

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Mika Honkanen

SUOMEEN TUOTAVAN SÄHKÖN MÄÄRÄÄN VAIKUT-  
TAVIA SYITÄ TUONTITEORIAN NÄKÖKULMASTA

Opinnäytetyö  
Helmikuu 2013



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Tammikuu 2013**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
Puh. (013) 260 6800

Tekijä

Mika Honkanen

Nimeke

Suomeen tuotavan sähkön määrään vaikuttavia syitä tuontiteorian näkökulmasta

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä selvitettiin Suomen nykytilannetta sähkön tuotannon sekä hankinnan osalta. Sähkömarkkinat ovat toimintakentältään moniulotteisia, joten tässä työssä keskityttiin tuontisähköön aineiston testauksessa. Analysoinnissa on käytetty selitettävänä muuttujana Venäjältä, Ruotsista sekä Norjasta tuodun sähkön määrää. Selittävinä tekijöinä on huomioitu Suomen bruttokansantuotetta, Suomessa myydyn sähkön hintaa kuluttajalle, Elspot-systeemihintaa (Nord Pool), euron ja ruplan välistä valuuttakurssia sekä Venäjän sähkömarkkinoilla myydyn sähkön hintaa. Aineisto on kuukausidataa vuosilta 2000-2009.

Tulosten perusteella Venäjältä tuotavan sähkön määrään vaikuttaa kotimainen tuotanto, Elspot-systeemihinta sekä kausittaiset tekijät. Samankaltaista käyttäytymistä on havaittavissa Ruotsin aineistolle. Norjan tapauksessa tuontiin vaikuttaa ainoastaan vuodenaikojen vaihtelu. Työssä tarkasteltiin myös Suomen sähkön tuotannon kokonaiskapasiteettia suhteessa kulutukseen. Kulutus ei ole ylittänyt kapasiteettia tarkastellulla aikavälillä. Näin ollen kapasiteettia ei sisällytetä selittäväksi muuttujaksi.

Kieli

suomi

Sivuja 60

Liitteet 5

Liitesivumäärä 9

Asiasanat

sähköenergia, energiamarkkinat, tuonti



**THESIS**  
**January 2013**  
**Degree Programme in**  
**Electrical Engineering**

Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +358-13-260 6800

Author

Mika Honkanen

Title

Reasons Affecting the Amount of Electricity Imported to Finland from the Viewpoint of Import Theory

Abstract

This thesis provides a report of electricity production and delivery in Finland. The area of electricity market is extremely large so the focus in this thesis is on import from Russia, Sweden and Norway. The effects of gross domestic product (GDP), exchange rate between euro and ruble and electricity prices in domestic front, Nord Pool (Elspot system price) and Russia were investigated. Monthly data was used within the period of 2000-2009.

The results obtained in this study showed that electricity imported from Russia and Sweden is dependent on GDP, Elspot system price and seasonal factors. Tests showed that import from Norway depends mostly on seasonal factors. The total capacity of electricity production was also tested as a variable of electricity import but the results did not give any reason to consider this factor as an explanatory variable.

Language

Finnish

Pages 60

Appendices 5

Pages of Appendices 9

Keywords

production and delivery of electricity, import, Nord Pool

## Sisällysluettelo

1 Johdanto .....	6
2 Sähkö tuotteena.....	6
3 Sähkön tuotantorakenne Suomessa.....	7
3.1 Sähkönjakelu .....	7
3.2 Kokonaiskapasiteetti.....	8
3.2.1 Ydinvoima .....	9
3.2.2 Vesivoima.....	10
3.2.3 Tuulivoima.....	10
3.2.4 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (Combined Heat and Power, CHP) .....	11
3.2.5 Bioenergia.....	11
3.2.6 Öljy, kivihiihi ja maakaasu.....	12
3.2.7 Tuonti- ja vientisähkö.....	12
4 Sähkönkulutus .....	13
5 Energiapolitiikka.....	14
5.1 Päästöoikeudet.....	14
5.2 Muut keinot .....	15
6 Sähkön hinta .....	17
6.1 Pohjoismaiset sähkömarkkinat – Nord Pool .....	18
6.2 Venäjän sähkömarkkinat.....	20
7 Tuontisähkön kysynnän teoria.....	21
8 Tuontiteorian testaus aineistoon .....	25
8.1 Aineiston analysointi .....	25
8.2 Usean muuttujan regressiomalli (staattinen analyysi) .....	29
8.2.1 Venäjä (MRM).....	29
8.2.2 Ruotsi (MRM).....	34
8.2.3 Norja (MRM).....	37

8.3 VAR-malli (dynaaminen analyysi).....	40
8.3.1 Venäjä (VAR).....	42
8.3.2 Ruotsi (VAR).....	44
8.3.3 Norja (VAR).....	45
9 Johtopäätökset .....	46
10 Pohdinta.....	48
Lähdeluettelo .....	50
Liitteet .....	53

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää tämän päivän sähkömarkkinoiden tilanne Suomessa. Sähkömarkkinoilla tarkoitetaan tässä tuotantorakennetta, kaupankäyntiä sekä julkisen vallan keinoja tuotannon sekä kulutuksen sääntelyssä. Empiirinen osuus puolestaan on tuontisähkön todellisten syiden analysointia kapasiteettirajoituksen, kotimaan BKT:n ja sähkön markkinahintojen näkökulmista.

Sähkön tuontikysynnän selvittämiseksi käytämme tuontikysynnän teoriaa ja testaamme aineistoa ekonometrisin menetelmin. Usean selittäjän regressiomallin (Multiple Regression Model, MRM) avulla voidaan tarkastella eri selittäviä muuttujia sekä niiden vaikutusta selitettävään ilmiöön. VAR-malli pystyy ilman rakenteellisen talousmallin oletusta testaamaan shokin (kasvatetaan yhden yksikön verran muuttujaa X ja havaitaan Y:n reaktio (lasku, nousu tai ei muutosta)) vaikutuksia yli ajan ja muuttujien välisiä riippuvuuksia. Menetelmillä mallinnetaan tuontikysyntää Venäjältä, Ruotsista sekä Norjasta. Ruotsilla ja Norjalla on omat markkina-alueensa ja Venäjällä omansa. Suomeen tuodaan sähköä myös Virosta, mutta aineiston laadullisista syistä sen käyttö ei ole järkevää tilastollisesta näkökulmasta (tuontimäärät vähäisiä ja satunnaisia vuositasolla).

Kaupankäynti tapahtuu Ruotsista ja Norjasta pääsääntöisesti Nord Poolin kautta, mutta bilateraalaisia sopimuksia on edelleen käytössä erityisesti Venäjällä. Tämä tuo hankaluuksia aineiston kannalta, koska todelliset ostohinnat kahden sopimusosapuolen välillä ovat luottamuksellisia. Kuukausiaineisto on vuosilta 2000-2009. Malleista saatujen tulosten selittävyyttä voidaan verrata nykyhetken tilanteeseen ja näin ollen hyödyntää sitä ajanhetkestä riippumatta.

## 2 Sähkö tuotteena

Sähköön hyödykkeenä liittyy erityisiä ominaisuuksia:

- jatkuva virtaus, eli tuotanto ja kulutus jatkuva-aikaisesti (sähkötase<sup>1</sup>),

---

<sup>1</sup> Sähkön tuotannosta kerätään tietoa eri voimalaitoksilta ja data lähetetään taseselvittäjille. Ketjun ylläpänä toimii Fingridin tasesähköyksikkö. Taseselvityksen laskennat ovat tuntienergioihin perustuvia. Tulokset saadaan tuntienergiamittauksista, tyyppikuormituskäyristä, tuotantosuunnitelmista ja kiinteistä toimituksista.

- kulutus vaihtelee päivä-, viikko- ja vuositasolla sekä
- sähkön palautuksettomuus/jäljittämättömyys (se, mistä yksi kWh on toimitettu ei voi palauttaa, eikä jäljittää mistä se on tullut).

Talousteoria pohjautuu tasapainoon tarjonnan ja kysynnän välillä. Tasapaino on määritelty hinnalla, johon kuluttajat ja tuottajat sopeutuvat. Yhtäaikaisuus ja jatkuva kuormituksen vaihtelu aiheuttavat sähköverkossa ongelman. Hintamekanismi ei voi toimia riittävän nopeasti tasapainottamaan tuotantoa ja kulutusta reaaliaikaisesti. Yksi käytännön seuraus on se, että hinnoittelun on oltava joko edellä (ex ante) tai jäljessä (ex post). Sähkö voidaan kuvailla matemaattisin termein perustuen fysikaalisiin tunnuslukuihin, joka tekee siitä talouden näkökulmasta mielenkiintoisen mittauskohteen. Sähkö on siis yhdistetty fysikaalinen järjestelmä. Järjestelmän ominaisuus mahdollistaa tarkan taloudellisen esityksen. (Wangensteen, 2007)

### **3 Sähkön tuotantorakenne Suomessa**

#### **3.1 Sähkönjakelu**

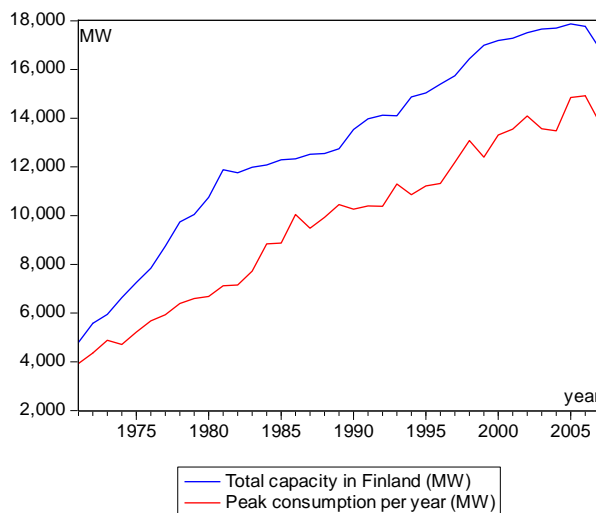
Suomessa sähkö tuotetaan käytännössä voimayhtiöillä, jotka voivat olla kuntien energiayhtiöitä, teollisuuden voimayhtiöitä sekä valtion kokonaan tai enemmistönä omistamia yhtiöitä. Suomen sähköjärjestelmän keskeinen osa on kantaverkko, jota ylläpitää Fingrid Oyj. Yritys vastaa sähkömarkkinalain (17.3.1995/386) velvoittamana sähköjärjestelmän toimivuudesta valtakunnassa. Fingridin omistus on jakautunut siten (vuonna 2012), että valtio omistaa yrityksestä 53,1 prosenttia, Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen 19 prosenttia ja 27 prosenttia on institutionaalisia sijoittajia. (Fingrid, 2012)

Nordel on Tanskan, Suomen, Islannin, Norjan sekä Ruotsin kantaverkkoyhtiöiden (Transmission System Operators (TSOs)) välillä toimiva organisaatio. Sen ydintehtäviin kuuluu varmistaa energiajärjestelmän turvallisuus, säilyttää tasapaino kysynnän ja tarjonnan välillä, säilyttää siirtosysteemin lyhyt- ja pitkäaikainen riittävyys sekä turvata ja lisätä sähkömarkkinoiden tehokasta toimintaa. Nordel on jatkuva dialogi viranomaisten ja markkinaosapuolien välillä. Näin pystytään kehittämään tehokkaita sähkömarkkinoita ja turvaamaan tuotanto. Vuoden 2009 aikana se on yhdistetty uuteen eurooppalaiseen TSO-organisaatioon, joka on European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E).

