasvaa hieman edellä mainittuja parametrejä kasvatettaessa. Nämä kaksi huomiota yhdistämällä voidaan siis todeta, että simulaatiomallin tulosten mukaisesti kapasiteetin käyttö on sitä tehokkaampaa mitä suurempia arvoja α ja ϵ saavat.

4. KULUTTAJIEN SÄHKÖNSÄÄSTÖN MAHDOLLISUUDET

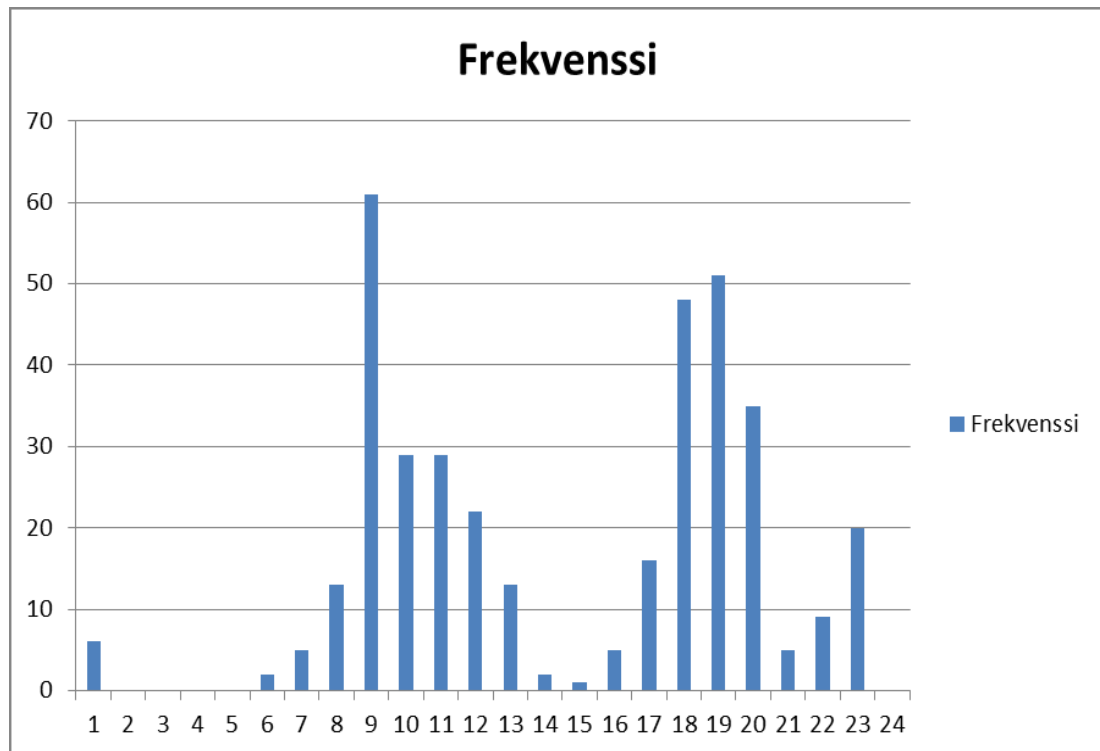
4.1. Sähkön luonne hyödykkeenä

Sähkö hyödykkeenä poikkeaa luonteeltaan useista muista kotitalouksien yleisesti käyttämistä hyödykkeistä. Sähköä ei kuluteta suoraan, vaan epäsuorasti kotitalouksien eri sähköä kuluttavien laitteistojen kautta. Hyödykkeenä sähkö on välttämätön, mutta arkinen. Sähkö on näkymätön ja abstrakti hyödyke, johon näin ollen ei helposti kehity myöskään erityistä tunnesidettä. Edellä mainittujen asioiden lisäksi sähkön kulutuksesta aiheutuvat kustannukset eivät yleensä ole kovin merkittävä osa kotitalouksien käytettävistä olevista kokonaismenoista. (Fischer 2008, 80) Kaikki seikat huomioon ottaen sähköä voidaankin kuvailla ”matalan mielenkiinnon” hyödykkeeksi. (Fischer 2008, 80.)

Kotitalouksien sähkönkulutus on paljolti opittuihin tapoihin perustuvaa tapakulutusta. Tapakulutuksella tarkoitetaan kulutusta, jota toistetaan usein samoihin aikoihin, asiaa kummemmin miettimättä. Esimerkkinä voidaan mainita vaikkapa kuivausrummun käyttö heti pyykinpesun jälkeen tai astioiden tiskaaminen tiskikoneella aterioinnin päätyttyä. (Fischer 2008, 81.) Sähkön tapakulutus aiheuttaa ennustettavuutta sähkön kysyntäpiikkien esiintymiseen. Kysyntäpiikit heijastuvat sähkön tuntikohtaisissa spot-hinnoissa. Kysyntäpiikit eivät ole säännöllisiä, mutta esiintyvät kuitenkin pääosin samoihin aikoihin päivittäin (Sael ja Grande 2011, 105–106.)

Kuvio 3. havainnollistaa sähkön tapakulutuksesta aiheutuvaa kysyntäpiikkien keskittymistä tietyille tunneille päivässä. Kuvio 3. on muodostettu pohjoismaisesta sähköpörssistä Nordpoolin vuodelta 2011 ilmoittamien toteutuneiden Suomen aluehintojen pohjalta. Havaintojen määrä on yhteensä 372. Tämä johtuu siitä, että joinakin päivinä päivän korkein hinta oli täsmälleen sama useampana kuin yhtenä tuntina päivässä. Kuvioon 3. vaaka-akselille on merkitty vuorokauden tunnint. Vaaka-akselilla 1 tarkoittaa vuorokauden ensimmäistä tuntia, joka alkaa kello 00 ja päättyy kello 01, 2 tarkoittaa vuorokauden toista tuntia eli tuntia, joka alkaa kello 01 ja

päättyy kello 02 ja niin edelleen. Kuviossa 3. pystyakselille syntyy merkintä sille kohtaa mihin, vuorokauden huippuhinta asettuu.



Kuvio 3. Sähkön päivittäisen huippuhinnan esiintymistiheys tunneittani vuonna 2011. Nordpool Suomen aluehinta. Nordpool (2013).

Kuten kuviosta 3. voidaan huomata, ei Suomen aluehinnan päivittäisten huippujen esiintymistiheys jakaudu tasaisesti vuorokauden eri tunneille. Enemminkin päivittäiset huiput tuntuvat kasautuvan kahteen eri vuorokauden ajankohtaan: myöhäiseen aamu- ja iltapäivään. Huippuhintatuntien suureen esiintymistiheyteen juuri näinä ajankohtina vaikuttavat useat kysyntäpuolen tekijät. Esimerkiksi useat yritykset aloittavat päivänsä ja sen myötä sähköä kuluttavat toimintonsa usein aamulla kahdeksan tai yhdeksän aikoihin. Ei tule kuitenkaan väheksyä myöskään kotitalouksien osuutta huippuhintapiikkien synnyssä. Yleisestä elämänrytmyksestä johtuen kotitalouksien tapakulutuksellisen kulutus tapahtuu useilla kotitalouksilla samaan aikaan päivästä. Esimerkiksi töistä kotiin palatessa hoidetaan paljon päivittäisiä askareita, pyykinpesusta ja ruuanlaitosta peseytymiseen.

On muistettava, että huippuhinta ei heijastele pelkästään kysyntää tiettyinä ajankohtana, koska siihen on aina sekoittunut myös tarjontavaikutus. Frekvenssitaulukko on kuitenkin muodostettu yhden kokonaisen vuoden aineistosta, joten siitä kuitenkin voidaan tehdä päätelmiä myös kysyntäolosuhteista. Voidaan olettaa, että pidempi tarkasteluväli vähentää tarjontaolosuhteiden muutoksien aiheuttamia vaikutuksia.

Tutkimuksessaan kotitalouksien kysyntähuippujen tasoittamisen mahdollisuudesta kotitalouden sähkölaitteita ohjailevan äly-yksikön (Smart Home Controller) avulla Di Giorgio ja Pimpinella (2012, 95) jakoivat kotitalouden sähkökuormat (Load) kolmeen eri luokkaan. Ensimmäiseksi luokaksi he määrittivät suunniteltavissa olevat kuormat. Nämä kuormat ovat sellaisia, joiden ajankohta on kuluttajan kannalta kaikkein joustavin. Seuraava heidän luokistaan on hallittavissa olevat kuormat. Nämä kuormat ovat sellaisia, jotka voidaan sammuttaa ja käynnistää hintojen vaihdellessa ilman että se aiheuttaisi haittaa kuluttajalle laitteista nauttimaan hyötyä kohtaan. Viimeinen heidän luokistaan on havaittavissa ja havainnoitavissa olevat kuormat, joita ei voida sammuttaa tai kytkeä päälle hintojen vaihdellessa ilman haittaa kuluttajan laitteista nauttimaan hyötyä kohtaan. (Di Giorgio ja Pimpinella 2012, 95–96.)

Myös Sael ja Grande (2011, 105) erottelevat tutkimuksessaan kotitalouksien sähkölaitteiden aiheuttamia kuormia sen mukaan kuinka potentiaalisia ne ovat kysyntävasteen luomisessa. Eri sähkölaitteet eroavat toisistaan siinä mielessä, kuinka suuri ”kustannus” niiden käyttämisen lykkäämisestä koituu. Kustannuksella tarkoitetaan siis sitä, kuinka paljon kuluttajan laitteesta nauttimaan hyöty kärsii kulutuksen lykkäämisestä. Suuren potentiaalin he näkevät erityisesti sähköllä toimivissa vedenlämmittimissä ja sähköllä toimivissa lämmityslaitteistoissa, jotka varastoivat energiaa. Tällaiset laitteistot voidaan sammuttaa muutamaksi tunniksi kerrallaan, aiheuttamatta suurta haittaa niiden käyttäjän laitteista nauttimaan hyötyä kohtaan. Lisäksi lämmityslaitteet aiheuttavat kotitalouksien kontekstissa melko suuren kuorman niiden ollessa käytössä. Luonteeltaan nämä kuormat ovat siis sellaisia, joita voitaisiin nimittää Di Giorgion ja Pimpinellan (2012) mainitsemiksi suunniteltavissa oleviksi kuormiksi. He nimittävät tällaista kysyntävastetta potentiaaliseksi ”halvaksi kysyntävasteeksi”. Esimerkkeinä laitteista, joiden käytön

välttämällä on jonkinlainen vaikutus käyttäjän laitteista nauttimaan hyötyä vähentävänä tekijänä, mutta jotka silti ovat potentiaalisesti edullisia kysyntävaste-elementtejä, Sael ja Grande (2011, 105) mainitsevat pyykinpesukoneet, pyykinkuivauslaitteet ja astianpesukoneet.

Erityyppiset sähkölaitteiden kysyntäprofiilit eroavat huomattavasti toisistaan ja näin ollen ne myös kuormittavat verkkoa hyvin eri tavoilla. Se minkä tyyppisen kuormituksen laite aiheuttaa, vaikuttaa siis suuresti siihen kuinka suuri potentiaali kysyntävasteen luomiseen laitteella on. Kuinka korkea on laitteen aiheuttama huippukuorma, kuinka pitkään huippukuorma yleensä kestää ja kuinka yleistä kyseisen laitteen omistaminen on, ovat tärkeimpiä seikkoja, kun mietitään laitteen verkolle aiheuttaman kuorman vähentämisen potentiaalia kysyntäpiikkien aikoina. (Newborough ja Augood 1999.)

Useiden kodin jokapäiväisessä käytössä olevien laitteiden aiheuttamat huippukuormat ovat niin pieniä, että niitä säätelemällä ei voida synnyttää kovin suurta kysyntävastetta. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi televisio, äänentoisto ja jääkaappi. Näitä laitteita käytetään yleensä pidemmän aikaa, mutta niille on ominaista suhteellisen matala huippukuorma, joka yleensä asettuu 10–200 W suuruusluokkaan. Myöskään kotitalouksien valaistuksen säätelyllä ei näytä olevan kovin suurta merkitystä, ellei kotitalous ole erityisen suuri ja voimakkaasti valaistu. (Newborough ja Augood 1999.)

Laitteet jotka hyödyntävät sähköllä toimivia lämmitysvastuksia vaikuttavat olevan potentiaalisimpia ehdokkaita kysyntävasteen luomiseen kysyntäpiikkien aikoina. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi sähköliesi, silitysrauta sekä astian- ja pyykinpesukone. Näille laitteille on ominaista suhteellisesti korkea huippukuorma, 1000–3000 W, joka kestää suhteellisen vähän aikaa. Usean sähköllä toimivia lämmitysvastuksia sisältävän laitteen käyttäminen yhtä aikaa voi aiheuttaa jopa 10 kW suuruisia hetkellisiä kuormia. (Newborough ja Augood 1999.)

Sähkön luonne matalan mielenkiinnon hyödykkeenä aiheuttaa sen, että suurimmalla osalla kotitalouksista sähkön kulutus on opittuihin tapoihin perustuvaa tapakulutusta. Erityyppisten laitteiden kuormitusprofiilit vaikuttavat siihen kuinka hyvin kotitalous

voi laitteen käyttöä säätelemällä vaikuttaa kysyntäänsä. Joidenkin laitteiden käytön lykkääminen aiheuttaa toisia laitteita suurempaa haittaa kuluttajalle. Kysyntäpiikkien olennaista onkin siis tunnistaa laitteet, jotka suhteellisesti aiheuttavat korkeimpia mutta edullisesti siirrettäviä tai väistettäviä kuormia.

4.2. Kulutusinformaation vaikutus kotitalouksien sähkönkulutukseen

Mietittäessä kotitalouksien kysyntävastetta ja todellisia sähkönsäästömahdollisuuksia, lähtöpisteenä voitaisiin ajatella käytettävän tilannetta, jossa kuluttaja on perinteisen tasahinnoittelun piirissä, mutta kuluttajaa informoidaan paremmin kulutuksestaan. Näin meneteltäessä kuluttaja tulee paremmin tietoiseksi sähkön käytöstään. Fischer (2008, 80) vertaa tutkimuksessaan karrikoidusti kuluttajan perinteisesti sähkönkulutuksestaan saamaa informaatiota tilanteeseen, jossa kuluttaja ollessaan ruokakaupassa ostoksilla ei havaitse yksittäisten tuotteiden hintoja ja maksaa ruoastaan jälkikäteen kuukauden tai jopa vuoden kokonaisruoankulutuksen. Kuluttaja ei siis havaitse, millä tekemisillä on vaikutusta hänen sähkönkulutukseensa. Kuluttaja ei myöskään tiedä, onko hänen sähkönkulutuksensa verrattain korkeaa tai matalaa. Fischer (2008, 102) mainitsee tilanteen olevan kuitenkin hiljalleen muuttumassa, tutkimuksissa kulutusinformaation lisäämisestä saatujen rohkaisevien tuloksien innoittamana. Esimerkiksi EU on säätänyt direktiivin (2006/32/EC), joka velvoittaa jäsenmaita ottamaan käyttöön informatiivisemmän sähkön laskutuksen. Informatiivisemmalla sähkön laskutuksella tarkoitetaan sitä, että sähkön laskutuksen tulisi olla tiheämpää ja sen tulisi sisältää historiallista ja normatiivista vertailua kulutuksen kehityksestä sekä yhteystietoja, joista kuluttaja voi saada lisätietoja energiatehokkuudesta.

Taloudelliset teorit eivät yksiselitteisesti ennusta minkälainen vaikutus on kulutusinformaation lisäämisellä sähkönkulutukseen, vaikkakin useat tahot ovat argumentoineet, että kulutusinformaation lisäämisellä olisi energiatehokkuutta ja energiansäästöä kasvattava vaikutus (Gans et al. 2013). Aiheesta on tehty useita tutkimuksia ja esimerkiksi Fischer (2008) kokoaa näitä tutkimuksia yhteen ja tulkitsee niiden tuloksia. Fishcerin analysoimissa tutkimuksissa kulutusinformaation lisäämisellä vaikuttaa yleensä olevan sähkön kulutusta vähentävä vaikutus. Vaikutusten suuruusluokka asettui 1.1 % ja 20 % väliin, useimpien säästöjen

asettuessa 5% ja 12 % väliin. Lisäksi muutamissa tutkimuksissa kulutusinformaation lisäämisellä ei havaittu olevan vaikutusta sähkön kulutukseen. Gans et. al. (2013) mainitsevat Fishcerin analysoimien tutkimusten olevan tutkimuksia pienimuotoisista pilottiprojekteista ja siitä johtuen aineistoltaan ongelmallisia. Heidän mukaansa analysoitujen tutkimusten aineisto oli useassa tapauksessa hyvin pieni ja projektiin osallistumisen vapaaehtoisuudesta johtuen itsevalintaongelmien vaivaama. Fischer (2008) itsekkin tunnistaa ongelmat analysoimiensa tutkimusten aineistoissa ja korostaa, että saatuja tuloksia tulisi sen vuoksi tulkita erityisellä varovaisuudella.

Ensimmäinen mahdollisuus suurimuotoisemman tutkimuksen tekemiseen kulutusinformaation vaikutuksesta sähkön kulutukseen tarjoutui Pohjois-Irlannista. Pohjois-Irlannissa tapahtui teknologinen muutos, kun vuonna 2002 monopoliyhtiö Northern Ireland Energyn etukäteismaksulla sähkönsä maksavien asiakkaiden mittarointi vaihdettiin Advanced Metering Infrastructure (AMI) tyyppisiin mittareihin. Tämä muutos mahdollisti suuren mittakaavan luonnollisen kokeen kulutusinformaation lisäämisen vaikutuksesta kotitalouksien sähkönkulutukseen. Mittareiden vaihtohetkellä yhteensä yli 75 000 asiakasta, eli NIE:n asiakkaista 14 % oli etukäteismaksun piirissä. Tämä ryhmä toimi tutkimuksessa ryhmänä, joka altistettiin käsittelylle ja loput NIE:n asiakkaista, joille ei vaihdettu AMI -teknologian mittareita, toimivat tutkimuksen kontrolliryhmänä. (Gans et al. 2013.)

Ennen siirtymää AMI teknologian mukaisiin mittareihin etukäteismaksun piirissä olevat asiakkaat latasivat rahaa korteille, jotka sähkömittariin syöttämällä saivat sähkön virtaamaan talouteen. AMI-teknologian mukaisiin mittareihin siirtymisen myötä teknologian piiriin siirtyneille kuluttajille jaettiin keypad-seurantalaite. Siirtymän jälkeen etukäteismaksu hoidetaan syöttämällä keypad-laitteeseen koodi, joka ostetaan NIE:ltä. Kuitenkin tutkimuksen kannalta tärkein ominaisuus, jonka keypad-laite toi mukanaan, on laitteeseen sisältyvä sähkönkulutuksen seurantaominaisuus. Keypad-laitteen näytöltä kuluttaja voi seurata koska vain kuinka paljon rahaa etukäteismaksutilillä on vielä jäljellä ja kuinka pitkäksi aikaa tuo rahamäärä riittää, perustuen edellisviikon kulutukseen. Näytöltä kuluttaja voi lisäksi seurata kulutus- ja kustannuslukemia edellispäivien, -viikkojen ja –kuukausien ajalta sekä kWh ja rahamääräistä kulutustaan reaaliajassa. (Gans et al. 2013.)

Gans et al.(2013) havaitsivat tutkimuksessaan informaation lisäämisellä, eli sillä onko kuluttajalla keypad-laite, olevan sähkönkulutusta vähentävä vaikutus. Vaikutuksen suuruus vaihtelee riippuen siitä, minkälaisella aikaikkunalla laitteen vaikutusta mitataan, mutta keypad-laitteen vaikutus on silti jatkuvasti kulutusta vähentävä ja merkittävä. Pienimmässä aikaikkunassa laitteen käyttöönoton ympärillä, 2000–2005 kulutusta vähentävä vaikutus oli 10.67 % ja suurimmassa aikaikkunassa 1990–2009 vaikutus oli 17.68 %. Pienin aikaikkuna kuvastaa parhaiten laitteen vaikutusta, koska sitä käyttämällä vältetään pitkäaikaisten kulutustrendien vaikutuksista tuloksiin. Gans et al. toteavat että talotyypistä ja kotitalouden ominaisuuksista riippumatta informaation lisäämisellä on merkittävä sähkönkulutusta vähentävä vaikutus.

Fischer (2008, 101) on koonnut artikkelissaan yhteen millaisia piirteitä kuluttajille tarjottavan lisäinformaation tulisi sisältää, jotta sillä olisi mahdollisimman todennäköisesti sähkönsäästöä edistävä vaikutus. Hänen mukaansa kuluttajille tarjottavan kulutusinformaation tulisi perustua todelliseen kulutukseen, sisältää historiallisia ja normatiivisia vertailuja, olla esitetty helposti ymmärrettävässä ja miellyttävässä muodossa sekä olla interaktiivista. Edellä mainittujen piirteiden lisäksi informaation tulisi olla tarjolla lyhyin aikavälein, mieluiten päivittäin tai useammin, ja siitä tulisi pystyä erottelemaan laitekohtaisia kulutuksia.

Lisäinformaation vaikutusta kuluttajan sähkönkulutukseen voidaan ajatella pidettävän lähtökohtana sille, minkälaisia mahdollisuuksia kuluttajilla on sähkönkulutuksensa säätelyyn. Lisäinformaation vaikutus sähkönkulutukseen kertoo tärkeää tietoa siitä suuruusluokasta, missä kuluttajien sähkönsäästömahdollisuudet ja halukkuus liikkuvat. Muistettava kuitenkin on, että informaation vaikutusta sähkönkulutukseen tutkineet tutkimukset vertailevat eroja aggregaattitasolla, eivätkä nämä tulokset ole suoraan verrannollisia kuluttajan hetkellisiin sähkönsäästömahdollisuuksiin. Reaaliaikaisen hinnoittelun vaikuttavuutta kysyntäpiikkien tasoittamisessa mietittäessä olennaista on nimenomaan hetkelliset sähkönsäästömahdollisuudet eli kysyntävaste.

Reaaliaikaisesta hinnoittelusta puhuttaessa on kuitenkin relevanttia puhua myös kulutusinformaation vaikutuksesta sähkönkulutukseen. Mikäli reaaliaikaisen

hinnoittelun myötä kuluttajille tarjotaan teknisiä ratkaisuja joilla kuluttaja voi seurata sähkön hintaa ja kuluttamaansa määrää reaaliajassa, on mahdollista, että reaaliaikaisen hinnoittelun huippukysyntää vähentävän vaikutuksen lisäksi reaaliaikainen hinnoittelu vähentää kysyntää myös muina aikoina kuluttajan tullessa tietoisemmaksi sähkönkulutuksestaan.

4.3. Kysyntävaste

Yhdysvaltain energiaviraston (2006, ix) määritelmän mukaan kysyntävasteella tarkoitetaan sähkön kuluttajien aktiivista osallistumista sähkömarkkinoille hintoja tarkkailemalla ja reagoimalla muuttuviin hintoihin. Tarkemmin sanottuna kysyntävasteella tarkoitetaan tilannetta, jossa sähkön loppukäyttäjä muuttaa kulutustaan reaktiona sähkön muuttuvaan hintaan tai johonkin kannustimeen siten, että kulutus poikkeaa loppukäyttäjän normaaleista kulutustottumuksista. ICE (2003, 17) määrittelee kysyntävasteen joukoksi strategioita, joilla voidaan lisätä kysyntäpuolen osallistumista sähkömarkkinoiden hinnanmuodostukseen ja kysynnän ja tarjonnan kohtaamiseen markkinoilla.

Kuluttajalla on karkeasti jaoteltuna kolme mahdollisuutta kysyntävasteen luomiseen. Ensimmäinen mahdollisuus on, että kuluttaja vähentää sähkönkulutustaan kriittisten kysyntäpiikkien aikana mutta ei muuta kulutustaan muina ajankohtina. Tällä tarkoitetaan siis sitä, että kuluttaja ei korvaa kysyntäpiikkien aikana vähennettyä kulutustaan myöhempänä ajankohtana. Tällaista kysyntävastetta voidaan luoda esimerkiksi vähentämällä valaistusta tai säätämällä ilmastointia kuluttamaan vähemmän energiaa kriittisinä aikoina. Toinen mahdollisuus kuluttajilla on siirtää kulutustaan kysyntäpiikkien ajankohdasta toiseen ajankohtaan. Kulutusta ei siis kokonaan vältetä kuten ensimmäisessä tapauksessa, vaan sen ajankohta siirretään matalamman kysynnän ajankohtaan. Tämän tyyppistä kysyntävastetta voidaan synnyttää esimerkiksi päättämällä mihin aikaan käytetään pesukonetta. Kolmas mahdollisuus kysyntävasteen luomiseen on verkosta kysytyn kuorman korvaaminen omalla tuotannolla. Kuluttajalla voi olla varajärjestelmä, joka käynnistetään kysyntäpiikkien aikana. Kuluttajan sähkönkäyttö ei muutu, mutta verkosta otettu kuorma vähenee, kun kuluttaja korvaa verkosta otetun sähkön määrän joko osittain tai kokonaan omalla tuotannollaan. (Albadi ja El-Saadany 2008.)

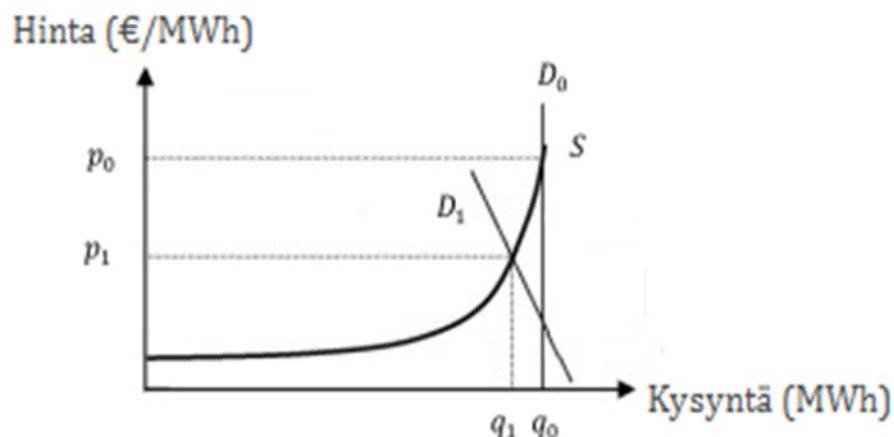
Kysyntävasteesta puhuttaessa on hyvä tehdä selväksi, mitä eroa ja yhteistä kysyntävasteella on toisen paljon yleisessä keskustelussa esiintyvään termin, energiatehokkuuden kanssa. Goldman et. al (2010) määrittelevät energiatehokkuuden parantumisen pysyväksi muutokseksi energiankäytössä, joka saavutetaan korvaamalla olemassa olevia sähkölaitteita vähemmän sähköä kuluttavilla laitteilla tai asentamalla teknologiaa, jonka avulla olemassa olevat laitteet saadaan suoriutumaan samoista tehtävistä kuin ennenkin, mutta vähemmän sähköä kuluttavasti. Muutokset joilla lisätään energiatehokkuutta ovat heidän määritelmänsä mukaan pitkäaikaisia ja kohdistuvat tasaisesti vuorokauden kaikille ajoille. Heidän määritelmän mukaisia energiatehokkuutta lisääviä muutoksia voisivat olla esimerkiksi jääkaapin vaihtaminen energiatehokkaampaan malliin tai kodin lämpöeristyksen parantaminen, jolloin olemassa olevat lämmityslaitteistot selviäisivät saman lämpötilan ylläpitämisestä kodissa pienemmällä energiankulutuksella. Kysyntävasteesta Goldman et. al (2010) käyttävät Yhdysvaltain energiaviraston (2006, ix) mukaista määritelmää.