ENTSO-E on perustettu 19.12.2008 ja sen tarkoitus on korvata muut Euroopan alueella toimivat operaattorit. Nordelin preferensseihin sisältyy myös Pohjois- ja Länsi-Euroopan integrointi sähköisesti ja säilyttää pohjoisen alueen sähkövarmuus. Se suosii lisäksi Pohjoismaista yhteistyötä Elbas-markkinoilla (myös Saksaan). Elbas on eräs markkinaosapuolien epätasapainon tuotannon ja kulutuksen hallintamekanismi sähkön toimitushetken lähitunteina. Siksi se on merkittävä väline sähkömarkkinoilla. (Entso-e, 2012)

### 3.2 Kokonaiskapasiteetti

Asennettu kapasiteetti on maksimitaso energian tuotannolle tai kuljetukselle olosuhteet huomioiden. Maksimikapasiteetti on todellisen tuotannon tai kuljetuksen korkein taso tietyllä aikajaksolla. (Harris, 2006)



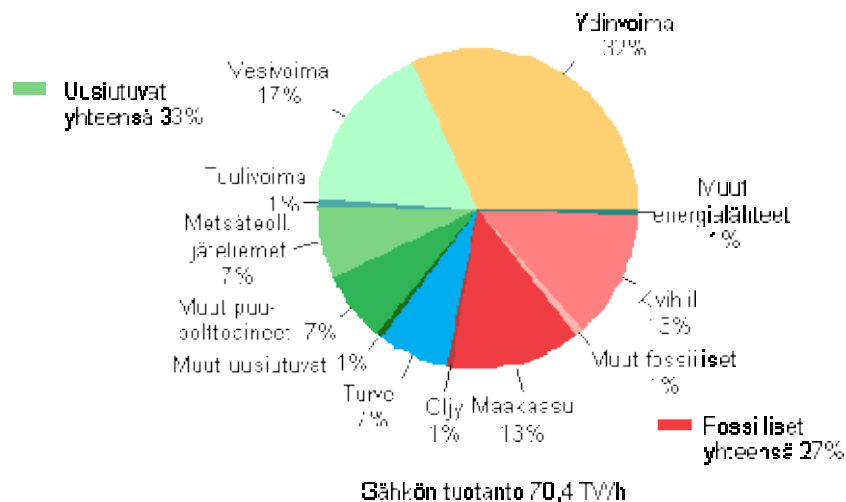
**KUVIO 1** Sähkön tuotannon kapasiteetti Suomessa ja kokonaiskulutuksen huipputehot vuosilta 1971 - 2007.

Kuvion 1 perusteella on ymmärrettävissä, että kysyntä (alempi käyrä) ei ole saavuttanut rajapistettä missään vaiheessa kapasiteetin (ylempi käyrä) suhteen. Sähkön tuonti ei näin ollen ole suoraan selitettävissä kapasiteettivajeella. Tulevaisuuden ennusteet ovat kuitenkin selkeästi lisäkapasiteetin puolella. Kuvioista 1 voidaan päätellä, että trendi on nouseva. Vaikka energiatehokkuus kulutuksen osalta on parantunut vuosien aikana, niin määrä kasvaa ja näin ollen tarve on olemassa. On oletettavaa, että todelliset syyt sähkön



tuonnille löytyvät ostohinnoista ulkomaiselle sähkölle. Osa kotimaisesta tuotannosta on liian kallista jatkuva-aikaiseen käyttöön, mutta periaatteessa kapasiteettia ei voi laskea liian alhaiseksi sähkön saannin turvaamisen näkökulmasta. Tuontisähkö vaatii aina taustalle varavoimaa, mikäli saatavuudessa tulee ongelmia.

Suomessa tuotettiin vuonna 2011 yhteensä jakeluun noin 73,5 TWh sähköä (Energiateollisuus, 2012). Suomen kokonaistuotantokapasiteetti yhteenlaskettuna yli 100 MW:n (nimellissähköteho) laitoksille 31.12.2011 on ollut noin 16 800 MW (Energiamarkkinavirasto, Fingrid, 2012). Tuontiyhteydet ovat tällä hetkellä (vuoden 2012 lopussa) Pohjois-Ruotsista 1429 MW, Keski-Ruotsista 800 MW, Virosta 365 MW ja Venäjältä 1460 MW (Fingrid, 2012). Markkinalähtöisesti huippu- ja varavoimaa ei synny eikä säily. Määräaikaisella tehoreservilailla on palautettu 600 megawattia vanhaa lauhdevoimaa talvisin kolmen kuukauden valmiustilaan. Huipputehon on arvioitu kasvavan 19 000 megawattiin vuoteen 2030 mennessä (Elinkeinoelämän keskusliitto EK; Energiateollisuus ry, 2007).



**KUVIO 2** Sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2011. (Tilastokeskus, 2012)

### 3.2.1 Ydinvoima

Ydinvoimalla toteutetaan merkittävästi osaltaan ilmastostrategiaa. Sillä tuotetaan Suomessa suurin yksittäinen osuus sähköstä, eli nykyisin yli 30 prosenttia (kuvio 2). Tois-taiseksi toiminnassa on neljä ydinvoimalaa ja viides on rakenteilla (Fortum Loviisa 3). Näiden neljän voimalaitoksen yhteenlaskettu bruttoteho on noin 2800 megawattia ja nettoteho noin 2700 megawattia. Kaupallinen kannattavuus on lisääntynyt 1990-luvun

jälkeen tehtyjen mittavien investointien seurauksena, jossa esimerkiksi laitoksien tehoa on nostettu. Laitokset sijaitsevat Loviisassa ja olkiluodossa. Vuonna 2011 nämä voimalaitokset tuottivat yhteensä yli 22 terawattituntia sähköä. Olkiluoto 4 -laitokselle (Teollisuuden Voima Oyj, TVO) on aloitettu ympäristövaikutusten arviointi (YVA<sup>2</sup>) vuonna 2007 ja 6.5.2010 valtioneuvosto on antanut hankkeelle myönteisen periaatepäätöksen.

### 3.2.2 Vesivoima

Energiateollisuus ry teki kauppa- ja teollisuusministeriön tuella toukokuussa 2007 energiataloudellisen selvityksen, jonka tarkoituksena oli kartoittaa vesivoiman rakentamismahdollisuudet vuoteen 2020 asti. Tutkimuksessa on huomioitu kaikki potentiaalit, huolimatta erityisistä esteistä, kuten suojelulainsäädännöstä. Selvityksen perusteella Suomessa on rakentamiskelpoista vesivoimaa kokonaisuudessaan 1710 MW, energiana 6,7 TWh/a. Se tarkoittaa noin puolta jo olemassa olevasta vesivoimasta. Potentiaalinen lisäys vuoteen 2020 olisi 470 MW, energiana 1,3 TWh/a. Yhteensä noin 25 prosenttia tästä lisäyksestä on toteutettavissa jo toimivissa voimalaitoksissa. (Oy Vesirakentaja, 2008)

### 3.2.3 Tuulivoima

Ensimmäinen kaupalliseen käyttöön rakennettu tuulivoimalaitos aloitti toimintansa vuonna 1986 ja oli teholtaan 50 kW. Nykyiset Suomen markkinoilla toimivat laitokset ovat tyypillisesti 3–5 megawatin kokoisia ja rakennettu puistoina, jossa kappalemäärät ovat yleensä alle 10 voimalaa (maalle rakennetut) ja suurimmillaan (merelle sijoitettuna) 30–40 tuulivoimalaitosta. Nykyinen kapasiteetti on noin 200 MW, mutta suunnitelluusteella on lähes 9000 megawattia tuulivoimaa. Sähköntuotannossa kyseinen muoto ei ole täysin kilpailukykyinen suhteessa muihin perinteisiin sähköntuotantomuotoihin, joten kannustimena tuottajille on esimerkiksi *Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta*. (Tuulivoimaopas, 2012)

Teknisiltä ominaisuuksiltaan tuulivoima on ymmärrettävästi epästabiilimpi suhteessa muihin käytössä oleviin laitostyypeihin. Tuulisuus vaihtelee vuorokauden, vuodenaikojen ja säärintamien mukaan. Tuulen energia on keskimääräisesti kuitenkin lähes vakio ja hajautetulla systeemillä erot tasoittuvat. Pohjoismaisilta sähkömarkkinoilta tuleva sähkö voidaan ottaa jopa 10–15 minuutissa käyttöön ja tuuliolosuhteiden en-

---

<sup>2</sup> YVA-prosessi sisältää kaksi vaihetta. Ensin voimayhtiöt laativat YVA-ohjelmat ja toisessa vaiheessa YVA-selostuksen. Yhteysviranomaisena on työ- ja elinkeinoministeriö.

nakoitavuus on yleensä kysynnän ja tarjonnan näkökulmasta hyvä (1–2 päivää). Yleisesti on puhuttu, että kyseinen tuotanto vaatii varavoimaa, mutta VTT:n arvion perusteella tuulivoima ei tule tarvitsemaan erityistä säätövoimaa Suomessa. Erityissäädön tarve voi tulla kysymykseen, mikäli kapasiteetti Suomessa kasvatetaan yli 4000 MW:n. (Kangas, 2011)

### **3.2.4 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (Combined Heat and Power, CHP)**

Yhteistuotantolaitokset käyttävät polttoaineenaan kivihiiltä, turvetta, puu- ja peltobiomassaa sekä maakaasua. Voimalaitoksista voidaan saada parhaimmillaan yli 90 prosentin kokonaishyötysuhde, kun tuotettua lämpöä hyödynnetään prosessihöyrynä ja kaukolämpönä. Yhteistuotantolaitokset ovat usein lauhdevoimalaitoksia edullisempia tuotantokustannuksiltaan (Pohjolan Voima Oy, 2012).

Fortum on rakentamassa ensimmäistä CHP-voimalaitokseen integroitua bioöljylaitosta, joka tarjoaa useita synergiaetuja ja kustannustehokkuutta. Laitos tuottaa bioöljyä metsäbiomassasta, jota hyödynnetään fossiilisten polttoaineiden sijasta polttoaineena vanhoissa öljykattiloissa. Pyrolyysiprosessin jälkeen muun muassa jäljelle jäänyt metsähake poltetaan CHP-voimalaitoksen kattilassa.

Uusiutuvan energian käyttöön liittyy Suomessa esimerkiksi pien-CHP-laitokset, jossa 350 000 kWh/v sähkön sekä 700 000 kWh/v lämmön kulutusta on tuotettu omalla 40 kW:n generaattoriteholla ja 100 kW:n lämpöteholla maatilan käyttöön. Prosessi toimii täysin omavaraisesti ja kustannustehokkaasti (noin 50 prosenttia edullisemmalla sähkön ja lämmön hinnalla kuin verkosta ostettaessa). (Huikuri & Okkonen, 2012)

### **3.2.5 Bioenergia**

Bioenergia on energiamuoto, jossa sen poltosta syntyvät hiilidioksidipäästöt sitoutuvat uuden biomassan kasvuun. Kotimaassa käytössä olevia bioenergialähteitä ovat esimerkiksi puu ja turve. Puuenergian hyödyntäminen on Suomessa erittäin tehokasta. Kotimaisena polttoaineena se vähentää riippuvuutta tuontipolttoaineisiin. Puu ei ole kilpailukykyinen pelkässä sähköntuotannossa, vaan toimii parhaimmillaan yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa (Energieollisuus, 2012). Määritelmän mukaan puusta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt ovat kasvihuoneneutraaleja, koska vapautunut hiilidioksidi sitoutuu uuteen kasvuun nopeasti.