Kysyntävaste ja energiatehokkuus ovat siis eri asia, mutta kuitenkin liittyvät läheisesti toisiinsa. Yhteys kysyntävasteen ja energiatehokkuuden välille syntyy ainakin siinä vaiheessa, mikäli asiakas kysyntävasteen määrää kasvattaakseen korvaa olemassa olevia laitteistojaan vähemmän energiaa kuluttavilla laitteilla tai asentaa olemassa oleviin laitteistoihin teknisiä ratkaisuja joiden avulla niiden toimintaa voidaan optimoida. Energiatehokkuus ja kysyntävaste kohtaavat siis silloin, kun voimistaakseen mahdollisuutta reagoida muuttuviin hintoihin tai kannustimeen asiakas asentaa laitteistoja, joiden vuoksi asiakas voi suoriutua vähemmällä energiamäärällä halutuista tehtävistä myös kaikkina muina aikoina. Goldman et. al (2010) myös mainitsevat, että mikäli jonkin tietyn kysyntävasteohjelman seurauksena asiakkaiden kokonaisenergiankulutus vähenee, voidaan sanoa, että tällöin kysyntävasteohjelmalla on ollut energiatehokkuutta lisäävä vaikutus.

Kysyntävasteesta saatavat hyödyt voidaan jakaa neljään luokkaan. Ensimmäinen luokka on kysyntävasteesta kuluttajille syntyvä hyöty. Kuluttajille syntyy hyötyä, kysyntävasteen tyypistä riippuen joko kysyntävasteohjelman puitteissa maksettavien kannustimien muodossa, mikäli kyseessä on kannustinpohjainen kysyntävasteohjelma tai alentuneina sähkökustannuksina mikäli kyseessä on

hintapohjainen kysyntävasteohjelma. Hintapohjaisen kysyntävasteohjelman tapauksessa kuluttaja voi kulutusajankohtiaan muuttamalla esimerkiksi lisätä sähkön kokonaiskulutustaan, maksamalla suuremmasta kokonaiskulutuksesta vain saman verran kuin aikaisemmin. (Albadi ja El-Saadany 2008, 1991).

Toinen luokka on koko markkinoiden laajuinen hyöty kysyntävasteesta. Tehokkaan kysyntävasteen tuloksena on odotettavaa, että sähkön yleinen hintataso laskee. Tämä perustuu siihen, että mikäli kysyntävasteella voidaan pienentää kysyntäpiikkejä, vähenee kalliiden huippukysynnän tyydyttämiseksi olemassa olevien tuotantoyksiköiden tarve. (Albadi ja El-Saadany 2008, 1991.) Huippukysynnän tyydyttämiseksi olemassa olevat tuotantolaitokset ovat marginaalikustannuksiltaan kaikkein kalleimpia operoida, joten niiden käytön vähentämisellä on täten keskimääräistä hintaa alentava vaikutus. Kysyntävasteesta eivät siis hyödy vain kysyntävasteohjelmien piirissä olevat asiakkaat, vaan kaikki asiakkaat.



Kuvio 4. Mukailten Albadi ja El-Saadany (2008, 1991)

Sähkön tuotantokustannukset nousevat eksponentiaalisesti kun lähestytään maksimituotantokapasiteettia. Näin ollen pienelläkin määrällä sähkön kysynnän muutosta voidaan vaikuttaa merkittävästi sähkön hintaan (Albadi ja El-Saadany 2008, 1992). Kuvio 4. on yksinkertaistettu kuvaus tilanteesta sähkömarkkinoilla ja havainnollistaa tilannetta. Kuviossa 4. D_0 kuvastaa kysyntäkäyrää ilman kysyntävastetta. Kysyntä on tässä tilanteessa täysin joustamatonta. Tasapainossa

hinta on p_0 ja määrä q_0 . Kuviossa 4. D_1 kuvastaa kysyntäkäyrää tilanteessa, jossa kuluttajat luovat kysyntävastetta. Tasapainohinta on p_1 ja määrä q_1 . Kuten kuviosta voi huomata, tarjontakäyrän muodosta johtuen lähellä maksimituotantokapasiteettia pienelläkin määrällä kysyntävastetta voidaan vaikuttaa suuresti tasapainohintaan.

Kolmanneksi luokaksi kysyntävasteesta saatavista hyödyistä Albadi ja El-Saadany (2008, 1991) mainitsevatkin koko markkinoiden paremman toiminnan. Kun kuluttajat voivat toimillaan vaikuttaa kohtaamaansa hintaan, lisääntyvät kuluttajien valintamahdollisuudet. Toinen tärkeä osa kysyntävasteesta johtuvasta markkinoiden paremmasta toiminnasta on kysyntävasteen vuoksi vähenevä volatilitiiteetti sähkön hinnassa.

Neljäs luokka kysyntävasteesta saatavista hyödyistä on kysyntävasteen vuoksi lisääntynyt toimitusvarmuus. Tehokkaalla kysyntävasteen hyödyntämisellä voidaan vaikuttaa myönteisesti koko verkon toimitusvarmuuteen ja vähentää ylikuormituksesta johtuvien sähkökatkosten todennäköisyyttä. (Albadi ja El-Saadany 2008, 1991.)

4.3.1. Kannustinpohjainen kysyntävaste

Kannustinpohjaisella kysyntävasteella puolestaan tarkoitetaan tilannetta, jossa sähkön kuluttajalla ja esimerkiksi jakeluverkon ylläpitäjällä tai muulla toimitusvarmuudesta vastaavalla taholla on keskinäinen sopimus, joka sisältää kannustimia sähkönkulutuksen vähentämiseksi aikoina jolloin sähkön tukkuhinta on kaikkein korkeimmillaan ja sähköverkon toimintavarmuus on mahdollisesti uhattuna. Jakeluverkon ylläpitäjä ilmoittaa kuluttajille ajankohdat, jolloin kuluttajilta kysyntävastetta tarvitaan ja kuluttaja päättää reagoiko kulutusta vähentämällä. Kuluttajille tarjottavat kannustimet voivat olla muodoltaan esimerkiksi ohjelmaan kuulumisen johdosta tarjottava kiinteäsummainen vähennys sähkölaskun loppusummasta. Jakeluverkon ylläpitäjä seuraa, reagoiko kuluttaja kulutustaan vähentämällä ilmoitettuna ajankohtina, ja sopimustyyppistä riippuen rankaisee kuluttajaa, mikäli kuluttaja ei reagoi annettuihin signaleihin kulutustaan vähentämällä. (Yhdysvaltain energiavirasto 2006, 10.)

IAE (2003, 19) nimittää tämän tyyppistä kysyntävastetta systeemiähtöiseksi kysyntävasteeksi ja laajentaa määritelmän koskemaan vielä niitäkin tilanteita joissa kuluttaja ei itse saa päättää vähentääkö kulutustaan vai ei. Tilanteessa kuluttajalla ja jakeluverkon ylläpitäjällä on sopimus, jonka puitteissa jakeluverkon ylläpitäjä saa etänä sammuttaa osan kuluttajan kuormista. Yleensä tällaiset kuormat ovat kuluttajan suurimpia kuormia, kuten esimerkiksi ilmastointi. Jakeluverkon ylläpitäjän tulee asentaa tarvittava tekniikka kuormien etänä pois päältä kytkemiseksi.

Kannustinpohjainen kysyntävaste on tärkeä väline systeemin toimitusvarmuuden ylläpitämiseksi. Se ei ole kuitenkaan tämän tutkimuksen keskiössä systeemiähtöisyydestään johtuen. Kannustinpohjainen kysyntävaste on lähinnä väline jakeluverkon ylläpitäjälle toimitusvarmuuden ylläpitämiseksi kriisiaikoina, eikä sen käytön keskeinen tavoite ole markkinoiden tehokkuuden parantaminen. Toinen tärkeä syy miksi kannustinpohjainen kysyntävaste ei ole tämän tutkimuksen keskiössä on se, että vaikka on olemassa esimerkkejä myös kotitalouksille suunnatuista kannustinpohjaisista kysyntävasteohjelmista, on sen yleisin käyttökohde suuria kuormia tuottavat teollisuusasiakkaat joilla on hallittavissa olevia kuormia. Kotitalouksien kannalta relevantimpi kysyntävasteen muoto on markkinalähtöinen, eli hintapohjainen kysyntävaste.

4.3.2. Hintapohjainen kysyntävaste

Hintapohjaisella kysyntävasteella tarkoitetaan tilannetta, jossa kuluttaja muuttaa sähkön kulutustaan reaktiona muutokseen kohtaamassaan jälleenmyyntihinnassa. Hintapohjaisessa kysyntävasteessa kuluttajan mahdollisuus vaikuttaa sähkölaskunsa suuruuteen perustuu kuluttajan omiin vapaaehtoiisiin päätöksiin sähkönkäyttönsä ajoittamisesta. Kuluttaja voi siirtää sähköä kuluttavia toimintojaan korkean hinnan ajoista muihin aikoihin jolloin hinta on matalammalla tai vain yksinkertaisesti välttää mahdollisuuksiensa mukaan sähkön käyttöä korkean hinnan aikoina. Olennaista hintapohjaisessa kysyntävasteessa on se, että päätös kulutetusta määrästä syntyy seurauksena kuluttajan omista arvioista, joita kuluttajat tekevät muuttuvien markkinahintojen motivoimina. (Yhdysvaltain energiavirasto 2006, 9). IAE (2003, 19) käyttää tämäntyyppisestä kysyntävasteesta nimitystä markkinalähtöinen kysyntävaste korostaen eroa kannustinpohjaiseen kysyntävasteeseen, josta IAE

käyttää nimitystä systeemilähtöinen kysyntävaste. Markkina- ja hintapohjaisella kysyntävasteella tarkoitetaan kuitenkin samaa asiaa.

Hintapohjaiset kysyntävasteohjelmat perustuvat kuluttajille tarjottaviin dynaamisiin hinnoitteluratkaisuihin, joissa kuluttajille tarjottava sähkön hinta muuttuu sähkön tuotantokustannusten muuttuessa. Tavoitteena on, että korkean kysynnän aikana kuluttajat reagoisivat korkeampiin hintoihin kysyntäänsä vähentämällä. Korkean kysynnän ja näin ollen myös korkean hinnan aikana kysyntää muuttamalla sähkön kysyntäkäyrä muuttuu joustavammaksi. (Albadi ja El-Saadany 2008, 1990.)

Eri hintapohjaiset kysyntävasteohjelmat eroavat toisistaan siinä, kuinka tarkasti kuluttajalle tarjottava hinta seuraa muuttuvaa tukkuhintaa. Yksinkertaisinta muotoa edustaa staattinen Time Of Use (TOU) hinnoittelu. Staattisessa TOU hinnoittelussa sähkön hinta vaihtelee päivän eri ajankohtina, mutta on staattinen eli ei muutu päivästä toiseen. Hinnoittelumallin ideana on tarjota kannustin siirtää siirrettävissä olevaa kulutusta korkean kysynnän ajankohdasta matalan kysynnän ajankohtaan. Yleisin esimerkki staattisesta TOU hinnoittelusta on kaksiaikahinnoittelu, jossa sähkön hinta on korkea päivällä ja matala yöllä. Ajankohtana päivä edustaa korkean kysynnän ajankohtaa ja yö matalan kysynnän ajankohtaa. Määritellyt päivä- ja yöhinnat edustavat pitkän aikavälin keskimääräisiä odotusarvoja ajankohtien hintatasosta ja muuttuvat hitaasti. Koska hinnat edustavat keskimääräisiä odotusarvoja ja muuttuvat hitaasti, ei TOU hinnoittelu kannusta sähkön lisäystä krittisimpinä ajankohtina jolloin kysyntä on kaikkein suurinta. (Darby ja McKenna 2012, 761–762.)

Toista ääripäätä hintapohjaisissa kysyntävasteohjelmissä edustaa reaaliaikainen hinnoittelu (Real Time Pricing, RTP). Reaaliaikaisessa hinnoittelussa kuluttajien sähkön hinta muuttuu tunneittain sähkön tukkuhinnan muuttuessa. RTP ohjelmasta riippuen asiakkaat saavat tiedon hintajakson hintatasosta esimerkiksi päivää tai tuntia ennen alkavaa hintajaksoa. (Darby ja McKenna 2012.)

Reaaliaikaista hinnoittelua voisi perustellusti kuvailla teoreettisesti puhtaimmaksi mahdolliseksi hinnoittelumuodoksi. Borenstein ja Holland (2005) osoittavat, että mikäli tietyt toimintaympäristön kilpailullisuudesta tehdyt oletukset ovat voimassa,

on tilanne jossa kaikki asiakkaat ovat reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä paretotehokas. Kaikkien asiakkaiden ollessa reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä tuotannon rajakustannukset ovat sama kuin jokaisen kuluttajan kulutuksesta saama rajahyöty kaikkina ajanhetkinä. Mikäli kaikki asiakkaat markkinoilla eivät ole reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä, ei reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän hyvinvointivaikutuksista voida sanoa mitään yhtä yksiselitteistä, kuin silloin kun kaikki asiakkaat ovat reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä. Useimmissa tapauksissa on kuitenkin niin, että reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän kasvattaminen johtaa hyvinvointilisäykseen.

Teoreettiselta kannalta reaaliaikaista hinnoittelua voidaankin siis pitää parhaimpana mahdollisena hinnoitteluratkaisuna. Siitä syystä se on tämän tutkimuksen ensisijainen kiinnostuksen aihe. Kiinnostuksen aiheena on erityisesti se, reagoivatko kotitaloudet muuttuviin hintoihin kulutustaan muuttamalla ja jos reagoivat, niin kuinka voimakkaasti. Tutkimuksia siitä, kuinka nimenomaan kotitaloudet reagoivat reaaliaikaiseen hinnoitteluun on kuitenkin tehty hyvin vähän. Sen vuoksi, tämän tutkimuksen tarkoitusperiä varten tutkitaan osittain reaaliaikaiseen hinnoittelun ominaisuuksia jäljittelevää dynaamista hinnoitteluratkaisua Critical Peak Pricingia (CPP) ja sitä kuinka kotitaloudet reagoivat siihen. Koska CPP jäljittelee reaaliaikaisen hinnoittelun käyttäytymistä korkeimman kysynnän aikoina, voidaan kotitalouksien reagoinnista Critical Peak Pricing hinnoitteluun mahdollisesti saada arvokasta tietoa siitä, millä seikoilla on vaikutusta siihen kuinka kuluttaja reagoi muuttuviin hintoihin. Kokeita erilaisilla kotitalouksille suunnatuilla Critical Peak Pricing hinnoitteluratkaisuilla on tehty huomattavasti kotitalouksille suunnattuja reaaliaikaisen hinnoittelun kokeita enemmän.

Kysyntävasteohjelma, joka on yhdistelmä staattisesta tasahinnoittelusta ja reaaliaikaisesta hinnoittelusta on Critical Peak Pricing (CPP). Yleensä Critical Peak Pricingin hinnoitteluratkaisuja ovat sellaiset hinnoittelumallit, jossa asiakas maksaa kaikkina muina aikoina tasahintaa ja kriittisinä korkean kysynnän ajankohtina huomattavasti tasahintaa korkeampaa hintaa. Kriittisten ajankohtien hinta voi olla esimerkiksi jopa kahdeksan kertaa korkeampi kuin sopimuksessa määritelty tasahinta. CPP hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden tasahinta on yleensä hieman alhaisempi kuin tasahinta asiakkailta, jotka eivät ole CPP hinnoittelun piirissä. Tätä

voidaan pitää kompensationsa siitä, että asiakas on valmis maksamaa korkeampaa hintaa ilmoitettaessa. Ohjelmissa kriittisten kysynnän ajankohtien määrä on yleensä rajoitettu esimerkiksi 10 tai 15 kertaan vuodessa. Tämän lisäksi ohjelmissa yleensä määritellään kriittisen ajanjakson maksimikesto, esimerkiksi neljä tai kuusi tuntia. Kriittistä ajankohtaa ei määritellä etukäteen, vaan ajankohdat jolloin huomattavasti korkeampi kriittisen ajankohdan hinta aktivoituu, määräytyy markkinoiden kysyntätilanteen mukaisesti. Asiakkaille ilmoitetaan kriittisestä ajankohdasta etukäteen, yleensä esimerkiksi edellisenä päivänä. (Strömbäck et. al, 2011.)

Critical Peak Pricing jäljittelee reaaliaikaisen hinnoittelun käyttäytymistä kaikkein korkeimpina kysyntäaikoina. Sen avulla voidaan synnyttää lyhyen aikavälin hintajoustoa sähkömarkkinoilla ja näin ollen sisäistää niitä etuja joita sama ominaisuus tuo mukanaan reaaliaikaisen hinnoittelun tapauksessa. Se kuitenkin vaatii asiakkaalta vähemmän huomiota kuin reaaliaikainen hinnoittelu ja näin ollen voidaan pitää asiakkaan kannalta yksinkertaisempänä ratkaisuna. Kun korkeampien ”kriittisen hinnan” hintajaksojen määrä ja kesto ovat yleensä ennalta määrättyjä, täytyy asiakkaan kiinnittää erityistä huomiota kysyntäänsä vain näinä ajankohtina hyötyäkseen ohjelmaan osallistumisesta. Myös Borenstein (2005) on tunnistanut Critical Peak Pricingin mahdolliseksi keinoksi jolla voitaisiin jäljitellä reaaliaikaisen hinnoittelun mukana tuomia tehokkuushyötyjä.

5. TUTKIMUKSIA DYNAAMISEN HINNOITTELUN VAIKUTTAVUUDESTA

Tutkimuksia sähkön dynaamisen hinnoittelun vaikutuksista kotitalouksien kulutuskäyttäytymiseen on tehty niukasti. Kenties suurin yksittäinen syy tähän on se, ettei dynaamisten tuotteiden markkinoille tuomiseksi vaadittavaa mittarointiteknologiaa ole ollut olemassa tai sellaisen teknologian kustannukset ovat olleet kohtuuttoman suuria. (Faruqui ja Sergici 2010, 194.) Dynaamisissa tuotteissa hinta muuttuu tuotteesta riippuen jopa tunneittain ja näin ollen myös mittausteknologian on oltava sellainen, joka mittaa asiakkaan kulutuksen tunneittain tai vähintään sellainen, joka voi erotella asiakkaan kulutuksen eri hintajaksojen välillä.

Viime vuosina alentuneiden mittarointikustannusten ansiosta järjestelmävastaavien tahojen kannalta on tullut ajankohtaiseksi miettiä mittarointi-infrastruktuurin uusimisen mahdollisuutta. Automaatioon siirtyminen mittaroinnissa tuo mukanaan säästöjä käyttökustannuksissa, esimerkiksi mittarinluennan siirtyessä automaattisesti tietoverkkojen kautta tapahtuvaksi. Useissa tapauksissa on huomattu kuitenkin, että nämä säästöt käyttökustannuksissa kattavat vain noin puolet automaatioon siirtymisestä aiheutuvasta investoinnista. Uuden mittarointi-infrastruktuurin mahdollistaman kysyntävasteen hyötyjen tulisi kattaa loput. Edellä mainittujen syiden motivoimina useat järjestelmävastaavat tahot ovat käynnistäneet hinnoittelukokeita, joiden tarkoituksena on ollut tutkia dynaamisten hinnoitteluratkaisujen tehokkuutta peak kysynnän leikkaamisessa. (Faruqui ja Sergici 2010, 194.)

Faruqui ja Sergici (2010) ovat artikkelissaan koonneet yhteen ja analysoineet tuloksia 15 erilaisesta hinnoittelukokeesta, joissa on tutkittu nimenomaan kotitalouksien reaktiota dynaamisiin hinnoitteluratkaisuihin. Artikkelit esittelee hinnoittelukokeiden keskeiset piirteet, estimoidut vaikutukset kysyntään ja hintajoustot niistä tutkimuksista joissa ne on mainittu. Artikkelissa esitellyt hinnoittelukokeet ovat luonteeltaan keskenään hyvin heterogeenisiä. Ne eroavat toisistaan muun muassa tariffin muodossa, kokeen tieteellisessä laadussa ja

ajallisessa kestossa. Tuloksia tarkastellessa heillä on keskiössä valitun hinnoitteluratkaisun vaikutus kysyntään nimenomaan huippukysyntäaikoina (Peak Time Demand), eikä niinkään vaikutus pitkän aikavälin kokonaiskysyntään.

Faruqui ja Sergicin (2010) artikkelissa esiteltyt hinnoittelukokeet voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan. Ensimmäisenä ovat TOU–hinnoittelukokeilut. Toinen luokka on CPP (Critical Peak Pricing) -kokeilut. Kolmantena luokkana ovat kokeet joissa on testattu reaaliaikaista hinnoittelua, RTP:tä.

Enemmistössä Faruquin ja Sergicin (2010) artikkelissa esitellyistä kokeista oli testattavana tariffimuotona CPP ja TOU. Useissa kokeissa osa asiakkaista oli alistettu CPP:lle ja osa asiakkaista TOU:lle. Osa kokeista testasi vain TOU:n vaikutuksia ja jotkin kokeista testasivat vain CPP:n vaikutuksia. Kahdessa kokeessa testattiin reaaliaikaisen hinnoittelun RTP:n vaikutuksia. Artikkelissa on eroteltu kokeet käytössä olleen tariffin lisäksi sen suhteen, tarjottiinko asiakkaille koejakson ajaksi käyttöön sähkön säästöä helpottavaa teknologiaa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksia varten emme keskity artikkelissa esiteltyihin TOU-hinnoittelukokeisiin, emmekä niistä saatuihin tuloksiin. Tähän on kaksi pääsyytä. Ensimmäiseksi Faruqui ja Sergici (2010) mainitsevat TOU-hinnoittelun vaikutusten huippukysynnän leikkaamisessa olevan vaatimattomia. TOU-hinnoittelun vaikutukset huippukysyntään tarkastelluissa kokeissa oli 3-6 % vähennys havaitussa huippukysynnässä verrattuna kontrolliryhmään. Toiseksi TOU-hinnoittelun staattisesta luonteesta johtuen on kyseenalaista, voidaanko sitä edes pitää dynaamisen hinnoittelun muotona. Esimerkiksi Darbyn ja McKennan (2012,762) määritelmän mukaan TOU on nimenomaan staattinen, eikä dynaaminen hinnoitteluratkaisu. Lisäksi esimerkiksi Borenstein (2005) mainitsee TOU-hinnoittelun olevan huono korvike reaaliaikaiselle hinnoittelulle RTP:lle. Tähän syynä on se, että staattisesta luonteestaan johtuen TOU-hinnoittelua ei voida pitää työkaluna lyhyen aikavälin hintamuutoksien tasaamisessa, vaan ennemminkin pitkän aikavälin keskimääräisten hintamuutosten tasaamisessa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksia varten seuraavaksi tarkastellaan lähemmin Faruquin ja Sergicin (2010) artikkelissa esiteltyjä CPP ja RTP hinnoittelukokeiluja.

Tarkastellaan koejärjestelyitä ja saatuja tuloksia huippukysynnän leikkaamisessa. Lisäksi analysoidaan sitä, mitkä seikat mahdollisesti aiheuttivat hajontaa saaduissa tuloksissa. Joissakin artikkeleissa esitellyistä kokeista hinnoitteluratkaisuna oli yhdistelmä TOU ja CPP hinnoitteluratkaisusta. Näistä kokeiluista otetaan huomioon vain CPP osion vaikutus, mikäli sellainen pystytään erottamaan.

5.1 Critical Peak Pricing hinnoittelukokeet

Faruquin ja Sergicin (2010) artikkelissa esitellyistä 15 kokeesta kahdeksan oli sellaisia, joita voidaan tarkastella tarkemmin tutkimuksen tätä osiota varten. Näissä kahdeksassa kokeessa oli selkeästi CPP hinnoittelumalli ja sen vaikutus huippukysyntään oli tarpeeksi selkeästi eroteltu. Kaikki kahdeksan koetta sijoituivat Yhdysvaltoihin, mutta olivat kuitenkin maantieteellisesti hajaantuneet ympäri Yhdysvaltoja.

Kokeiden kokoluokka oli hyvin vaihteleva. Tarkastelluista kokeista pienimmän mittakaavan kokeessa käsittelylle altistettuun ryhmään kuului 77 asiakasta ja kontrolliryhmään 117 asiakasta. Vastaavasti laajamittaisimmassa tarkastelluista kokeista käsittelylle altistettuun ryhmään kuului 2349 asiakasta ja kontrolliryhmään 1350 asiakasta. (Faruqui ja Sergici 2010.)

Tarkastelluissa kokeissa on eroteltu tulokset sen perusteella onko asiakkaalla ollut kokeen aikana käytössään koejärjestäjän tarjoamaa sähkönsäästöä edistävää teknologiaa vai ei. Se minkälaista tämä sähkön säästöä edistävä teknologia on, vaihtelee kokeiden välillä. Yksinkertaisinta muotoa sähkönsäästöä edistävästä teknologiasta tarkastelluissa kokeissa edusti ohjelmoitavissa oleva termostaatti, joka säätää lämpötilaa sen vastaanottamien hintasignaalien ja asiakkaan ohjelmoimien preferenssien perusteella. Monimutkaisemmissa muodoissa teknologian avulla oli mahdollista kontrolloida lämpötilan lisäksi muitakin kodin sähkölaitteita asiakkaan preferenssien mukaisesti. Yksittäisessä kokeessa niillä asiakkailla joilla on ollut käytössä sähkön säästöä edistävää teknologiaa, on kaikilla ollut käytössään sama teknologia. (Faruqui ja Sergici 2010.) Teknologioiden tarkempi esittely jää tämän tutkielman ulkopuolelle. Yhteistä kaikille sähkönsäästöä edistäville teknologioille on kuitenkin se, että oletettavasti niiden avulla asiakkaan tulisi olla helpompi reagoida

muuttuviin hintoihin, eli niiden pitäisi vahvistaa asiakkaiden kysyntävastetta. Myöhemmin tuloksista huomataan asian myös olevan näin.

Tarkastelluissa kokeissa esiintyi eroavaisuuksia sen suhteen kuinka CPP hinnoitteluratkaisu oli kokeessa rakennettu. Joissakin kokeissa CPP hinnoitteluratkaisu oli yhdistetty TOU-hinnoitteluratkaisuun. Tällä tarkoitetaan sitä, että asiakkaan perushinnoitteluratkaisu on TOU muotoinen, johon on yhdistetty markkinatilanteen mukaan aktivoituvaa huippuhinta -osuus. CPP-hinnoitteluratkaisun osuus voidaan kuitenkin tällaisistakin koejärjestelyistä erottaa, koska tuloksia verrataan kontrolliryhmään. Tämä lisäksi hinnoitteluratkaisut tarkastelussa olleiden eri kokeiden välillä eroavat siinä, kuinka suuri ero asiakkaan kohtaamassa perushinnassa ja markkinatilanteen mukaan aktivoituvassa huippuhinnassa on. (Faruqui ja Sergici 2010). Asiakkaan kohtaaman perushinnan ja markkinatilanteen mukaan aktivoituvan huippuhinnan välisellä suuruusluokalla voidaan perustellusti olettaa olevan vaikutusta siihen, kuinka paljon markkinatilanteen mukaan aktivoituvaa huippuhinta laskee huippukysyntää. Mitä korkeampi markkinatilanteen mukaan aktivoituvaa huippuhinta on, sitä vahvempi insenttiivi asiakkaalla on sähkönsäästöön sen aktivoituessa.

Taulukko 2. CPP hinnoitteluratkaisujen huippukysyntää vähentävä vaikutus prosentteissa. Mukailten Faruqui ja Sergici (2010).

hinnoitteluratkaisu	havaintojen määrä	keskiarvo (%)	95% luottamusvälin alaraja (%)	95% luottamusvälin yläraja (%)	Minimi (%)	Maksimi (%)
CPP	8	17	13	20	12	25
CPP w/T	8	36	27	44	16	51

Taulukkoon 2. on koottu yhteen tulokset saaduista kokeista. Taulukossa esiintyvät prosentit kertovat kuinka paljon tarkastellun kokeellisen hinnoitteluratkaisun piirissä olevat asiakkaat kuluttivat prosentuaalisesti vähemmän sähköä kontrolliryhmään verrattuna huippukysynnän aikoina. Taulukossa sarakkeessa CPP on koottu yhteen tulokset hinnoittelukokeista, jossa asiakkailla ei ollut käytössään sähkönsäästöä edistävää teknologiaa. Sarakkeeseen CPP w/T on koottu yhteen tulokset hinnoittelukokeista, joissa asiakkailla oli käytössään sähkönsäästöä edistävää

teknologiaa. Luvut kuvastavat nimenomaan kulutuksen vähenemistä niinä tunteina, kun korkea huippuhinta on aktivoitunut eli korkeamman hinnan aiheuttamaa kysyntävastetta.