Toinen energiantuotannon käytössä oleva biomassa on turve, joka määritellään hitaasti uusiutuvaksi, koska sen uusiutumisaika on 2000-3000 vuotta. Suomen sähköntuotannosta turpeen osuus on seitsemän prosenttia (kuvio 2). Turve on yhtä lailla puuenergian kanssa sopiva sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Toimitusvarmuus on eräs käytettävyyteen liittyvistä argumenteista, vaikkakin turvevarastojen määrä on laskenut.

### **3.2.6 Öljy, kivihiili ja maakaasu**

Öljyn osuus sähköntuotannossa on melko vähäinen (vuonna 2011 ollut 1,0 prosenttia, kuvio 2). Sen rooli on pääsääntöisesti turvata suomen öljyhuoltoa sekä toimia varapolttoaineena. Kotimaassa ei ole omaa raakaöljytuotantoa ja siksi olemme riippuvaisia tuonnista.

Sähkön kokonaishankinnasta kivihiilen osuus on vaihdellut viime vuosina 10–20 prosentin välillä (Tilastokeskus, 2012). Sen käyttösuuteen ovat vaikuttaneet muun muassa pohjoismaiset vesivarannot. Päästökauppa on osaltaan nostanut merkittävästi käyttökustannuksia kivihiilelle ja näin ollen sen kilpailuasema suhteessa esimerkiksi maakaasuun on heikentynyt. Päästöjen osuutta on pyritty vähentämään hyötysuhdetta parantamalla (laitosteknologia, hiilidioksidin talteenotto jne.).

Maakaasu on tehokas raaka-aine tuotantoteknisesti. Sen energia pystytään hyödyntämään tuotannossa korkealla hyötysuhteella. Maakaasun käyttö edellyttää verkkoyhteyttä, vaikka sen kuljetus laivalla nestemäisessä muodossa olisi mahdollista. Kaasun varastointi on hankalaa ja siksi sitä säilytetään ainoastaan putkiverkossa vuorokausivaihtelujen tasauksen mahdollistamiseksi. Maakaasu on päästöiltään puhtaampaa, kuin muut fossiiliset polttoaineet. Maakaasua käytettiin vuonna 2011 sähköntuotannossa 13 prosentin osuudella (kuvio 2).

### **3.2.7 Tuonti- ja vientisähkö**

Vuonna 2011 Suomeen tuotiin yhteensä noin 17,6 TWh sähköä. Venäjältä tuodun sähkön osuus oli noin 10,8 TWh, Ruotsin osuus noin 5,1 TWh, Norjasta noin 0,1 TWh ja Virosta noin 1,6 TWh. (Energiateollisuus, 2012) Pohjoismaiden alueella rajajohtojen siirtokapasiteetti on kokonaisuudessaan sähkömarkkinoiden käytössä, Nord Pool Spotin, Elspot- ja Elbas markkinapaikkojen kautta. Yleisesti tuontisähkön osalta on aina varauduttava varavoimalla. Järjestelmän luotettavuuden turvaamiseksi tuontia ei kannatta kasvattaa yli tietyn kapasiteetin.

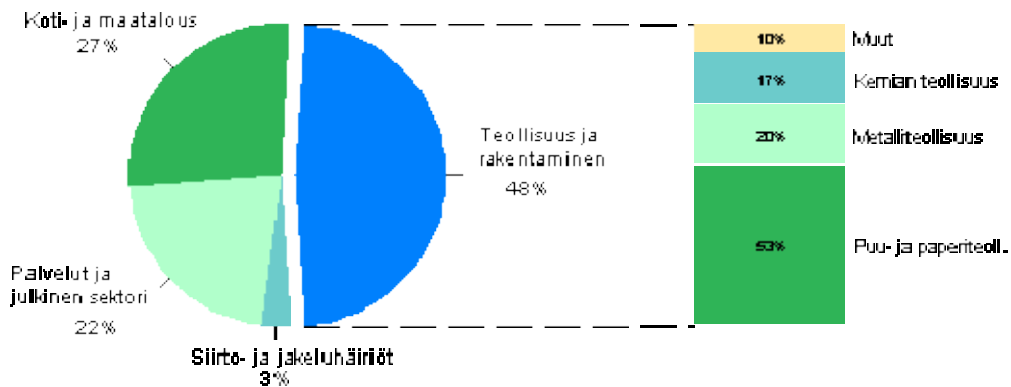
Sähkö on Suomessa yleiseen hintatasoon verrattuna edullista. Eurostatin tilaston mukaan EU:n keskikokoisten teollisuuden tuottajien (27 maata) keskimääräinen sähkön ostohinta teollisuuden käyttöön vuonna 2010 on ollut 0,1037 euroa/kWh, kun taas Suomessa hinta on ollut 0,0693 euroa/kWh (Eurostat, 2010). Teollisuus saa tällöin kilpailuetua suhteessa muihin tuottajavaltioihin.

Vientisähkön osalta meillä on olosuhteiden (kapasiteetti) luomia rajoitteita. Tuotantoon olisi tällöin investoitava radikaalisti. Negatiiviset ulkoisvaikutukset, kuten ydinjäte sekä muut saasteet ovat tietenkin seuraava ratkaistava ongelma. Rahoitusta on markkinoilla saatavilla, mutta kansalliset rajoitukset jarruttavat investointeja.

## **4 Sähkönkulutus**

Sähkön kulutuksella on taipumus korreloida talouden kasvun kanssa. Elinkeinoelämän keskusliitto ja Energiateollisuus ry on tehnyt selvitystä Suomen sähkön kysynnälle vuosille 2020 ja 2030. Arviointiin vaikuttaa kysynnän epävarmuustekijät mm. ikääntyvän väestön kannalta palvelualan kysynnän kasvu sekä teollisuuden tuotannon supistuminen. Metalliteollisuuden odotetaan kuitenkin kasvavan. (Elinkeinoelämän keskusliitto EK; Energiateollisuus ry, 2007) Tyypillisesti sähkön tarve on suurimmillaan kylminä talvikuukausina. Sähkön kokonaiskulutus sektoreittain on nähtävissä kuviossa 3. Uuden sähköntuotantokapasiteetin tarve on merkittävä. Investointien kohdentamisessa on syytä ottaa huomioon ilmastonmuutos, kilpailukyky sekä toimintavarmuus.

Vuonna 2011 sähkön kokonaiskulutus on ollut noin 84,2 TWh (-3,9 prosenttia vuodesta 2010). Asumisen ja maatalouden osuus kokonaiskulutuksesta oli noin 27 prosenttia, teollisuuden osuus noin 48 prosenttia sekä palvelut ja julkinen sektori noin 22 prosenttia. Sähkön kysynnän on arvioitu kasvavan vuoteen 2020 asti noin 1,2 prosenttia per vuosi ja vuosien 2020 ja 2030 välillä 0,7 prosenttia per vuosi. (Energiateollisuus, 2012)



\* ennakkotieto

**KUVIO 3** Sähkön kokonaiskulutus sektoreittain vuonna 2011. (Tilastokeskus, 2012)

## 5 Energiapolitiikka

### 5.1 Päästöoikeudet

Ensimmäisenä pörssinä maailmassa päästöoikeuksien kaupankäynti 11.2.2005 avautui Nord Poolissa. Kohteena on termiinisopimus fyysisestä toimituksesta. Pienin kaupattava määrä on 1000 t CO<sub>2</sub>.

Ilmastostrategiaa on pyritty edistämään myös päästökauppadirektiivin (2003/87/EY, muutos 2009/29/EY) mukaisella yritysten välisellä päästökaupalla. Järjestelmä käsittää suuret voimalaitokset ja yhteenlasketulta nimelliseltä lämpöteholtaan yli 20 MW:n laitojen hiilidioksidipäästöt. Suomen järjestelmään kuuluu kuitenkin myös 20 MW:n tai sitä pienempiä kaukolämpöä tuottavia laitoksia. Vuosille 2005–2007 valtioneuvosto myönsi kansalliseen jakosuunnitelmaesitykseen perustuvat laitoskohtaiset päästöoikeudet 21.12.2004. Myöntäminen perustuu päästökauppalakiin (683/2004). Päästöoikeudet jaettiin maksutta. Päästöoikeuksien maksuttomuuden seurauksena voimayhtiöt ovat saaneet windfall-voittoja.

Laitoskohtaiset päästöoikeudet valtioneuvosto on myöntänyt 14.2.2008 vuosille 2008–2012. Jako perustuu valtioneuvoston 22.2.2007 hyväksymään kansalliseen jakosuunnitelmaesitykseen. Esitykseen on komission toimesta annettu päätös 4.6.2007. Komissio on edellyttänyt, että Suomi leikkaa kokonaispäästöoikeusmäärää noin 2 miljoonaa ton-

nia hiilidioksidia vuodessa. Päästökauppalakia on tämän johdosta muutettu 1.1.2008 voimaantulleella lailla (1468/2007). Uusi päästökauppalaki (311/2011) on tullut voimaan 1.5.2011, jossa säädetään keskeiset päästökauppadirektiivin päästöoikeuksien jakoa koskevat periaatteet kaudelle 2013-2020.

Honkatukia ja Rajala (2007) ovat selvittäneet, miten suomalaisen teollisuuden vaikuttaa pohjoismaisten energiamarkkinoiden toimivuus sekä EU:n päästökauppa. Viimeksi mainittu on tulosten perusteella koettu muuttaneen pohjoismaisia energiamarkkinoita epästabiilimmiksi. Hintariskin ohella myös energian saatavuus on heidän mukaansa vaarantunut.

Päästöoikeuksien hinnat ovat siirtyneet suoraan sähkön hintaan riippumatta tuotantomuodosta, jonka seurauksena hintariski on kasvanut. Epävarmuuteen oikeuksien saatavuudesta vaikuttaa päästöoikeuksien hinnan hyödyntäminen jälkimarkkinoilla ja jättämällä sähkö tuottamatta. Seurauksena on energian tarjonnan väheneminen sekä markkinahinnan nousu. Euroopan kytkeytyminen Pelko kilpailuedun menetyksestä päästökaupan aloittamisen jälkeen Pohjoismaiden alueella on lisääntynyt, koska sähkön tuotantohintojen ero on kaventunut muihin sähkömarkkina-alueisiin verrattuna. (Honkatukia & Rajala, 2007)

## **5.2 Muut keinot**

EU:n alueella tehdään yhteistyötä usealla eri tavalla. Tavoitteet EU:n energiapolitiikassa ovat yhteneviä Suomen kansallisten tavoitteiden kanssa. Yhtenäisellä politiikalla pyritään kilpailukykyisiin energian hintoihin, ympäristön kuormituksen vähentämiseen epäsuotuisilta vaikutuksilta ja energian riittävän ja häiriöttömän saatavuuden turvaamiseen.

Markkinoiden tehokasta toimintaa edistetään sähkön ja kaasun sisämarkkinadirektiiveillä, joilla turvataan teollisuuden tulevaisuuden toimintaa. Kestävää kehitystä on turvattu myös päästökauppadirektiivillä ja CHP -direktiivillä (Combined Heat and Power), jolla pyritään edistämään sähkön ja lämmön yhteistuotantoa. Taustatukea tuo myös direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. EU:n energiapolitiikassa parannetaan huoltovarmuutta mm. sähkön ja maakaasun toimitusvarmuusdirektiivillä sekä öljyvarastojen vähimmäistason direktiivillä. TEN-E ohjelma (Trans-European Energy Networks) rahoittaa Euroopan laajuisten energiaverkkojen selvityksiä. Huoltoa tukevaa yhteistyötä on

esimerkiksi EU-Venäjä –energiadialogi. Euratom-sopimus auttaa koordinoimaan ydinenergian tutkimusta, koska varsinaista ydinturvallisuutta koskevaa lainsäädäntöä ei Unionilla ole.