Kuten myös taulukosta 2. voidaan lukea, tehtyjen hinnoittelukokeiden perusteella voidaan todeta, että asiakkaat reagoivat CPP –hinnoitteluratkaisujen markkinatilanteen mukaan aktivoituvaan huippuhintaan vähentämällä kysyntäänsä. Sähkönsäästöä edistävällä teknologialla huomataan olevan merkittävä vaikutus kysynnän joustavuutta edistävänä tekijänä. Taulukon ulkopuolelta Faruqui ja Sergici (2010) toteavat myös, että mitä korkeampi markkinatilanteen mukaan aktivoituva huippuhinta on, sitä voimakkaammin asiakas reagoi kulutustaan vähentämällä. Korkeampien hintojen todetaan kuitenkin suhteessa laskevan vähemmän kysyntää, laskevien rajahyötyjen periaatteen mukaisesti.

Faruqui ja Sergici (2010) korostavat, että saaduista tuloksista johtopäätöksiä tehtäessä tulisi olla erityisen varovainen. Useimmissa tapauksissa tarkastellut hinnoittelukokeet on tehty järjestelmävastaavien tahojen omasta aloitteesta ja siksi niiden tieteellinen laatu vaihtelee kokeiden välillä paljon. Tästä syystä tarkastellut kokeet sisältävät aineisto-ongelmia. Heidän mielestään huolta aiheuttaa erityisesti otoskoko osassa kokeista. Lisäksi esimerkiksi asiakkaiden valikoituminen kokeisiin ei ole kaikissa tapauksissa sattumanvaraista. Osassa kokeista käsittelyryhmän asiakkaat on valittu asiakkaiden vapaaehtoisen ohjelmaan osallistumisen perusteella. Kun käsittelyryhmään valitut asiakkaat valikoidaan näin, on aiheellista pohtia, onko asiakkaiksi valikoitunut jo valmiiksi keskimääräistä enemmän energia-asioista kiinnostuneita asiakkaita, millä olisi vääjäämättä tuloksia vääristävä vaikutus. Faruqui ja Sergici (2010) mainitsevatkin, että osaa tarkastelluista tutkimuksista voidaan pitää vain quasi-kokeellisina.

5.2 Real Time Pricing hinnoittelukokeet

Faruquin ja Sergicin (2010) artikkelissa esitellyistä kokeista vain kahdessa oli tutkittu reaaliaikaisen hinnoittelun vaikuttavuutta. Aiemmin perustelluista syistä on reaaliaikainen hinnoittelu tämän tutkimuksen keskeisin kiinnostuksen kohde. Siitä syystä tämän tutkimuksen tarkoituksia varten tarkastellaan näitä kahta koetta

tarkemmin kuin Critical Peak Pricing hinnoittelukokeiden tuloksia. Seuraavaksi tarkastellaan koejärjestelyitä ja saatuja tuloksia sekä verrataan saatuja tuloksia Critical Peak Pricing hinnoittelukokeista saatuihin tuloksiin.

Tarkasteltavat kaksi koetta ovat Chicagolaisen ComEd sähköjakelu ja jälleenmyyntiyhtiön ESPP (Energy-Smart Pricing Plan) hinnoittelukoe ja Pacific Northwest Gridwisen Olympic Peninsula Project. Näistä kahdesta kokeesta ESPP koe oli sellainen, jossa testattavana hinnoitteluratkaisuna oli ainoastaan reaaliaikainen hinnoittelu. Olympic Peninsula Project–kokeessa reaaliaikainen hinnoittelu oli yksi kolmesta testattavasta hinnoitteluratkaisuista TOU:n ja CPP:n ohella. (Faruqui ja Sergici 2010). Näistä kahdesta reaaliaikaisesta hinnoittelukokeesta keskitytään tässä tutkimuksessa lähinnä ComEd:n ESPP-kokeeseen. Tähän syynä on se, että koejärjestelyiltään se on kahdesta kokeesta huomattavasti parempi. Esimerkiksi Olympic Peninsula Project –kokeen käsittelylle altistetun ryhmän koko oli vain 84 kotitaloutta verrattuna ESPP:n käsittelylle altistetun ryhmän kokoon, joka oli kokeen alkaessa 590 kotitaloutta (Faruqui ja Sergici 2010 ja Allcott 2011.)

5.2.1 Energy-Smart Pricing Plan

Allcott (2011) on artikkelissaan tutkinut tarkemmin samaa ComEd:n ESPP-hinnoittelukoetta, joka esiintyy myös Faruquin ja Sergicin (2010) artikkelissa. Allcott (2011) mainitsee, että historiallisesti kiinnostus kotitalouksien reaaliaikaista hinnoittelua kohtaan on ollut vähäistä ja näin ollen myöskään kokeita sen vaikuttavuudesta kotitalouksien tasolla ei ole järjestetty. ESPP-hinnoittelukoe on erityisen mielenkiintoinen nimenomaan siksi, että kyseisen koejärjestelyn avulla on ensimmäistä kertaa päästy tutkimaan kotitalouksia reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä.

Osallistujat ESPP-kokeeseen rekrytoitiin lähestymällä ComEd:n asiakkaita markkinointimateriaalein, jotka kertoivat alkavasta kokeilusta ja kuinka siihen pääsee osalliseksi. Halukkuutensa osoittaneista 693 kotitaloudesta sattumanvaraisesti 103 määrättiin kontrolliryhmään. Ohjelmaan osallistuneet kotitaloudet eivät olleet kovin epätavallisia mitattavissa olevilta ominaisuuksiltaan verrattuna koko asiakaskuntaan,

mutta edustavat kuitenkin itse valikoitunutta ryhmää. Tästä johtuen vaikkakin kokeen tuloksilla on sisäinen validiteetti, sen tuloksista ei voida vetää johtopäätöksiä koko populaatiota koskevan reaaliaikaisen hinnoittelun vaikuttavuudesta. Kokeen tulosten perusteella voidaan ennustaa, minkälaisia vaikutuksia vapaaehtoinen kotitalouksille suunnattu reaaliaikaisen hinnoittelun ohjelma samantyyppisillä alueilla voisi aiheuttaa. (Allcott 2011, 826.)

Kokeen kontrolliryhmän tariffina toimi tasahinnoittelu. Käsittelylle altistetun ryhmän reaaliaikainen hinta seuraavalle päivälle määräytyi aina edeltävänä päivänä, seuraavan päivän saatavissa olevien tuntihintojen mukaan. Tuntihinnoista vähennettiin osallistumisinsentiivimaksu, joka oli \$0.014/kWh. Niitä päiviä edeltävänä päivänä, jolloin tukkuhinta tulisi ylittämään \$0.10/kWh, käsittelyryhmän asiakkaille lähetettiin sähköpostitse tai puhelimitse varoitus seuraavan päivän ”korkeasta hinnasta”. Vuonna 2006 ”korkean hinnan” varoitusraja nostettiin \$0.13/kWh:n. Tämän lisäksi käsittelyryhmän asiakkaille jaettiin tietopaketti siitä kuinka tukkuhinnat yleensä käyttäytyvät. (Allcott 2011, 827). Vuonna 2005 osalle käsittelylle altistetun ryhmän asiakkaista asennettiin ilmastointilaitteisiin lisäosa (AC cycling switch), jonka avulla asiakkaan on helpompi vähentää ilmastointilaitteensa energiankulutusta korkeiden hintojen aikana. Vuonna 2006 ohjelmaa laajennettiin siten, että osalle asiakkaista jaettiin energian hintaa kuvastava valonäyttö. Valonäyttö vastaanotti hintasignaalin ja muutti väriään liukuvasti punaisesta siniseen sen mukaan mikä oli sähkön hinta milläkin tunnilla. Sekä valonäytön, että ilmastointilaitteiden lisäosan vaikutus käsittelyryhmän asiakkaiden hintajousto on kokeessa eroteltu. (Faruqi ja Sergici 2010,207.)

Regressioanalyysin avulla estimoidut kysynnän hintajoustit reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olleille asiakkaille asettuivat kokeen aikana -0.047 ja -0.098 väliin, riippuen tarkasteluvuodesta ja siitä mitä laitteistoja asiakkailla oli käytössään. Keskimäärien kysynnän hintajousto sai arvon -0.047 sekä tarkasteluvuosina 2005, että 2006. Tarkasteltaessa asiakkaita joiden käytössä oli sähkönsäästöä edistävänä teknologiana pidettävä ilmastointilaitteen lisäosa, kysynnän hintajoustavuuden arvo kasvoi arvoon -0.069 tarkasteluvuonna 2005. Tarkasteluvuonna 2006 niille tunneille, kun reaaliaikainen hinta ylitti \$0.13/kWh, estimoitu kysynnän hintajoustavuus sai arvon -0.082. Samoille tunneille kysynnän hintajoustavuus sai arvon -0.098 niiltä

asiakkailta joilla käytössään oli ilmastointilaitteen lisäosa. Kun asiakkaalla oli käytössä sähkön hintaa kuvastava valonäyttö, kysynnän hintajousto sai arvon -0.067. Vertailukohtana CPP hinnoittelukokeista saatuihin tuloksiin, korkeimpien hintojen ajankohtana tarkasteluvuonna 2005 käsittelylle altistetun ryhmän asiakkaat vähensivät huippukysyntäaikojen kysyntäänsä 15 % verrattuna kontrolliryhmään. (Faruqui ja Sergici 2010, 207.) ESPP koejärjestelyn mukaisessa tilanteessa kaikkein korkein hintajoustavuuden arvo -0.098 tarkoittaa siis sitä, että mikäli kaikki muut tekijät pidetään vakiona, on hinnan kaksinkertaistumisella noin 10 % sähkön kulutusta vähentävä vaikutus.

Kuten myös CPP hinnoittelukokeiden tapauksessa, sähkönsäästöä edistävän teknologian, tässä tapauksessa ilmastointilaitteen lisäosan, huomataan selvästi lisäävän kysynnän hintajoustoa kaikissa tilanteissa. Samansuuntaisia vaikutuksia näyttää olevan hinnasta tiedottavalla valonäytöllä, jota voidaan pitää suhteellisen edullisena ja yksinkertaisena lisävarusteena. Sillä että reaaliaikainen hinta kohoo yli ”korkean hinnan” varoitusrajan näyttää olevan myös merkittävä vaikutus kysynnän hintajoustavuutta kasvattavana tekijänä.

Allcott (2011, 833–834) vertailee artikkelissaan ESPP kokeessa käsittelyryhmään kuuluneiden kotitalouksien sähkönkäyttöä ja kontrolliryhmään kuuluneiden asiakkaiden sähkönkäyttöä päivän eri tunteina. Mielenkiintoinen havainto on, että reaaliaikainen hinnoittelu saa asiakkaat merkittävästi vähentämään kulutustaan keskimääräisenä iltapäivänä, mutta ei kuitenkaan lisäämään keskimääräistä kulutusta yöaikoina. Lopputulemana käsittelylle altistetun ryhmän keskimääräinen kulutus verrattuna kokeen alkua edeltävään peruskulutukseen (pre-program baseline) väheni noin 5% enemmän kuin mitä väheni kontrolliryhmän keskimääräinen kulutus. (Allcott 2011, 833–834.)

Käsittelylle altistetun ryhmän kotitalouksille lähetettiin kokeen aikana kysely, jossa pyydettiin kuvailemaan, minkälaisia muutoksia ohjelmaan osallistuminen on kulutustottumuksissa aiheuttanut. Kotitaloudet ilmoittivat kulutustottumuksien muutoksia olevan valojen sammuttimen, ilmastoinnin korvaaminen tuulettimin ja ilmastoinnin kokonaan käyttämättä jättäminen sähkön hinnan ollessa korkea. Lisäksi kotitaloudet ilmoittivat pyykin pesun siirtämisestä korkean hinnan ajoista aikoihin,

jolloin sähkön hinta on matalampi. Kyselyn perusteella käsittelyryhmän kotitaloudet ovat siis kulutustottumuksien muutoksessaan keskittyneet kysynnän vähentämiseen korkean kysynnän aikoina. Ainoastaan pyykinpesun siirtäminen korkean hinnan ajasta matalamman hinnan ajankohtaan on sellainen edellä mainituista reaktioista, joka aiheuttaa kysynnän kasvua korkeiden hintojen ajankohdan ulkopuolella. (Allcott 2011, 833–834). Kokeeseen osallistuneet kotitaloudet ovat siis säästötoimenpiteissään keskittyneet kulutuksen siirtämisen sijaan kulutuksen välttämiseen korkeiden hintojen ajankohtina.

5.2.2 Olympic Peninsula Project

Olympic Peninsula Project (OPP) –hinnoittelukokeen motivaationa oli kokeilla kuinka eri hinnoitteluratkaisut, yhdistettynä edistyneeseen kaksisuuntaiseen asiakkaan ja verkko-operaattorin väliseen viestintäteknologiaan, voisivat auttaa huippukysynnän vähentämisessä. Kokeeseen osallistuneille kotitalouksille asennettiin asiakkaan ja verkko-operaattorin välinen kaksisuuntainen viestintäteknologia, jonka avulla verkko-operaattori kykeni lähettämään hintasignaaleja asiakkaille. Kokeeseen osallistuneilla kotitalouksilla, joiden käytössä oli reaaliaikainen hinnoittelunratkaisu, oli lisäksi käytössään teknologia, jonka avulla heillä oli mahdollista ennalta ohjelmoida sähkölaitteitaan käyttäytymään saapuvien reaaliaikaisten hintasignaalien mukaisesti. Teknologia sisälsi ominaisuuden jonka avulla asiakkaan oli mahdollista minä hetkenä tahansa ohittaa ohjelmoimansa preferenssit ja käyttää laitteistoja hinnasta riippumatta, mikäli asiakas koki sen tarpeelliseksi. (Faruqui ja Sergici 2010, 214.)

Kokeeseen rekrytoitiin vain tietyntylaisia kotitalouksia. Kokeeseen rekrytoituista 112 kotitaloudesta kaikilla oli käytössään yhdistetty sähkökäyttöinen lämmitys ja ilmanvaihtojärjestelmä (HVAC), sähkötoiminen vedenlämmitin ja sähkötoiminen kuivausrumpu. Näiden laitteistojen omistaminen oli edellytyksenä kokeeseen valikoitumiseksi. (Faruqui ja Sergici 2010, 214). Toisin kuin ESPP:n tapauksessa, OPP kokeeseen valikoituneiden kotitalouksien ei voida sanoa edustavan edes yleisesti kotitalouksia jollakin tietyllä alueella, vaan tarkkaan rajattua asiakasryhmää tietyltä alueelta. Koejärjestelyistä päätellen kokeeseen on haluttu rekrytoida kotitalouksia, joilla on laitteistojen puolesta paljon potentiaalia reagoida kysyntää

muuttamalla. Edellä mainitut syyt pienen otoskoon lisäksi vaikuttavat siihen, minkälaisia johtopäätöksiä OPP kokeen tuloksista on tehtävissä.