Eurooppa-neuvosto on kirjannut maaliskuussa 2007 komission aloitteiden strategisia tavoitteita:

- vuoteen 2020 mennessä energiatehokkuuden parannettava 20 prosentilla,
- uusiutuvia energialähteitä kasvatettava 20 prosenttiin kokonaisenergian tuotannosta,
- siirtotoimintoja on eriytettävä paremmin, jotta saadaan tehostettua sähkö- ja kaasusisämarkkinoita ja
- laadittava strateginen energiateknologiatoimintasuunnitelma mm. hiilidioksidin talteenotosta ja varastoinnista (CCS), biopolttoaineista sekä ydinenergiasta (fissio ja fuusio).

Ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään monilla eri keinoilla, mutta merkittävin kansainvälisistä sopimuksista on YK:n ilmastopopimus, joka astui voimaan 1994. Ilmastopopimusta täydentää vuonna 2005 voimaan tullut Kioton pöytäkirja. Tavoitteen mukaan sillä pyritään vähentämään viisi prosenttia kasvihuonekaasupäästöjä vuoden 1990 tasosta vuosina 2008 - 2012. Ilmastopopimukseen sisältyy erityisiä velvoitteita teollisuusmaille (24 OECD:n alkuperäistä jäsentä, Euroopan unioni ja 14 siirtymätalouden maata). Vauraimmat teollisuusmaat tukevat myös sopimuksen mukaisesti teknologian siirtoa kehitysmaihin.

Eurooppa-neuvosto on päättänyt vuoden 2007 maaliskuussa lisätä uusiutuvien energiatuotantomuotojen käyttöä yhteisön alueella 20 prosenttiin kokonaisenergiantarpeesta vuoteen 2020 mennessä. EU:n komissio on jättänyt 23.1.2008 esityksen tavoitteen jaosta jäsenmaille. Suomen velvoite olisi lisätä uusiutuvan energian käyttö 38 prosenttiin energian kulutuksesta.

Suomi tekee yhteistyötä kansainvälisesti OECD:n energiajärjestö IEA:ssa (International Energy Agency) ja ydinenergiajärjestö NEA:ssa (Nuclear Energy Agency). YK:ssa ovat keskeisinä yhteistyöjärjestöinä kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA (International Atomic Energy Agency) ja YK:n Euroopan talouskomission (UNECE) kestävän energi-

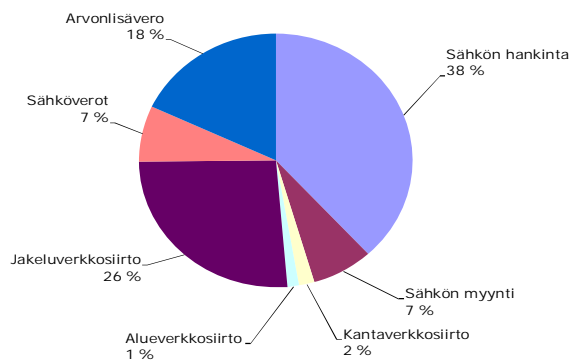


an komitea. Myös Kiina on vakiintunut kahdenkeskisen energia- ja ympäristöalan kansatoimijaksi.

## 6 Sähkön hinta

Sähkön siirtopalvelu ja sähköenergia muodostavat yhdessä verojen kanssa sähkön hinnan. Siirtopalvelu tarkoittaa kokonaisuutena sähkön siirtoa, mittarinlukua ja taseselvitystä. Myyntihinta eli sähköenergian hinta koostuu tuotantokustannuksista, kuten polttoaineiden hinnasta. Pohjoismaiden yhteisillä markkinoilla myös vesivoimalla (Norja) on suuri merkitys sähköenergian hinnalle.

Sähkövero (30.12.1996/1260) jaetaan alempaan (II) ja korkeampaan (I) veroluokkaan. Alempaa luokitusta käytetään teollisuudessa ja ammattimaisessa kasvihuoneviljelyssä käytetystä sähköstä. Ylempi I luokan vero koskee yksityistalouden, maa- ja metsätalouden, rakentamisen, tukku- ja vähittäistoiminnan, majoitus- ja ravitsemustoiminnan sekä yleisesti palvelutoiminnan kulutusta. Lisäksi maksetaan huoltovarmuusmaksua, joka on kaikille käyttäjille sama. Sähköenergiasta, siirtopalvelusta ja sähköverosta maksetaan lopuksi vielä arvonlisäveroa.



**KUVIO 4** Kotitalouskäyttäjän sähkön hinnan muodostuminen 1.1.2009. (Energiamarkkinavirasto, 2012)

Tariffit eli sähköenergian sekä siirtopalvelun hinnat koostuvat tavallisesti kiinteästä perusmaksusta ja kulutetusta energiamäärästä. Tariffit ovat vapaavalintaisia. On olemassa ns. yleis-, aika- ja tehotariffeja. Yleistariffi on toiselta nimeltään yleissähkö, joka soveltuu parhaiten alle 10.000 kWh kuluttaville asiakkaille. Maksut muodostuvat kulumaksusta ja kiinteästä perusmaksusta. Aikatariffi yleensä jaetaan yö- ja kausisähköön. Maksuun sisältyy kiinteä perusmaksu sekä kaksi kulumaksua (yösähkö/kausisähkö). Sähkön suurkuluttajille on suositeltavaa käyttää tehotariffia. Siihen kuuluu kiinteä perusmaksu, kulumaksu ja tehomaksu.

Energiamarkkinavirasto valvoo siirtohinnoittelua kaikkien sähköyhtiöiden osalta. Se perustuu sähkömarkkinalain vaatimaan kohtuullisuuteen hinnoittelussa. Energiamarkkinavirasto velvoittaa alentamaan siirtotariffeja seuraavan valvontajakson aikana, mikäli sähköyhtiön verkkomaksuilla keräämä tuotto ylittää kohtuullisen tason. Valvontajaksojen pituus on neljä vuotta.

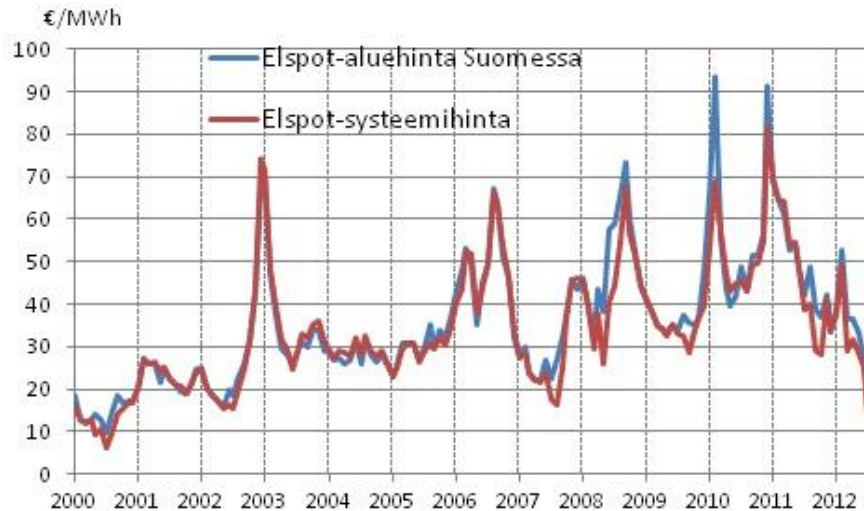
### **6.1 Pohjoismaiset sähkömarkkinat – Nord Pool**

Nord Pool on maailman ensimmäinen monikansallinen sähköpörssi. Se on perustettu 1.1.1993. Sen alkuperäinen tavoite on kilpailun vapauttaminen sähkömarkkinoilla ja näin ollen tehdä niistä tehokkaat kaikille markkinaosapuolille. Suomi liittyi Nord Pooliin vuonna 1998. Pääkonttorit sijaitsevat Osllossa, Tukholmassa, Helsingissä Kööpenhaminassa, Tallinnassa ja Lontoossa. Fyysinen sähköpörssi eli Nord Pool Spot AS:n osakkeiden omistajina ovat hajautetusti Statnett SF, Svenska Kraftnät, Fingrid Oyj sekä Elering ja Litgrid.

Elsport-markkinoilla käydään kauppaa tuntisopimuksista, jotka johtavat sähkön fyysiseen toimitukseen. Hinta määräytyy ”day-ahead”-huutokaupalla kysynnän ja tarjonnan tasapainopisteessä. Markkinoilla toimijat voivat ostaa tai myydä toimituksia Norjassa, Ruotsissa, Suomessa ja Saksassa. Toimitukset toteutuvat seuraavana päivänä 24 tunnin aikana. Tarjouksen voi jättää kolmella eri tavalla: ”hourly bid”<sup>3</sup>, ”block bid”<sup>4</sup> tai ”flexible hour bid”<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> Hourly bid = perustarjous, jossa jokainen osapuoli valitsee hintavaihtelun marginaalit. Hinta-alue voi sisältää enintään 62 astetta, joiden ala- ja yläraja on Nord Poolin määräämä. Kun Elspot-hinta on määrätty joka tunnille, niin osapuolien tarjouksista tehdään hintavertailu. Tulokseksi saadaan päivän volyyymi.



**KUVIO 5** Elspot-systeemi- ja -aluehintojen kuukausikeskiarvot. (Tilastokeskus, 2012)

Elbas-markkinat ovat niin sanotut jälkimarkkinat. Se mahdollistaa reaaliaikaisen kaupankäynnin jokaiselle vuoden päivälle. Tuote on yksittäinen tunti ja sopimus tehdään viimeistään tuntia ja aikaisintaan 36 tuntia ennen sähkön toimittamista. Osapuolet ovat tuottajia, tukkumyyjiä, teollisuuden toimijoita sekä meklareita.

Finanssimarkkinat jaetaan sopimustyyppin mukaan johdannaisiin, sähkösertifikaatteihin tai Euroopan Unionin sopimukseen hiilidioksidin päästöoikeuksista (European Union allowances). Finanssi-markkinoihin ei liity fyysistä toimitusta. Pisimmillään sopimus voi erääntyä kuudessa vuodessa.

Nord Poolissa voi tehdä kolmen tyyppisiä johdannaisia: peruskuormitus-futuureja (Base Load Futures)<sup>6</sup>, termiini<sup>7</sup>- ja differenssi-sopimuksia (Contracts for Difference)<sup>8</sup>. Kyseis-

<sup>4</sup> Block bid = ”kaikki tai ei mitään” – ehdon mahdollistava tarjous. Se tehdään kaikille tunneille tietyn hintavälän sisällä. Käytetään silloin, kun tuotannon tai kulutuksen aloitus- ja päätöskustannukset ovat korkeat. Toisin sanoen joustamattomat kulutukset ja tuotannot sopimuksineen saadaan hoidettua tehokkaasti.

<sup>5</sup> Flexible hour bid = Myynti-tarjous yksittäiselle tunnille, tietyllä hinnalla ja volyyymilla. Tuntia ei ole määritetty, mutta kauppa toteutuu tunnille, jonka hinta on korkein ja korkeampi kuin asetettu hinta. Tämä mahdollistaa sähkön myynnin takaisin pörssiin niille yrityksille, joilla sähkön tarve vaihtelee lyhyellä aikavälillä.

<sup>6</sup> Peruskuormitus-futuurit erotellaan päivä- ja viikkosopimuksiin. Futuurin hinta rakentuu sekä päivittäisen ”mark to market”-suorituksen, että lopullisen spot-hinnan mukaan eräpäivänä. (”mark to market” rekisteröi jokaisen päivän hinnan vaihtelun)

<sup>7</sup> Termiini-sopimus on mahdollista tehdä kuukauden (kalenterikuukausi), neljännesvuoden (kolme kalenterikuukautta) tai vuoden (1.1 – 31.12) eräpäivälle.

ten instrumenttien viite-hintana käytetään systeemihintaa (System Price, kuvio 5). Hyvin toimivat finanssimarkkinat (futuurimarkkinat) voivat jopa vähentää markkinavoimaa Spot-markkinoilla (Coq & Skytte, 1999). Näin ollen, futuurien vaihdon volyymin pienentäminen voi heikentää spot-markkinoiden toimintaa. Peliteoreettisesta näkökulmasta on esitetty, että kilpailulliseen hinnoitteluun sähkön spot-markkinoilla päästään vasta kun on yli 30 yhtä suurta tuottajaa (Rudkevich; Duckworth; & Rosen, 1998).

Nord Poolin alueella on käytössä myös eurooppalainen optio, jolloin osto tai myynti voi tapahtua vain eräpäivänä. Pörssi asettaa viisi ”strike price”<sup>9</sup> -arvoa ennen kuin se listataan kaupattavaksi. Kun optio on vaihdettu, niin seuraavana päivänä siitä maksetaan premio, eli vakuusmaksu.

Sähkösertifikaatti on Spot-sopimus, mutta siihen on integroitu muita edellä mainittuja instrumentteja. Fyysinen toimitus tapahtuu kolmen päivän kuluttua kaupantekopäivän jälkeen.

Tarpeeton epävarmuus Spot-hinnoissa johtaa mahdolliseen strategiseen hinnoitteluun, jonka seurauksena johdannaisopimusten epävarmuus kasvaa. Tämä taas heikentää kaupankäyntiä finanssimarkkinoilla, mikä laskee sähkömarkkinoilla toimijoiden mahdollisuutta suojata sopimuksiaan, mikä heikentää koko markkinoiden likviditeettiä.

## 6.2 Venäjän sähkömarkkinat

Venäjällä on ollut vuoteen 2008 asti sähköntuotannossa selkeä monopoli. Tuotantoa ja siirtoa valvova sekä kehittävä toimielin RAO UES (Unified Energy System of Russia) on aikaisemmin ollut perustamisestaan lähtien (1992) valtion omistama ja 1.7.2008 alkaen se on lakkautettu. Muutos on vaikuttanut muun muassa kotimaan tariffeihin, koska jatkossa maantieteellinen aluejako tulee olemaan erilainen.

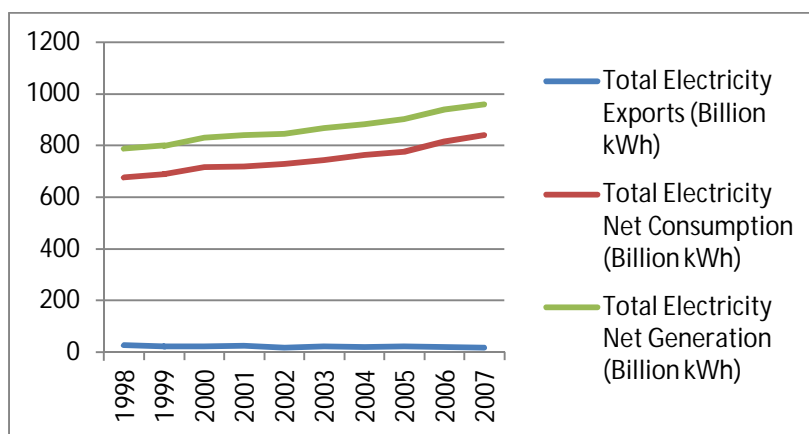
---

<sup>8</sup> CfD:llä suojaudutaan aluehintojen muutoksia vastaan, mikäli kantaverkko ruuhkautuu tietylle alueelle.

<sup>9</sup> ”Strike price” määräytyy termiinisopimusten päätöshintojen mukaan.

Keskeinen tavoite uudistuksella on ollut houkutelua uusien investointien sähkön tuotantoon ja jakeluun. Haasteet jatkoon kannalta liittyvät sähkömarkkinoiden valvontaan ja sääntelyyn, koska niiden merkitys korostuu valtion suoran roolin supistuessa. (Solanko, 2011)

Venäjä toimittaa vientiin sähköä, mutta kuten kuviosta 6 nähdään, sen osuus kokonais-tuotannosta on ollut vuonna 2007 noin kaksi prosenttia. Venäjällä tuotettu sähkö on yli 60-prosenttisesti tuotettu kaasulla, hiilellä ja öljyllä (pääsääntöisesti kaasulla ja vain pieni osa öljyllä) ja loput noin 1000 TWh:sta (vuonna 2009) ydinvoimalla sekä vesi-voimalla (lähes samoilla osuuksilla). (IEA, Electricity generation by fuel, Russian Federation, 2009)



**KUVIO 6** Venäjän kokonaisvienti, -kulutus ja -tuotanto vuosina 1998 - 2007. (IEA, International Energy Statistics, 2012)

## 7 Tuontisähkön kysynnän teoria

Klassinen teoria kansainväliselle kaupankäynnille keskittyy teknologisiin eroavaisuuksiin valtioiden välillä (Smith, 1776). Smith on käsitellyt kyseistä aihepiiriä teoksessaan: ”An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations (1776)”. Smith ei ollut kuitenkaan ensimmäinen vapaan kaupan puolestapuhuja, mutta hänen työnsä antoi tukea aikaisemmin esitettyihin argumentteihin. Teorian ongelma on se, että heikommin kehittyneet valtiot eivät pysty kilpailemaan kansainvälisillä markkinoilla, koska ne eivät pysty tuottamaan hyödykettä edullisemmin kuin muuttamalla pysyvästi työvoiman kustannuksia. Näitä ongelmia ovat analysoineet Robert Torrens, James Mill ja David Ri-

cardo. Merkittävin sovellus tältä ajanjaksolta kyseisestä aihepiiristä on klassinen ”Ricardon malli”. (Marrewijk, 2007)

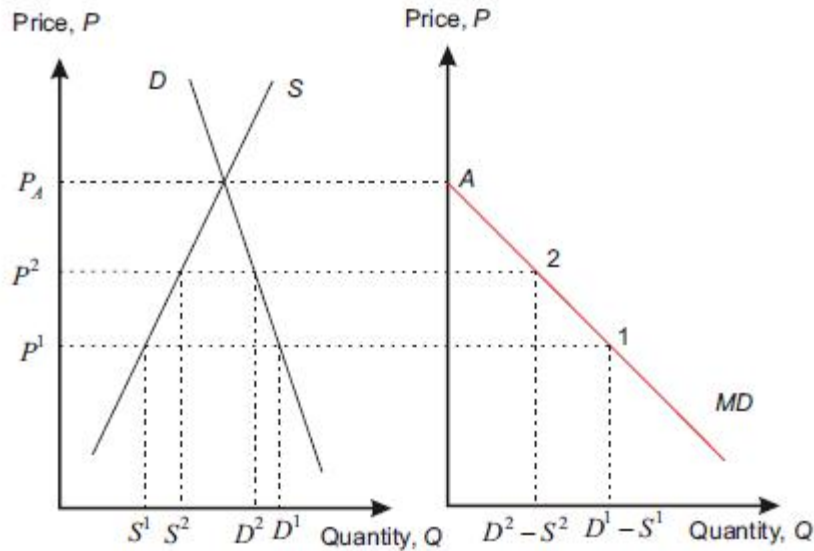
Suhteellisten etujen teoria (Ricardon malli) olettaa, että insentiivi kaupankäynnille syntyy teknologian eroissa, mutta empiria on osoittanut muuta. Toimialakohtaiset erot ovat myös ongelma teorian soveltamiseen käytännössä, koska kaikki alat eivät ole esimerkiksi panos-tuotossuhteessa työvoimapainotteisia, vaan kyseessä voi olla pääomaintensiivinen toimiala, kuten öljyntuotanto. Päästäksemme analysoimaan muuttuvien tekijöiden vallitessa olevaa vaihtoa, siirrytään kansainvälisen kaupan neoklassiseen teoriaan (Ohlin, 1933). Kaksi merkittävää teorian luoja ovat ruotsalaiset taloustieteilijät Eli Heckscher ja hänen oppilaansa Bertil Ohlin. Heckscher-Ohlinin esityksen tuloksena on se, että tuotteen vienti käyttää hyödykseen suhteellista runsautta tuotannossa. (Marrewijk, 2007)

Neoklassista vaihtoteoriaa hyödynsivät (Ohlinin aikaan) muun muassa seuraavat henkilöt:

- Samuelsonin mukaan kansainvälinen vapaakauppa lopputuotteilla johtaa voittojen tasajakoon kahden valtion tuottajien kesken (factor price equalization) (Samuelson, 1948). Stolperin ja Samuelsonin esityksen perusteella lopputuotteen hinnan nousu kannustaa tehokkaampaan tuotannontekijöiden käyttöön (Stolper & Samuelson, 1941).
- Rybczynskin oletus liittyy tarjonnan kasvattamiseen, jonka seurauksena lopputuotteen tuotantomäärä kasvaa (Rybczynski, 1955).

Kotimaan tarjonta ja kysyntä riippuvat yleisesti kotimaan valuuttakurssista. Ulkomaan tarjonta sekä kysyntä puolestaan korreloivat ulkomaisen valuuttakurssin kanssa (Krugman & Obstfeld, 2009). Kotimaan tuontikysyntä kasvaa, mikäli tuodun hyödykkeen hinta on alhaisempi, kunnes kotimaan hinnan ja ulkomaisen hinnan erotus on eliminoitu.

Talusteorioiden perusteella oletus olisi, että energian hinnan nousu vaikuttaa kysyntään negatiivisesti. Empiria kuitenkin on osoittanut, että kysynnän hintajousto on lähes nolla, erityisesti lyhyellä aikavälillä (Dahl & Sterner, 1991). (Zhao & Wu, 2007)



**KUVIO 7** Kotimaan tuontikysyntä. (Krugman & Obstfeld, 2009)

Kuviosta 7 nähdään miten kotimaan tuontikysyntä johdetaan. Kotimaan tuontikysyntä on ylijäämää, jota kotimaan tuottajat eivät pysty tarjoamaan kotimaan kysynnälle. Hinnalla  $P^1$  kotimaan kuluttajan kysyntä on  $D^1$ . Kotimaisen tarjonnan ollessa  $S^1$ , kotimaan tuontikysyntä on tällöin  $D^1 - S^1$ . Vastaavasti, jos hinta on  $P^2$ , kotimainen kysyntä on tällöin  $D^2$ . Tämä tarkoittaa tuontikysynnän laskua pisteeseen  $D^2 - S^2$ . Tuontikysynnän käyrä MD on laskeva, koska hinnan noustessa kysytyn tuonnin määrä vähenee. Mikäli vaihtoa ei ole, kotimaan tarjonta ja kysyntä ovat yhtä suuret. Toisin sanoen tuonnin kysyntä on 0 pisteessä  $P_A$ . (Krugman & Obstfeld, 2009)