Kokeen aikana reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevat asiakkaat onnistuivat säästämään keskimäärin 27 % kuukausittaisesta energialaskustaan verrattuna kontrolliryhmään. Huippukysyntäaikaisten kysyntä reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevilla asiakkailla väheni 15–17 % (Faruqi ja Sergici 2010, 214). Mainituista tuloksista mielenkiintoa herättää erityisesti se, kuinka reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olleet asiakkaat onnistuivat pienentämään keskimääräistä kuukausittaista energialaskuaan verrattuna kontrolliryhmään. Tuloksista voidaan päätellä, että sellaiset kotitaloudet, joilla on laitteistoja jotka sisältävät paljon potentiaalista kysyntävastetta voivat todella hyötyä reaaliaikaisen hinnoittelun piiriin siirtymisestä, ainakin mikäli käytössä on kotitalouden kulutuksen optimointia saatujen hintasignaalien mukaan helpottavaa teknologiaa. Myös huippukysynnän pieneneminen reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevilla asiakkailla oli samaa suuruusluokkaa kuin tieteellisesti paremmin järjestellyssä ESPP kokeessa. Kokeen tulosten yleistettävyyden ongelmallisuudesta huolimatta voidaan kuitenkin ajatella OPP kokeen tulosten vahvistavan ESPP kokeesta saatua käsitystä siitä, missä suuruusluokassa reaaliaikaisen hinnoittelun huippukysyntää pienentävä vaikutus kotitalouksien tapauksessa liikkuu.

5.3. Reaaliaikainen hinnoittelu vai CPP?

Reaaliaikaista hinnoittelua ja CPP:tä tutkineiden kokeiden tuloksia vertailtaessa erityisen mielenkiintoista on se, että CPP:llä on huippukysyntää vähentävänä hinnoitteluratkaisuna huomattavasti reaaliaikaista hinnoittelua vaikuttavampi. Reaaliaikaista hinnoittelua tutkineista kahdesta kokeesta molemmissa huippukysyntää vähentävä vaikutus oli noin 15 % verrattuna kontrolliryhmään. Olympic Peninsula Projectissa kaikilla asiakkailla oli käytössään sähkönsäästöä edistävää teknologiaa, ja ESPP-hinnoittelukokeissa osalla asiakkaista oli käytössään sähkönsäästöä edistävää teknologiaa. ESPP-hinnoittelukokeen huippukysynnän vähentämistä koskevat tulokset ovat keskiarvo kaikista asiakkaista, ja huippukysynnän vähentämistä koskevia tuloksia ei ollut eroteltu niiden asiakkaiden väliltä, joilla käytössään oli sähkönsäästöä edistävää teknologiaa ja joilla sitä ei ollut

käytössään. Tämä tarkoittaa sitä, että huippukysyntää vähentäviä tuloksia tarkasteltaessa ei ole mahdollista yksiselitteisesti sanoa, oliko ESPP-kokeessa asiakkaiden käytössä sähkönsäästöä edistävää teknologiaa vai ei. Voidaan kuitenkin todeta, että molempien reaaliaikaista hinnoittelua tutkivien kokeiden huippukysyntää vähentävä vaikutus oli huomattavasti pienempi kuin vaikutus CPP-hinnoittelukokeissa, joissa käytössä oli sähkönsäästöä edistävää teknologiaa ja samaa suuruusluokkaa kuin CPP-hinnoittelukokeissa joissa käytössä ei ollut sähkönsäästöä edistävää teknologiaa.

Syitä siihen, miksi CPP-hinnoitteluratkaisu vaikuttaisi analysoitujen tutkimuksien perusteella olevan vahvemmin huippukysyntää vähentävä hinnoitteluratkaisu, voi olla useita. Eräs selitys voi löytyä puhtaasti siitä, että tuloksia vertailtaessa reaaliaikaista hinnoittelua analysoivia kokeita oli käytettävissä kaksi verrattuna kahdeksaan CPP-hinnoitteluratkaisua tutkineeseen kokeeseen. On täysin mahdollista, että mikäli tarkasteltavana olisi ollut useampia reaaliaikaista hinnoittelua tutkineita kokeita, olisi reaaliaikaisen hinnoittelun huippukysyntää pienentävä vaikutus voinut olla keskiarvoltaan suurempi. Ero sähkönsäästöä edistävällä teknologialla varustettuihin CPP-kokeisiin on kuitenkin niin suuri, noin 20 prosenttiyksikköä teknologialla varustettujen CPP-kokeiden keskiarvoa alhaisempi, että tarkasteltujen kokeiden määrällinen ero ainoana selityksenä ei ehkä ole täysin uskottava. Johtopäätöksiä tehtäessä koemäärien ero on kuitenkin hyvä ottaa huomioon.

Eräs potentiaalinen syy tuloksissa havaittaviin eroihin voi löytyä siitä, että CPP-hinnoitteluratkaisu on suhteessa reaaliaikaiseen hinnoitteluun asiakkaan kannalta melko yksinkertainen hinnoitteluratkaisu. CPP-hinnoitteluratkaisussa asiakas on tasahinnoittelun piirissä muina aikoina kuin markkinatilanteen mukaan aktivoituvan huippuhinnan aktivoituessa. Markkinatilanteen mukaan aktivoituva huippuhintajakso kestää alle yhden päivän, yleisimmin neljä tuntia ja asiakas saa varoituksen tulevasta huippuhintajaksosta etukäteen. Kaiken kaikkiaan CPP-hinnoitteluratkaisu vaatii siis sen piirissä olevalta asiakkaalta vain vähän huomiota, koska asiakkaan ei jatkuvasti tarvitse seurata muuttuvia hintoja. Asiakas on tasahinnoittelun piirissä muina aikoina, paitsi silloin kun asiakkaalle ilmoitetaan muutaman tunnin kestävästä huippuhintajaksosta. Huippuhintajakson aikana asiakkaalla on vahva taloudellinen insentiivi kiinnittää erityistä huomiota kulutukseensa. Koska huippuhintajaksot ovat

lyhyitä, on asiakkaan helppo vähentää kulutustaan huomattavastikin, kuitenkin menettämättä paljoa laitteistaan nauttimaan hyötyä. Esimerkiksi ilmastoinnin tai lämminvesivaraajan sammuttaminen muutaman tunnin huippuhintajakson ajaksi ei aiheuta kovin suurta haittaa asiakkaan kyseisistä laitteista nauttimaan hyötyä kohtaan.

Vastaavasti ollessaan reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä asiakas joutuu periaatteessa jatkuvasti seuraamaan kulutustaan sekä muuttuvia hintoja, mikäli haluaa optimoida sähkönkulutustaan. Tästä hintojen seuraamisesta ja muuttuvien hintojen perusteella tapahtuvasta kulutuksen optimoinnista koituu asiakkaalle ajassa ja vaivassa mitattavia kustannuksia. Reaaliaikaisen hinnoittelun tapauksessa asiakkaan on siis jatkuvasti tehtävä valintoja kulutuksen ja hintojen seuraamisesta aiheutuvien ajallisten kustannusten ja taloudellisten hyötyjen väliltä. Allcott (2011, 821) mainitsee artikkelissaan, että kun sähkön hinnan vaihtelu on pientä, nimenomaan asiakkaiden hintojen seuraamisen ja hintoihin reagoinnin kustannuksia pienentämällä voidaan vaikuttaa huomattavasti kotitalouksien reaktioiden voimakkuuteen. Asiakkaan kannattaa siis seurata hintoja ja muuttaa kulutustaan siinä määrin, kun seuraamisesta saatavissa olevat hyödyt ylittävät siitä asiakkaalle aiheutuvat kustannukset. Pienentämällä näitä kustannuksia saadaan asiakas seuraamaan hintoja tarkemmin ja reagoimaan voimakkaammin.

Hinnoitteluratkaisuina CPP:tä ja reaaliaikaista hinnoittelua vertailtaessa tulee siis muistaa, että vaikkakin kummallakin hinnoitteluratkaisulla on kysyntäjousto-ominaisuuksiensa vuoksi potentiaalia tehostaa sähkömarkkinoiden toimintaa huippukysyntäaikoina, ovat ne kuitenkin luonteeltaan hyvin erilaisia. CPP ei vaadi asiakkailtaan jatkuvaa optimointia, mutta samalla se ei toimi markkinoilla jatkuvan optimoinnin välineenä, ja näin ollen voidaan intuitiivisesti todeta, että CPP:stä saatavat markkinalaajuiset hyödyt, kuten esimerkiksi tuotannon tehostuminen, eivät todennäköisesti yllä samalle tasolle kuin reaaliaikaisen hinnoittelun tapauksessa. Kokeelliseksi kysymykseksi jää, kuinka voimakkaasti CPP-asiakkaat reagoisivat huippuhintajaksoihin kysyntäänsä vähentämällä, mikäli markkinahintojen mukaan aktivoituvan huippuhintajakson rajahintaa alennettaisiin. Huippuhintajaksojen rajahinnan tasolla on useita vaikutuksia CPP-hinnoitteluratkaisun luonteeseen. Ensinnäkin on muistettava, että CPP-hinnoitteluratkaisussa asiakkaiden kysyntä on periaatteessa joustamatonta muina aikoina kuin markkinatilanteen mukaan

aktivoituvan huippuhinnan aktivoituessa. Mitä alemmaksi rajahinta asetetaan, sen todennäköisempää on, että se aktivoituu, eli huippuhintajaksojen esiintymisen todennäköisyys kasvaa. On kuitenkin muistettava, että rajahintaa alentamalla myös taloudellinen insentiivi sähkönsäästöön eli ero muina aikoina maksettavaan tasahintaan pienenee. Kuten aiemmin todettu, on huippuhinnan tasolla positiivinen yhteys asiakkaiden reaktion voimakkuuteen. Rajahinnan alentaminen aiheuttaa siis sen, että CPP:n kysyntäjousto-ominaisuudet aktivoituvat useammin, mutta eivät todennäköisesti niin voimakkaina.

Se kuinka hyvä korvike CPP on reaaliaikaiselle hinnoittelulle, riippuu hyvin paljon tietyn markkina-alueen ominaispiirteistä ja siitä kuinka tehokkaasti asiakkaat reagoivat CPP:n suuremmilla huippuhintajaksojen lukumäärillä. Esimerkiksi kuvitellaan markkina-alue, joka on ominaispiirteiltään sellainen, että kysyntä sillä on hyvin tasaista, muutamia vuosittaisia hyvin korkeita kysyntäpiikkejä lukuun ottamatta. Tällaisella markkina-alueella on mahdollista tarkasteltujen tutkimusten valossa CPP:n avulla saavuttaa hyvin suuria tehokkuushyötyjä. Mikäli puolestaan markkina-alue on sellainen, että sille ominaispiirteistä on suhteellisesti matalammat, mutta useammin toteutuvat huippukysyntäajat, ei tarkasteltujen tutkimusten valossa CPP:n tehosta voida sanoa mitään yhtä yksiselitteistä. Faruquin ja Sergicin (2010) artikkelissa tarkastelluissa CPP hinnoittelukokeissa ei kaikissa ollut mainintaa, kuinka usein huippuhintajaksoja tarkasteluajanjaksolla esiintyi. Kuitenkin kolmessa kahdeksasta CPP hinnoittelukokeessa huippuhintajaksojen lukumäärä oli sopimusehtojen mukaisesti rajoitettu kymmeneen kappaleeseen koejakson aikana. Rajoituksista voidaan päätellä, että CPP on siis koejärjestäjienkin mielestä ajateltu potentiaalisesti työkaluksi nimenomaan kaikkein kriittisimpiä kysyntäpiikkejä vastaan, eikä niinkään jatkuvampiaikaiseen sähköjärjestelmän tehostamiseen.

Tarkasteltujen tutkimusten tulosten valossa CPP:tä voidaan pitää hyvin potentiaalisena työkaluna vähintäänkin sähköjärjestelmän tehonpuutteesta johtuvien toimintahäiriöiden ehkäisemisessä. On mahdollista, että hyvin pienen kysyntäjoustopuutteen avulla voidaan varmistaa toimitusvarmuus järjestelmässä. Sael ja Grande (2011) mainitsevat artikkelissaan hyvin valaisevan esimerkin. Heidän mukaansa kesäkuussa 2000 Kaliforniassa syntyneet tehonpuutteesta johtuvat laajat sähkökatkot johtuivat

300 MW tuotantokapasiteetin tehonpuutteesta 50000 MW järjestelmässä, eli 0.6 % vajeesta tuotantopuolella verrattuna kysyntään.

Mielenkiintoinen tutkimuskysymys kuitenkin on, että mikäli huippuhintajaksoja esiintyisi esimerkiksi useita kertoja viikossa, kuinka paljon se vaikuttaisi asiakkaiden reaktioiden voimakkuuteen? Todennäköistä on, että asiakkaat reagoisivat edelleen aktivoituvaan huippuhintaan, mutta intuitiivisesti voisi ajatella, että korkeampi huippuhintajaksojen määrä, joka toisi CPP:tä teoreettisesta tarkastelunäkökulmasta lähemmäksi reaaliaikaista hinnoittelua, aiheuttaisi myös käytännön tulosten lähenemistä kohti reaaliaikaisen hinnoittelun vastaavia tuloksia.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarkasteltujen tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että kotitaloudet reagoivat reaaliaikaiseen hinnoitteluun sekä reaaliaikaista hinnoittelua jäljittelevään hinnoitteluratkaisuun CPP:hen vähentämällä kulutustaan korkeiden hintojen aikana. Kotitalouksien sähkönkulutuksen voidaan siis sanoa olevan kysyntäjoustavaa sähkön hinnan suhteen. Hinnoittelukokeiden perusteella vaikuttaa siltä, että kotitalouksien kysyntäjousto on voimakkuudeltaan maltillista. Tähän on varmasti olemassa useita syitä. Yksi mahdollinen syy reaktioiden maltillisuuteen voi löytyä sähkön luonteesta hyödykkeenä. Kuten Fischer (2008) kuvailee, on sähkö abstrakti matalan mielenkiinnon hyödyke, jota käytetään miltei jatkuvasti kotitalouksien jokapäiväisessä elämässä, mutta joka ei silti muodosta kovin merkittävää osaa kotitalouksien kokonaiskulutuksesta. Kun sähkö ei edusta kovin merkittävää osaa kotitalouksien kokonaiskulutuksesta, mutta on käytössä lähes jatkuvasti kotitalouksien elämässä, voi kotitalouksien olla vaikeaa perustella itselleen reaaliaikaisen hinnoittelun tapauksessa sähkön hinnan jatkuvasta seuraamisesta koituvia ajallisia kustannuksia.

Reaaliaikaisen hinnoittelun vaikuttavuutta arviotaessa ei kotitalouksien reaktioiden maltillisuus ole kovin ongelmallista. Kuten Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012) pohjoismaisten sähkömarkkinoiden aineistolla tehdyllä simulaatiolla osoittavat, on jo ESPP kokeessa saadulla korkeimmalla hintajouston arvolla -0.1 merkittäviä vaikutuksia tuotantorakenteeseen. Taulukkoon 1. kootut luvut simulaatiosta, jonka Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012) toteuttivat, osoittavat kuinka kysyntäjouston arvolla -0.1 ja reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden osuudella 0.333 on tarvittavan peak-kapasiteetin määrää noin 30 % vähentävä vaikutus verrattuna vertailutilanteeseen, jossa yhtään asiakasta ei ole reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä. Kuten taulukosta 1. voidaan lukea, samaan aikaan peak-kapasiteetin määrän vähenemisen lisäksi kuitenkin kokonaiskapasiteetin määrä verrattuna vertailutilanteeseen pienenee energian kokonaiskulutuksen hieman kasvaessa. Tämä tarkoittaa tehokkuushyötyjä. Kun sama määrä sähköä voidaan tuottaa pienemmällä kokonaistuotantokapasiteetin määrällä ja pienemmällä korkeiden marginaalikustannusten peak-tuotantoteknologian osuudella

tuotantokapasiteetin kokonaismäärästä, tarkoittaa se, että sähkön tuotanto on tehostunut verrattuna verrokkitilanteeseen.

Kotitalouksien voidaan siis sanoa reagoivan reaaliaikaiseen hinnoitteluun kulutustaan vähentämällä korkeiden hintojen aikana ja kotitalouksien reaktiot ovat voimakkuudeltaan sellaisia, että niillä on reaktioiden voimakkuuden puolesta potentiaalia vaikuttaa myönteisellä tavalla markkinoiden toimintaan. Mielenkiintoinen kysymys on kuitenkin, onko kotitalouksien sähkönkulutus osuus kokonaissähkönkulutuksesta niin merkittävä, että kotitalouksien kysyntäjoustoja on edes mielekästä tutkia. Mikäli kotitalouksien sähkönkulutus edustaa vain murto-osaa kokonaissähkönkulutuksesta, ei voimakkaillakaan reaktioilla voida saavuttaa laajoja markkinalaajuisia hyötyjä.

27 EU-maassa kotitalouksien osuus sähkönkulutuksesta oli vuonna 2011 keskimäärin 29,03 % sähkön kokonaiskulutuksesta. Korkein osuus EU-maista vuonna 2011 oli Kroatiassa, missä 41,46 % sähkön kokonaiskulutuksesta kuului kotitalouksille. EU-maista vuonna 2011 matalin kotitalouksien osuus sähkön kokonaiskulutuksesta oli Luxemburgissa, missä 18,43 % sähkön kokonaiskulutuksesta kuului kotitalouksille. Suomessa 27,16 % sähkön kokonaiskulutuksesta kuului kotitalouksille. (Eurosta 2013). Ainakin EU:n alueella kotitalouksien voidaan sanoa siis edustavat merkittävää osaa sähkön kokonaiskulutuksesta. Tämän lisäksi Darby ja McKenna (2012, 761) huomauttavat, että kotitalouksien kulutuksen merkitys huippukysyntäaikoina on suhteellisesti suurempaa. Heidän mukaansa vuonna 2010 Yhdistyneissä kuningaskunnissa kotitalouksien osuus kokonaissähkön kulutuksesta oli 36 %, mutta kotitalouksien osuus iltapäivän korkean kysyntätunnin kello 17–18 kulutuksesta oli 45%. Yhteenvetona huomioista voidaan sanoa, ettei kotitalouksia voi sivuttaa merkityksettömänä ryhmänä, mikäli todella halutaan ottaa kysyntäpuolen jousto osaksi markkinoiden toimintaa.

Työ- ja elinkeinoministeriön asettama työryhmä on mietinnössään arvioinut eri sektoreiden kysyntäjoustopotentiaalia suomessa. Työryhmän arvion mukaan teollisuuden markkinoille tarjottavissa oleva kysyntäjoustopotentiaali on noin 500 MW, jonka mainitaan riippuvan vahvasti sähkön hintatasosta ja teollisuuden tuotantotilanteesta. Saman mietinnön mukaan sähkölämmityksen potentiaaliksi

arvioidaan 300 MW. Mietintö kuitenkin mainitsee, että sähkölämmityksen potentiaalinen arviointi on hyvin haastavaa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008). Arviot ovat karkeita, mutta silti niistä voidaan päätellä, että kysyntäjoustopotentiaalinen näkökulmasta kotitaloudet ovat hyvin tärkeä asiakasryhmä. Kotitalouksien kysyntäjoustopotentiaali on suhteutettuna kokonaiskulutukseen huomattavasti teollisuutta suurempi.

Minkä tyyppisille kotitalouksille reaaliaikaista hinnoittelua kannattaa suunnata, mikäli halutaan mahdollisimman tehokasta kysyntäjoustopotentiaalia, vai kannattaako sitä suunnata kaikille kotitalouksille? Tähän kysymykseen ei ole aivan yksiselitteistä vastausta. Minkä tyyppisille kotitalouksille reaaliaikaista hinnoittelua kannattaa suunnata, riippuu tarkasteltujen tutkimusten perusteella kuluttajien omistamista sähkölaitteista ja kuluttajien käytettävissä olevasta sähkönsäästöä helpottavasta teknologiasta. Reaaliaikaisen hinnoittelun synnyttämään kysyntäjoustopotentiaalin määrään vaikuttaa varmasti edellä mainittujen kahden kohdan ohella moni muukin tekijä. Voisi ajatella, että esimerkiksi kotitalouden asukkaiden iällä, koulutustasolla tai yleisellä hintatietoisuudella olisi potentiaalisesti vaikutusta siihen, kuinka kotitalous reagoi reaaliaikaiseen hinnoitteluun kulutustaan muuttamalla. Näitä seikkoja ei koejärjestelyissä ollut kuitenkaan kontrolloitu, joten minkäänlaisia johtopäätöksiä niiden vaikutuksista ei oikein voida tehdä.

Kuluttajien omistamien sähkölaitteiden vaikutus reaaliaikaisen hinnoittelun vaikuttavuuteen kanavoituu kahta eri reittiä. Ensinnäkin, mikäli kotitalouksien sähkönkulutus koostuu pääosin Newboroughn ja Augoodin (1999) mainitsemista matalista, mutta pitkäkestoisista kuormista, kuten valaistuksesta, jääkaapista ja kodin viihde-elektroniikasta, ei niiden käyttöä säätelemällä voida muuttaa kysynnän määrää kovin merkittävästi. Nämä edellä mainitut kuormat ovat lisäksi tyypiltään sellaisia, että niiden käyttöä ei voida kovin luontevasti siirtää toiseen ajankohtaan, vaan niiden käytön säätelemisellä tarkoitetaan käytännössä käytön välttämistä. Käytön välttäminen aiheuttaa esimerkiksi käytön siirtämistä enemmän haittaa kuluttajan laitteista nauttimaan hyötyä kohtaan. Jos kulutuksen välttäminen aiheuttaa kuluttajille haittaa laitteista nauttimaansa hyötyä kohtaan, tulee kuluttajille käytöstä koituvien säästöjen olla suurempia, jotta kuluttajat olisivat valmiita välttämään käyttöä. Matalien kuormien välttämistä aiheuttaa kotitaloudelle vain pientä rahallista

säästöä. Mikäli kotitalouden kuormat ovat siis edellä kuvaillun kaltaisia matalia ja vaikeasti vältettävissä olevia, voidaan olettaa, että tällaisten kotitalouksien kysyntäjousto ei ole kovin voimakasta absoluuttisella eikä suhteellisella tasolla.

Voidaankin siis perustellusti todeta, että mahdollisimman voimakasta kysyntäjousto tavoiteltaessa tulisi siis keskittyä kotitalouksiin, joiden sähkön kulutus muodostuu suurimmaksi osaksi suurista ja siirrettävissä olevista kuormista. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tulisi keskittyä suurempiin kotitalouksiin joissa on paljon sähköllä toimivaa kodintekniikkaa: esimerkiksi Pohjoismaiden kaltaisilla viileillä ilmastovyöhykkeillä sellaisiin kotitalouksiin, joissa on sähköllä toimiva kodin ja kodin käyttöveden lämmitys. Kuten Sael ja Grande (2011, 105) artikkelissaan mainitsevat ovat edellä mainitut laitteet sellaisia, jotka aiheuttavat melko suurta kulutusta, mutta samalla niiden käyttöä voidaan tarvittaessa lykätä muutamilla tunneilla aiheuttamatta suurta haittaa laitteista saatavaa hyötyä kohtaan. Suurien kotitalouksien voidaan todeta olevan sellainen asiakasryhmä, joilla on suuremmat kannustimet ja mahdollisuudet reagoida voimakkaasti kulusta muuttamalla.

Kuten tarkasteltujen hinnoittelukokeiden tuloksista kävi ilmi, voimisti sähkönsäästöä edistävän teknologian käyttö kuluttajien kysynnän joustavuutta. Sähkönsäästöä edistävän teknologian kysynnän joustavuutta voimistavana tekijänä perustuu siihen, että teknologiaa käytettäessä kuluttajien ei tarvitse käyttää niin paljon aikaa ja vaivaa kulutustaan optimoidessa ja näin ollen kuluttajat ovat valmiita säätlemään kulutustaan myös pienempien hintavaihteluiden aikoina. Sähkönsäästöä edistävä teknologia, kuten esimerkiksi Di Giorgion ja Pimpinellan (2012) mainitsema hintasignaalien mukaisesti ohjelmoitava kodin sähkölaitteita ohjaileva äly-yksikkö, helpottaa kotitalouksien reagointia ja tekee pienempiinkin hintamuutoksiin reagoimisesta perustellumpaa. Pienempien hintamuutosten lisäksi, mitä kehittyneempää ja automatisoituneempaa sähkönsäästöä edistävää teknologiaa kotitalouksilla on käytettävissä, sitä perustellumpaa on optimoida myös kodin pienempiä kuormia. Yhteenvetona voitaisiin siis sanoa, että aluksi reaaliaikaista hinnoittelua kannattaa suunnata suurasiakkaille, mutta mitä kehittyneemmäksi ja edullisemmäksi sähkönsäästöä edistävä automaatio muuttuu, sitä kannattavammaksi tulee reaaliaikaisen hinnoittelun suuntaaminen myös pienemmille kotitalouksille.

Kuten jo aiemmin hinnoittelukokeiden tuloksia käsiteltäessä mainittiin, ei hinnoittelukokeiden tuloksena saatuja kysyntäjoustoprojektien arvoja voida yleistää koskemaan kovin laajoja asiakasryhmiä. Eri maissa ja erilaisilla ilmastovyöhykkeillä kotitalouksien omistamat sähkölaitteistot saattavat erota hyvin paljon toisistaan. Esimerkiksi kehittyneiden maiden lämpimillä ilmastovyöhykkeillä kuten Kaliforniassa, suuri osa kotitalouksien sähkönkulutuksesta suuntautuu jäädyttämiseen ja ilmastointiin. Vastaavasti viileillä ilmastovyöhykkeillä kuten Pohjoismaissa suurta osaa kotitalouksien sähkönkulutuksesta edustaa lämmitys eri muodoissaan. Joissakin viileän ilmastovyöhykkeen maissa, joissa kuluu paljon energiaa lämmitykseen sen eri muodoissa, suuri osa lämmityksestä saatetaan hoitaa muilla keinoin kuin sähköllä, esimerkiksi kaasulla. Saatuja kotitalouksien kysyntäjoustoprojektien arvoja Kaliforniasta ei voida siis sellaisenaan yleistää koskemaan esimerkiksi kotitalouksia Yhdysvaltain Minnesotassa ja vielä vähemmän niitä voidaan yleistää koskemaan kotitalouksia esimerkiksi Suomessa. Tämän vuoksi tärkeää olisikin tunnistaa riittävän samantyyppisiä markkina-alueita, joissa sähkön kulutusta ajatellen tärkeimmät kotitalouksien omistamat sähkölaitteistot ovat toistensa kanssa samankaltaisia ja testata kysynnän joustavuutta tällaisilla eri markkina-alueilla.

Hinnoittelukokeisiin osallistumisen vapaaehtoisuuteen perustuminen oli toinen ongelma, joka koejärjestelyissä nousi esille hinnoittelukokeiden tulosten yleistettävyyteen liittyen. Hinnoittelukokeiden tuloksista voidaan siis päätellä kuinka nimenomaan vapaaehtoisesti kyseisen hinnoitteluratkaisun piiriin päätyvät kotitaloudet reagoivat hinnoitteluratkaisuun samantyyppisellä markkina-alueella kuin millä hinnoittelukoe tehtiin. Hinnoittelukokeiden tuloksista ei voida sanoa kuinka voimakas reaktio olisi, mikäli kaikki kotitaloudet olisivat pakotettu kyseisen hinnoitteluratkaisun piiriin. Reaaliaikaisen hinnoittelun vaikuttavuutta mietittäessä tämä ei välttämättä ole niin suuri ongelma kuin voisi luulla. Perustelut tälle näkemykselle ovat samat kuin aiemmin reaktioiden voimakkuuden ongelmallisuutta analysoitaessa. Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012) osoittivat simulaatiollaan kuinka jo maltillisilla kysyntäjoustoprojektien ja reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olevien asiakkaiden määrän arvoilla voidaan reaaliaikaisen hinnoittelun avulla saavuttaa merkittäviä markkinaalaajuisia tehokkuushyötyjä.