Tuontikysynnän-malli (Murray & Ginman, 1976) on aivan kuin mikä tahansa kysyntämalli. Hinta ja kysynnän määrä oletetaan käänteisesti riippuvaisiksi, ceteris paribus tasapainohinta ja -määrä määritetään kysynnän ja tarjonnan leikkauspisteessä. Mallin estimoinnissa on identifiointi ongelmien takia järkevää asettaa tarjonnan jousto äärettömäksi. Hinta ei tällöin muutu vaikka kysynnän muutos aiheuttaa tuotannon pienentymistä. Tällainen hintajäykkyys tilanne on mahdollista, jos ei-kilpailluilla markkinoilla toimija pelkää uusien laitosten syntymistä hinnan nousun vuoksi tai kyseessä on saalis-tushinnoittelu. Tuloksena on se, että tuotannon tarjontakäyrä tulee olemaan horisontaalisesti pystysuora kapasiteettiin asti. Tämä äärettömän jouston tarjonnassa supistaa mallin tilastollisesti yhteen yhtälöön.

$$Q = \beta_0 y^{\beta_1} P^{\beta_2} e^{\mu} \quad (1)$$

Yhtälössä (1)  $Q$  on tuonnin määrä,  $y$  on todellinen BKT,  $P$  on hintaindeksi,  $e$  on luonnollinen logaritmi,  $\beta_0$  on vakio leikkauspiste,  $\beta_1$  ja  $\beta_2$  ovat tulo- ja hintajousto kertoimia ja  $\mu$  on stokastinen häiriötermi oletuksena, että se on riippumaton ja normaalisesti ja-kautunut nolla-keskiarvolla ja vakio-varianssilla. Malli on linearisoitu logaritmoimalla yhtälö.

$$\ln(Q) = \beta_0 + \beta_1 \ln(y) + \beta_2 \ln(P) + \mu \quad (2)$$

Perinteisen kysyntäyhtälön oletuksena on tuonnin määrän kysynnän riippuvuus tuonti-hyödykkeen hinnasta kotimaisen kurssin mukaan sekä kotimaassa tuotetun substituu-tin hinnasta. Kirjoitetaan yhtälö (2) uudelleen.

$$\begin{aligned} \ln(Q) &= \beta_0 + \beta_1 \ln(y) + \beta_2 \ln(P_m/P_d) + \mu \\ &= \beta_0 + \beta_1 \ln(y) + \beta_2 \ln(P_m) - \beta_2 \ln(P_d) + \mu \end{aligned} \quad (3)$$

eli  $P = P_m/P_d$ , jossa  $P_m$  on tuontihintaindeksi ja  $P_d$  on kotimaisesti tuotetun substituu-tin hintaindeksi. Mikäli halutaan estimoida tarkemmin tuontia ja sen kanssa kilpailevia hintoja erikseen, käytetään seuraavanlaista yhtälöä:

$$\ln(Q) = \beta_0 + \beta_1 \ln(y) + \beta_2 \ln(P_m) + \beta_3 \ln(P_d) + \mu. \quad (4)$$

Yhtälössä  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ja  $\beta_3$  ovat tulojousto<sup>10</sup>, tuonnin hintajousto<sup>11</sup> ja kotimainen hintajousto tuonnin kysynnälle.

---

<sup>10</sup> Normaalihyödykkeen kysyntä nousee tulojen noustessa eli sen kysynnän tulojousto on positiivinen. Inferiorisen hyödykkeen kysyntä laskee, kun tulot kasvavat eli sen kysynnän tulojousto on negatiivinen. Välttämättömyshyödyke on sellainen, jonka osuus kulutuksesta laskee tulojen noustessa eli sen kysyn-nän tulojousto on pienempi kuin 1. Ylellisyshyödykkeen tapauksessa kulutuksen osuus nousee tulojen noustessa eli sen kysynnän hintajousto on suurempi kuin 1.

<sup>11</sup> Kysynnän hintajoustolla mitataan tuotteen kysynnän joustoa eli suhteellista muutosta sen suhteellisen hinnan muuttuessa. Hintajousto lasketaan kaavalla:  $E_d = \frac{\text{Suhteellinen muutos hyödykkeen } X \text{ kysynnässä}}{\text{Suhteellinen muutos hyödykkeen } X \text{ hinnassa}}$

Jouston itseisarvot:

$E = 0$ , täydellinen joustamattomuus (kysyntä -ja tarjontateoria ei toimi).

$E < 1$ , joustamaton. Hinnan muutos on suhteessa suurempi kuin kysynnän muutos.

$E = 1$ , yksikköjoustava. Yhden prosentin muutos hinnassa muuttaa kysyntää saman verran.

$E > 1$ , joustava. Hinnan muutos on suhteessa pienempi kuin kysynnän muutos.

$E = \infty$ , täydellinen elastisuus. Mikä tahansa pieni muutos hinnassa aiheuttaa kysynnän laskun nolnaan.



Mikäli perinteinen tuontikysyntämalli on oikein määritelty, niin yhtälön (4) ratkaisu olisi tällöin

$$\beta_3 = -\beta_2 \text{ tai } \beta_2 + \beta_3 = 0. \quad (5)$$

Tuonnin on osoitettu korreloivan muutoksia tuloissa, ulkomaisissa hinnoissa, kotimaisissa hinnoissa ja lisäksi joko eksplisiittisesti tai implisiittisesti vaihtokurssista. Jos hintajoustot eivät muutu ajan yli, mutta tulojousto kasvaa, niin viimeksi mainitusta joustosta tulee merkittävämpi. Tämä taas tarkoittaa sitä, että suhteellinen merkitys hinnan ja tulojouston välillä muuttuu yli ajan. Matalampi BKT henkeä kohti voi tarkoittaa sitä, että hinnat ovat tärkeämpiä kuin tulot. (Lo;Sawyer;& Sprinkle, 2006)

## 8 Tuontiteorian testaus aineistoon

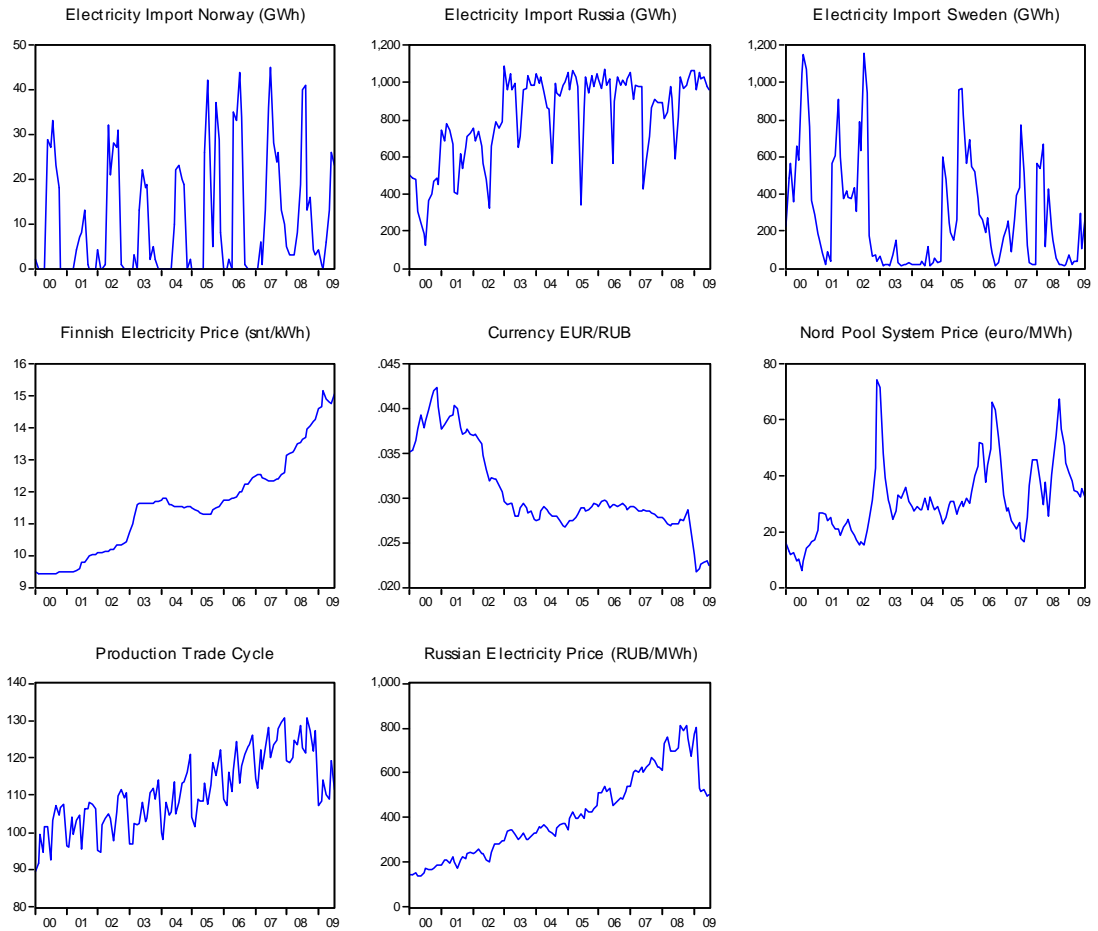
### 8.1 Aineiston analysointi

Otoskoko on kuukausidatana (tammikuu 2000–heinäkuu 2009) 115 havaintoa. Regressiomallin käsittely suoritetaan stationaarisella (katso liite 1a) aineistolla.

Venäjän tuontisähkön hinnan tilalla käytetään poikkeuksellisesti Venäjän omilla markkinoilla myydyn sähkön hintaa, koska käytännössä Venäjältä tuotu sähkö on vielä toistaiseksi ollut bilateraalista kaupankäyntiä. OTC-kaupan toteutuneiden hintojen saanti on mahdotonta, koska ne ovat luottamuksellisia. Oletuksena on, että hinnan muutos on sama Venäjän omien markkinoiden sekä Suomeen myytävän sähkön osalta.

Suomen BKT korvataan kuukausittaisella tuotannon suhdannekuvaajalla, koska molemmat indikoivat samaa tarkoitusta. Aikasarjan päätoimialat ovat alkutuotanto, jalostus ja palvelut.

Aineiston testauksessa selvitetään aluksi stationaarisuutta graafeilla, autokorrelaation testauksella (korrelogramma) sekä yksikköjuuritestein (katso liite 4). Testaus on suoritettu ennen usean muuttujan regressiomallin rakentamista, koska sillä halutaan selvittää alkuperäisen aineiston käytettävyys sellaisenaan (ilman differensointia), koska aineistosta menetetään aina osa informaatiota, kun sitä muokataan tilastollisesti sopivammaksi. Apuvälineenä käytössä on EViews (Windows-pohjainen ohjelmisto), joka on tarkoitettu erityisesti ekonometriseen analyysiin. Ohjelma tukee Excel ohjelmistojen tiedostomuotoja.



**KUVIO 8** Graafit aikasarjoille.

Graafin (kuvio 8) ja adf-testin perusteella Norjan, Venäjän ja Ruotsin tuonnin osalta aineisto vaikuttaa (taulukko 1) stationariselta. Korrelogramman (katso liite 2) tulkintana Norjan tuonti vaikuttaa AR(2)-prosessilta (katso liite 1a), kun taas Venäjän ja Ruotsin tuontisähkön aineisto AR(1)-prosessilta. Erityisesti Norjan ja Venäjän osalta on nähtävissä kausikomponenttien (katso liite 1b) tarve tulevassa mallinnuksessa.

Korrelogramman perusteella Elspot-systeemi hinta (Nord Pool) käyttäytyy kuten stationaarinen AR(2)-prosessi ja sama yksikköjuuritesti puoltaa myös stationarisuutta, mutta graafi (kuvio 8) antaa mahdollisuuden olettaa, että aikasarja on satunnaiskulkua (random walk) ilman vakiota (drift) (katso liite 1a). Suomessa myydyin sähkön hinta ja vaihtokurssi ovat kaikilla kriteereillä epästationaarisia ja graafin (kuvio 8) perusteella vakio-termin sisältävää satunnaiskulkua. Tuotannon suhdannekuvaaja sekä Venäjällä myydyin sähkön hinta täyttää trendistationarisuuden kriteerit, eli ovat ei-stationaarisia aikasarjoja.

Erityisesti Norjan graafia (kuvio 8) tarkastelemalla voidaan sanoa, että tuonti on kausit- taista, koska tuontia tapahtuu ainoastaan toukokuun ja syyskuun välisenä aikana. To- dennäköisesti estimoinnissa tehdään mallinnus kausikomponenttien avulla ja siksi tuon- titeorian ”todelliset” selittäjät eivät ole merkitseviä. Venäjän tuonnin aikasarjassa on myös mukana kausikomponenttia (talvi). Ruotsin aineisto on painottunut kesäkaudelle. Mahdollisesti Norjan ja Ruotsin tuontisähkö on kesällä suhteellisesti edullisempaa, kos- ka molemmat maat käyttävät runsaasti vesivoimaa ja tällöin padot useasti täyttyvät. Ve- näjä puolestaan käyttää runsaasti ydinvoimaa vientisähkönsä tarjontaan ja näin ollen toimii varmemmin lisäkapasiteettina Suomen sähkön kulutukselle, mutta hinta on myös todennäköinen syy.

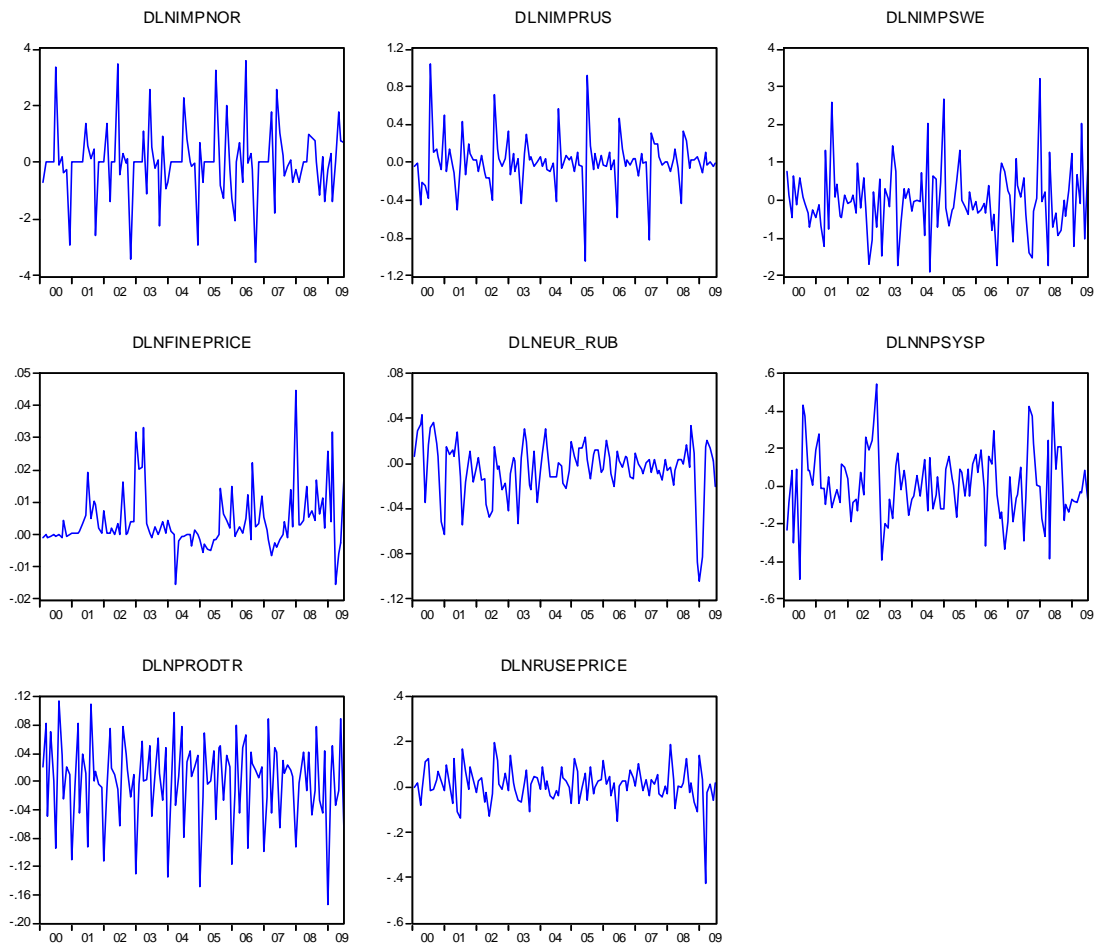
**TAULUKKO 1** Augmented Dickey-Fuller tulokset aikasarjoille. Vakio (drift) ja trendi määräy- tyvät sen mukaan, ovatko merkitseviä.

Augmented Dickey-Fuller testin tuloksia:	t-arvo	p-arvo	kriittinen- arvo	tulos
Venäjän tuontisähkön määrä (vakio ei trendiä)	-5,10	0,000	-2,86	stat.
Ruotsin tuontisähkön määrä (vakio ei trendiä)	-3,90	0,003	-2,86	stat.
Norjan tuontisähkön määrä (vakio ja trendi)	-5,62	0,000	-3,41	stat.
Suomen sähkön hinta (ei vakiota eikä trendiä)	2,68	0,998	-1,95	ei-stat.
Valuuttakurssi EUR/RUB (ei vakiota eikä tren- diä)	-1,58	0,107	-1,95	ei-stat.
Elspot-systeemihinta (vakio ja tren- di)	-4,39	0,003	-3,41	stat.
Tuotannon suhdannekuvaaja (ei vakiota eikä trendiä)	0,97	0,911	-1,95	ei-stat.
Venäjän sähkön markkinahinta (vakio ei tren- diä)	-2,75	0,221	-2,86	ei-stat.

**TAULUKKO 2** Augmented Dickey-Fuller tulokset logaritmoiduille ja differensoiduille ai- kasarjoille.

Augmented Dickey-Fuller testin tuloksia:	t-arvo	p-arvo	kriittinen-arvo	tulos
Venäjä tuontisähkön määrä	-3,11	0,002	-2,86	stat.
Ruotsin tuontisähkön määrä	-12,49	0,000	-2,86	stat.
Norjan tuontisähkön määrä	-11,33	0,000	-3,41	stat.
Suomen sähkön hinta	-3,98	0,000	-1,95	stat.
Valuuttakurssi EUR/RUB	-7,52	0,000	-1,95	stat.
Elspot-systeemihinta	-9,12	0,000	-3,41	stat.
Tuotannon suhdannekuvaaja	-1,77	0,074	-1,95	stat.
Venäjän sähkön markkinahinta	-9,70	0,000	-2,86	stat.

Luvun 8 alussa todetaan, että useat näistä sarjoista ovat ei-stationaarisia, jonka seurauksena on suoritettava logaritointi ja differensointi (taulukko 2). Tuloksiksi saadaan seuraavanlaisia kuvaajia, joissa DLNIMNOR=Norjan tuontisähkö, DLNIMPRUS=Venäjän tuontisähkö, DLNIMPSWE=Ruotsin tuontisähkö, DLNFINEPRICE=Suomessa myydyin sähkön hinta, DLNEUR\_RUB=valuuttakurssi EUR/RUB, DLNNSYSP=Elspot-systeemihinta (Nord Pool), DLNPRODTR=tuotannon suhdannekuvaaja Suomessa ja DLNRUSEPRICE=Venäjällä myydyin sähkön hinta:



**KUVIO 9** Logaritmoidut ja differensoidut aikasarjat.

ADF-testin perusteella Suomen tuotannon suhdannekuvaajan sarjalla on vielä yksikköjuuri ja näin ollen olisi I(2)-sarja, mutta oletetaan kuitenkin graafin perusteella, että kyseessä on I(1). Kuvion 9 sekä ADF-testien perusteella voidaan täten tehdä usean selittäjän regressiomalli (katso liite 4) stationaarisella aineistolla.

## 8.2 Usean muuttujan regressiomalli (staattinen analyysi)

Zhao ja Wu (2007) ovat päätyneet tuloksissaan siihen, että energian kysynnän selittäminen yhden yhtälön avulla voi tuottaa harhaisia ja epäluotettavia tuloksia. Syynä on se, että yleisesti useimmat taloudelliset muuttujat tuontikysynnän yhtälössä ovat todennäköisesti endogeenisiä (tuotanto, hinta, ja teollisuuden arvonnalisä). Näin ollen teemme myös VAR-mallille analysoinnin.

Tässä opinnäytetyössä käytetään samaa tuontikysynnän mallia, kuin kappaleessa 7 (Murray ja Ginman, 1976). Mallin selitettävänä muuttujana on sähkön tuonti  $Q^{R,N,S}$  (GWh), Venäjälle, Norjalle ja Ruotsille oma mallinsa. Selittävinä muuttujina ovat tuotannon suhdannekuvaaja  $B$  (indeksit 2000=100), kotimaassa myydyin sähkön hinta  $P^D$  (snt/kWh) (tyyppikäyttäjä K1, sähkön käyttö 2000kWh/vuosi), Venäjällä myyty sähkön hinta  $P^R$  (RUB/MWh), ruplan valuuttakurssi  $C$  (EUR/RUB), sekä Elspot-systeemihinta  $P^N$  (EUR/MWh). Kaikki muuttujat ovat logaritmoitu ja differensoitu.

### 8.2.1 Venäjä (MRM)

Rakennetaan usean selittäjän regressiomalli Venäjän tuontisähkölle ( $i = 1, 2, \dots, 114$ ) (Taulukko 3):

$$Q_i^R = \beta_1 + \beta_2 D_{1i} + \beta_3 D_{6i} + \beta_4 D_{7i} + \beta_5 D_{8i} + \beta_6 B_i + \beta_7 P_i^D + \beta_8 P_i^N + \beta_9 C_i + \beta_{10} P_i^R + \varepsilon_i. \quad (6)$$

Matriisimuodossa ( $114 \times 10$ ):

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}. \quad (7)$$

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} Q_1^R \\ Q_2^R \\ \vdots \\ Q_{114}^R \end{pmatrix}, \boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_{10} \end{pmatrix}, \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_{114} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & D_{11} & D_{61} & D_{71} & D_{81} & B_1 & P_1^D & P_1^N & C_1 & P_1^R \\ 1 & D_{12} & D_{62} & D_{72} & D_{82} & B_2 & P_2^D & P_2^N & C_2 & P_2^R \\ 1 & D_{13} & D_{63} & D_{73} & D_{83} & B_3 & P_3^D & P_3^N & C_3 & P_3^R \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & D_{1114} & D_{6114} & D_{7114} & D_{8114} & B_{114} & P_{114}^D & P_{114}^N & C_{114} & P_{114}^R \end{pmatrix}.$$

**TAULUKKO 3** Usean selittäjän regressiomallin tulokset Venäjän tuontisähkölle (ilman kausimuuttujia).

Dependent variable: DLNIMPRUS

Observations: 114

	Coefficient	Prob.		
C	-0,020	0,469	R <sup>2</sup>	0,10
DLNPRODTR	0,032	0,942	adj. R <sup>2</sup>	0,06
DLNRUSEPRICE	0,405	0,201	F-statistic	2,40
DLNNPSYSP	0,402	0,003	AIC	0,19
DLNFINEPRICE	4,127	0,149	SC	0,33
DLNEUR_RUB	-0,496	0,627	D-W stat.	2,63

Mikäli estimoinnista jätetään pois kuukausittaiset ”dummy” -muuttujat, niin ainoastaan Elspot-systeemihinnat (DLNNPSYSP) ovat merkitseviä ja selitysaste<sup>12</sup> ( $R^2$ ) on vain 0,10; kun samanaikaisesti F-testiarvo<sup>13</sup> on merkittävästi pienempi. Informaatiokriteerit (Akaike ja Schwarz) (katso liite 3) ovat suuremmat taulukossa 4 ja näin ollen luotettavampi mallintamaan Venäjän tuontisähkön osuutta (DLNIMPRUS).