Kuinka suuri osa asiakkaista olisi valmis siirtymään reaaliaikaiseen hinnoitteluun, mikäli sellaiseen tarjottaisiin mahdollisuus? Kuten Albadi ja El-Saadany (2008) teoreettisesti esittivät, mahdollistaa tasahinnoittelusta reaaliaikaiseen hinnoitteluun siirtyminen sen, että asiakas voi kulutuksen ajoitustaan säätelemällä kuluttaa enemmän sähköä samoin tai pienemmin kustannuksin kuin tasahinnoittelun piirissä ollessaan. Reaaliaikaisen hinnoittelun käytännön potentiaalia energiakustannusten leikkaamisessa havainnollistaa Olympic Peninsula Project hinnoittelukokeen tulokset, jossa reaaliaikaisen hinnoittelun piirissä olleet asiakkaat onnistuivat säästämään keskimäärin 27 % kuukausittaisesta energialaskustaan verrattuna kontrolliryhmään (Faruqi ja Sergici 2010, 214). Tällaisten tulosten valossa voisi hyvin olettaa, että useat asiakkaat olisivat valmiita siirtymään vallitsevasta tasahinnoittelusta reaaliaikaisen hinnoittelun piiriin.

Darby ja McKenna (2012, 767) kuitenkin toteavat, että vain harvat kotitaloudet haluaisivat siirtyä tasahinnoittelusta reaaliaikaisen hinnoittelun piiriin. Heidän mukaansa tämä johtuu pääasiassa siitä, etteivät kotitaloudet ymmärrä perusteluita kuormien ajoittamisen optimoinnille ja kotitaloudet epäilevät mahdollisuuksiaan hyötyä reaaliaikaisesta hinnoittelusta. Lisäksi reaaliaikaiseen hinnoitteluun siirtyminen tekee sähköstä tasahinnoitteluun verrattuna asiakkaalle monimutkaisemman tuotteen, muun muassa lisäämällä sähkön kulutukseen liittyvän lyhyen aikavälin hintariskin asiakkaan kannettavaksi.

Darbyn ja McKennan (2012, 767) mukaan on kuitenkin olemassa keinoja joilla voidaan tehdä reaaliaikaista hinnoittelua asiakkaille houkuttelevammaksi vaihtoehdoksi. Houkuttelevuutta voidaan parantaa kiinnittämällä huomiota asiakkaiden valistamiseen hinnoitteluratkaisun potentiaalisista hyödyistä. Lisäksi selkeällä tariffinsuunnittelulla sekä kulutuspalautteen ja sähkönsäästöä helpottavan automaation saatavuudella on todennäköisesti kotitalouksien keskuudessa reaaliaikaisen hinnoittelun houkuttelevuutta lisääviä vaikutuksia.

Reaaliaikaista hinnoittelua tutkineista hinnoittelukokeista erityisesti ESPP kokeen tuloksissa mielenkiintoista on se, kuinka kotitaloudet kulutuksen säätelyssään eivät keskittyneet kulutuksen siirtämiseen korkeiden hintojen ajankohdista matalan hinnan ajankohtiin, vaan keskittyivät enimmäkseen kulutuksen välttämiseen korkeiden

hintojen ajankohtina. (Allcott 2011, 833-834). Allcott (2011, 840-841) toteaaakin, että tulosten valossa reaaliaikaista hinnoittelua kotitalouksien osalta voisi ajatella enemmän huippukysyntäaikojen energiansäästöohjelmana, eikä niinkään työkaluna kysynnän siirtämisessä huippukysyntäajoista matalan kysynnän aikoihin. Huomio siitä, että kotitaloudet vaikuttavat enemmän väistävän kun siirtävän kulutustaan vaikuttaa reaaliaikaisen hinnoittelun vaikutuksien arviointiin. Jos sitä ei oteta huomioon, Allcottin (2011, 841) mukaan on mahdollista että aliarvioidaan reaaliaikaisen hinnoittelun vaikutus ilmansaasteisiin, energiakustannuksiin ja baseload energiantuotantokapasiteetin määrään.

Allcottin (2011) päätelmät kotitalouksien kulutuskäyttäytymisestä perustuvat yhdestä hinnoittelukokeesta, ESPP:stä saatuihin tuloksiin. Kulutuskäyttäytymisestä tehtävien päätelmien yleistettävyydessä tulee olla varovainen. On mahdollista, että toisenlaisella markkina-alueella kotitaloudet enemmän siirtävät kulutustaan kuin väistävät sitä. Tästä syystä tärkeä olisikin kokeilla, sen lisäksi kuinka voimakkaasti kotitaloudet reagoivat reaaliaikaiseen hinnoitteluun erilaisilla markkina-alueilla ja sitä millä tavoin kotitaloudet reaaliaikaiseen hinnoitteluun reagoivat. Mikäli kotitaloudet yleismaailmallisesti reagoivat kulutusta välttämällä korkeiden kysyntöjen aikoina, on reaaliaikaisella hinnoittelulla kotitalouksien osalta laajempia hyötyjä mitä teorioissa on osattu ennakoida. Di Giorgion ja Pimpinellan (2012) artikkelissaan mainitsevat kuinka EU on asettanut tavoitteeksi 20 % energiatehokkuuden paranemisen vuoteen 2020 mennessä. Kotitalouksien laajempi reaaliaikaiseen hinnoitteluun siirtyminen voisi osaltaan auttaa tämän tavoitteen saavuttamisessa.

Kuinka valmiita sitten yritykset olisivat tarjoamaan reaaliaikaisesti markkinahintaa seuraavia tuotteita asiakkailleen? Työ- ja elinkeinoministeriön sähkön kysyntäjoustopäätöksen roolia ja tavoitteita sähkömarkkinoilla selvittäneen työryhmän mietinnön mukaan sähkönmyyjien näkökulmasta kysyntäjoustopäätökset ovat tarpeellisia, sillä ne muun muassa auttaisivat riskien hallinnassa. Mietinnön mukaan on kuitenkin tärkeää, että kysyntäjoustopäätöksen määrä on ennustettavissa, koska jos kysyntä ei ole ennustettavissa, aiheuttaa se ennakoimattomia tulonsiirtoja markkinaosapuolten välillä. Mietinnössä todetaan, että sähkön käytön ennustamaton

rajoittaminen voi aiheuttaa lyhyellä aikavälillä merkittäviä lisäkustannuksia sähkön myyneelle osapuolelle. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008.)

Työ ja elinkeinoministeriön mietinnön mukaan sähkön myyjän näkökulmasta kysyntäjoudesta saatavat hyödyt ovat yhteneviä asiakkaan saamien hyötyjen kanssa. Myyjän kannalta reaaliaikaisesti markkinahintaa seuraavien tuotteiden mukana tulevia tärkeitä asioita ovat sähkön hinnan läpinäkyvyys sekä kulutuksen säätömahdollisuus tehopulan ja kalliin markkinahinnan aikaan. Myyjän kannalta kysyntäjoustopuutteen toteutuksen tulisi kuitenkin olla melko automaattinen toimenpide, joka tapahtuisi mahdollisesti esimerkiksi kiinteistöautomaation kautta. Myyjän kannalta automaation mukanaan tuoma etu on nimenomaan kysyntäjoustopuutteen ennustettavuus. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008.)

Yhteenvedon voitiin sanoa, että kotitalouksien reaaliaikainen hinnoittelu on potentiaalinen keino parantaa koko sähkömarkkinoiden toimintaa. Teoreettisesti on hyvin perusteltu kuinka reaaliaikaisen hinnoittelun mukanaan tuoma kysyntäjoustopuute johtaa tehokkuushyötyihin ja parantaa koko sähkömarkkinoiden toimintaa muun muassa vähentämällä tuottajien mahdollisuutta käyttää markkinavoimaa. Kotitalouksien kulutuksen osuus sähkön kokonaiskulutuksesta, ja vielä nimenomaan huippukysyntäaikaisten kokonaiskulutuksesta, on merkittävä. Lisäksi tarkasteltujen tutkimusten valossa näyttää siltä, että kotitaloudet reagoivat muuttuviin hintoihin ja reaktiot ovat voimakkuudeltaan sellaisia, että niillä on vaikutusta markkinoiden toimintaan. Nämä kaksi huomiota yhdistämällä voidaan todeta, että mikäli kysyntäjoustopuute halutaan ottaa osaksi sähkömarkkinoiden toimintaa, ei kotitalouksia voi jättää huomioimatta. Mielenkiintoista on lisäksi havainto siitä, että kotitaloudet reagoivat ennemmin kulutusta välttämällä, kuin siirtämällä sitä toiseen ajankohtaan. Jos tämä toimintamalli osoittautuisi yleismaailmalliseksi, olisi reaaliaikaisessa hinnoittelussa sellaista potentiaalia energiatehokkuuden kasvattamiseen, jota teoreettisissa malleissa ei ole otettu huomioon.

Tarkastellut tutkimukset korostavat sähkönsäästöä helpottavan teknologian ja automaation merkitystä reaaliaikaisen hinnoittelun vaikuttavuuteen. Teknologia vaikuttaa monelta eri kantilta. Ensinnäkin teknologian avulla kotitaloudet näyttävät pääsevän suurempiin kysyntäjoustopuuteihin. Toiseksi, teknologia ja automaatio

tekevät perustelluksi yhä pienempien kotitalouksien osallistumisen reaaliaikaiseen hinnoitteluun. Kuten teoreettisesti ja simulaatiomallin avulla on osoitettu, sitä suuremmat ovat potentiaaliset hyödyt reaaliaikaisesta hinnoittelusta mitä voimakkaampaa on kysyntäjousto ja mitä suurempi osa asiakkaista on sen piirissä. Kolmanneksi, teknologian avulla kysyntäjouston ennustettavuuden voidaan ajatella kasvavan. Tämä puolestaan on tärkeää sähkön myyjien kannalta.

Lisätutkimusta reaaliaikaisesta hinnoittelusta kotitalouksille kuitenkin tarvitaan. Tärkeää olisi järjestää laajempia, tieteellisesti luotettavia hinnoittelukokeita, jotta saadaan laajempaa todistusaineistoa kotitalouksien reaktioiden voimakkuudesta ja siitä, kuinka kotitaloudet reagoivat kulutustaan säätelemällä. Lisäksi tärkeää olisi tunnistaa kotitalouksien omistamien sähkölaitteiden kannalta samantyyppisiä markkina-alueita ja järjestää hinnoittelukokeita näillä eri markkina-alueilla. Reaktioiden voimakkuudet tarkemmin tuntemalla voidaan tarkemmin simulaatiomallien avulla selvittää reaaliaikaisen hinnoittelun potentiaalisia hyötyjä.

LÄHTEET

Albadi, M.H., El-Saadany, E.F. (2008). A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research* 78 (2008) 1989–1996.

Allcott, H. (2011). Rethinking real-time electricity pricing. *Resource and Energy Economics* 33 (2011) 820-842.

Borenstein, S., Holland S.P. (2005). On the Efficiency of Competitive Electricity Markets with Time-Invariant Retail Prices. *The RAND Journal of Economics* Vol. 36, No. 3 (2005) 469-493

Darby, S.J., McKenna, E. (2012). Social implications of residential demand response in cool temperate climates. *Energy Policy* 49 (2012) 759-769

Di Giorgio, A., Pimpinella, L. (2012). An event driven Smart Home Controller enabling consumer economic saving and automated Demand Side Management. *Applied Energy* 96 (2012) 92-103

Eurostat (2013). Final energy consumption of electricity http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables . Viitattu 18.10.2013

Faruqui, A., Sergici, S. (2010). Household response to dynamic pricing of electricity: a survey of 15 experiments. *Journal of Regulatory Economics* 38: 193-225.

Fischer C. (2008). Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency* (2008) 1:79–104

Goldman, C., Reid, M., Levy, R. (2010). Coordination of Energy Efficiency and Demand Response Lawrence Berkeley National Laboratory Report: LBNL-3044E, Berkeley, California, 2010.

Hopper, N., Goldman, C., Bharvirkar, R., Neenan, B. (2006). Customer response to day-ahead market hourly pricing: Choices and performance. *Utilities Policy* 14 (2006) 126-134

IAE, International Energy Agency (2003). *The Power to Choose – Demand Response in Liberalized Electricity Markets*. Paris, OECD.

Joskow, P. (2008). Lessons Learned From Electricity Market Liberalization. *The Energy Journal* Volume 29 (2008) Special Issue #2, 9-42.

Joskow, P., Wolfram C. (2012). Dynamic Pricing Of Electricity. *American Economic Review Papers and Proceedings 2012*, 102(3):381-385

Kopsakangas-Savolainen, M., Svento R. (2012). *Modern Energy Markets*. London, Springer.

Newborough, M., Augood, P. (1999). Demand-side management opportunities for the UK domestic sector. *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings*, Volume: 146, Issue: 3, 283-293

Nord Pool Spot (2013). Elspot Prices. <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Hourly/> . Viitattu 15.10.2013.

Saele, H., Grande, O. (2011). Demand Response From Household Customers: Experiences From a Pilot Study in Norway. *IEEE Transactions on smart grid*, Vol. 2, No. 1, 102-109

Strömbäck, J., Dromacque, C., Yassin, M.H. (2011). *The Potential of Smart Meter Enabled Programs To Increase Energy and System Efficiency: Mass Pilot Comparison*. A report for the European Smart Metering Industry Group. VaasaETT, Global Energy Think Tank.

World Bank (2013). Electric power consumption, kWh per capita. <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC> , viitattu 22.10.2013.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2008). Sähkön kysyntäjoustop edistäminen. https://www.tem.fi/files/19729/Sahkon_kysyntajoustop_edistaminen_14.3.2008.pdf . Viitattu 5.11.2013.

Yhdysvaltain energiavirasto (2006). Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them. A report to the United States Congress Pursuant to Section 1252 of the Energy Policy Act of 2005. http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_Benefits_of_Demand_Response_in_Electricity_Markets_and_Recommendations_for_Achieving_Them_Report_to_Congress.pdf . Viitattu 7.11.2013.