**TAULUKKO 4** Usean selittäjän regressiomallin tulokset Venäjän tuontisähkölle.

Dependent variable: DLNIMPRUS

Observations: 114

	Coefficient	Prob.		
C	-0,028	0,239	R <sup>2</sup>	0,55
S1	0,296	0,005	adj. R <sup>2</sup>	0,51
S6	-0,504	0,000	F-statistic	14,23
S7	0,240	0,003	AIC	-0,44
S8	0,338	0,000	SC	-0,20
DLNPRODTR	1,444	0,007	D-W stat.	2,94
DLNRUSEPRICE	-0,261	0,277		
DLNNPSYSP	0,354	0,001		
DLNFINEPRICE	0,567	0,792		
DLNEUR_RUB	-0,735	0,322		

<sup>12</sup>Selittää kuinka paljon malli selittää kokonaisvaihtelusta.

<sup>13</sup>Nollahypoteesin ( $H_0$ ) testaus, jossa kaikki mallin selittävien muuttujien parametrit ovat samanaikaisesti nollia (5 %:n merkitsevyystasolla vapausastein (n-k) ja (k-1), jossa n=114 ja k=10, kriittinen raja-arvo on 1,97). Mikäli arvo on > 1,97, niin nollahypoteesi voidaan hylätä.

Kausimuuttujina tammi-, kesä-, heinä- ja elokuu ovat merkitseviä. Mallin selitysaste on 0,55 eli mallin muuttujilla voidaan selittää Venäjän tuontia 55 prosenttisesti (kohtuullinen). F-testin arvo (14,2) on myös riittävä.

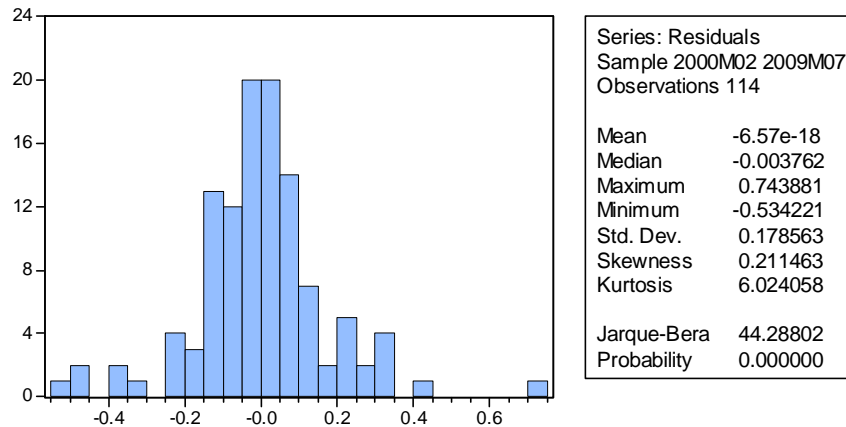
Durbin-Watson testi (D-W) testaa 1. kertaluvun autokorrelaatiota ja D-W arvon lähestyessä 4:ää, on kyseessä negatiivinen autokorrelaatio. D-W taulukosta saatujen kriittisten arvojen perustella ( $dU(4-1,608=2,392)$  ja  $dL(4-1,862=2,138)$ ) tässä D-W arvo 2,94 eli suurempi kuin 2,392) voidaan sanoa, että virhetermit ovat negatiivisesti autokorreloituja (positiivista arvoa seuraa negatiivinen arvo ja päinvastoin). Tämän seurauksena OLS-estimaatit eivät ole enää tehokkaita ja voidaan saada harhaanjohtavia tuloksia. Autokorrelaatio on hyvin yleistä tutkittaessa taloudellisia aikasarjoja, jossa muutokset ovat alttiita suhdannevaihteluille ja täten sidoksissa aikaisempiin tasoihin ja muutoksiin.

Tuonnin 0,35 prosentin lisäykseen Venäjältä tarvitaan Nord Poolin hintojen yhden prosentin kasvu. Kyseessä on varsin joustamaton kysynnän hintajousto eli hinnan muutos on siis suhteessa suurempi, kuin kysynnän muutos. Nord Poolin alueelta ostettu tuontisähkö on substituuttina Venäjän markkinoilta tuodulle sähkölle. Suomen energian hintojen, valuuttakurssin ja Venäjän hintojen muutoksiin on hankala antaa luotettavaa vastausta, koska ne eivät ole mallin perusteella tilastollisesti merkitseviä (p-arvot<sup>14</sup>).

Tulosten perusteella sähkön tuonti Venäjältä kasvaa 1,44 prosenttia, kun Suomen tuotanto edelliseltä periodilta kasvaa yhden prosentin. Kysynnän tulojousto on tästä syystä positiivinen. Oletettavasti tuotannon kasvu nostaa sähkön kulutusta ja mahdolliset kapasiteettirajoitteet sekä edullinen ostohinta Venäjällä tuotetulle sähkölle lisäävät tuonnin kysyntää.

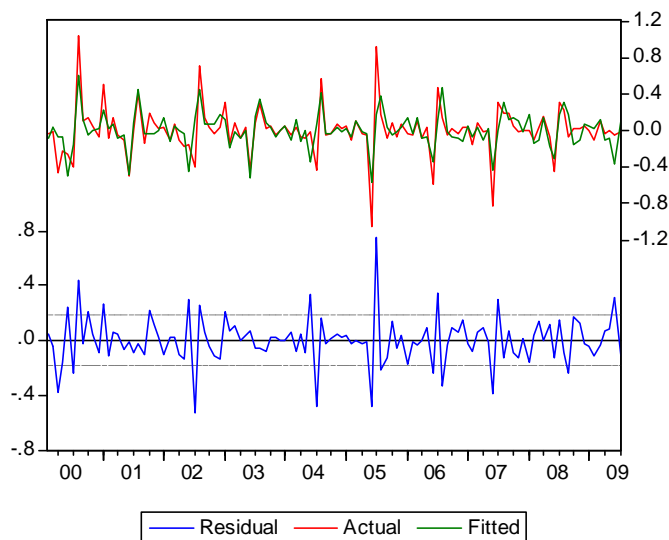
---

<sup>14</sup> Todennäköisyyttä riskille, että hylätään  $H_0$  vaikka se on tosi. Hylkäämisvirheen yläraja (merkitsevyystaso) tässä on 0,05.



**KUVIO 10** Venäjän tuontisähkön mallin virhetermien normaalisuuden testaus (histogrammi).

Tässä testattu normaalisuus<sup>15</sup> antaa tulokseksi, että virhetermeillä ilmenee erityisesti huipukkuutta (6,02). Jarque-Bera testin (44,3) perusteella residuaalit eivät ole normaalisti jakautuneita (5 %:n merkitsevyystasolla  $\chi^2(2)$  kriittinen arvo on 5,991). Huipukkuus testauksessa ei ole niin suuri ongelma kuin vinous, koska useimmat testit eivät ole vinon jakauman tapauksessa enää luotettavia.



**KUVIO 11** Graafi sovitetuille ja todellisille residuaaleille (Venäjä).

<sup>15</sup> Residuaalien normaalisuuden testauksessa, jossa vinous (skewness) kuvaa jakauman symmetrisyyttä ja huipukkuus (kurtosis) kertoo jakauman maksimikohdan leveydestä. Huipukkuus ilmaisee puolestaan miten lähellä keskiarvoa useimmat havainnot ovat. Normaali-jakauman perusteella symmetrisyyden ehtoina on vinous=0 ja huipukkuus=3.



Sovite (kuvio 11, vihreä väri) mukailee hyvin todellisia (kuvio 11, punainen väri) residuaaleja. Breusch-Pagan sekä Whiten testauksessa molempien  $\chi^2(18)$ -arvo on sama (28,87) merkitsevyystasolla 0,05. Tulokseksi saadaan, että residuaalit ovat heteroskedastisia (taulukko 5). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että mallin ennustuskyvyn ei oleteta säilyvän yhtä hyvänä kaikille otoksen arvoille.

**TAULUKKO 5** Whiten ja Breusch-Pagan-Godfrey testi heteroskedastisuudelle Venäjän tuontisähkön tapauksessa.

	White	B-P-G
F-statistic	4,83	6,10
Prob.	0,00	0,00

**TAULUKKO 6** Usean selittäjän regressiomallin tulokset Venäjän tuontisähkölle (homoskedastinen malli).

Dependent variable: DLNIMPRUS (Homoskedastic)

Observations: 114

	Coefficient	Prob.		
C	-0,028	0,084	R <sup>2</sup>	0,55
S1	0,296	0,002	adj. R <sup>2</sup>	0,51
S6	-0,504	0,000	F-statistic	14,23
S7	0,240	0,084	AIC	-0,44
S8	0,338	0,000	SC	-0,20
DLNPRODTR	1,444	0,003	D-W stat.	2,94
DLNRUSEPRICE	-0,261	0,217		
DLNNPSYSP	0,354	0,000		
DLNFINEPRICE	0,567	0,761		
DLNEUR_RUB	-0,735	0,302		

Venäjän tuontisähkön malliin on tehtävä korjaus taulukon 5 perusteella, jotta parametrien arvoista saadaan konsistentteja. Heinäkuun kausimuuttuja ei ole enää merkitsevä, mutta sen poistaminen mallista saa aikaan toisille muuttujille ongelmia merkitsevyyden suhteen ja lopulta heikentää mallin selitysastetta sekä muita tuloksia. Malli (taulukko 6) on nyt kuitenkin homoskedastinen ja tulkinnat säilyvät samoina taulukon 4 kanssa.

### 8.2.2 Ruotsi (MRM)

Usean selittäjän regressiomalli Ruotsin tuontisähkölle ( $i = 1, 2, \dots, 114$ ) (Taulukko 6.) on seuraavanlainen:

$$Q_i^S = \beta_1 + \beta_2 D_{4i} + \beta_3 D_{5i} + \beta_4 B_i + \beta_5 P_i^D + \beta_6 P_i^N + \beta_7 C_i + \beta_8 P_i^R + \varepsilon_i. \quad (9)$$

Matriisimuodossa ( $114 \times 8$ ):

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}. \quad (10)$$

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} Q_1^S \\ Q_2^S \\ \vdots \\ Q_{114}^S \end{pmatrix}, \boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_8 \end{pmatrix}, \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_{114} \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & D_{41} & D_{51} & B_1 & P_1^D & P_1^N & C_1 & P_1^R \\ 1 & D_{42} & D_{52} & B_2 & P_2^D & P_2^N & C_2 & P_2^R \\ 1 & D_{43} & D_{53} & B_3 & P_3^D & P_3^N & C_3 & P_3^R \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & D_{4114} & D_{5114} & B_{114} & P_{114}^D & P_{114}^N & C_{114} & P_{114}^R \end{pmatrix}.$$

**TAULUKKO 7** Usean selittäjän regressiomallin tulokset Ruotsin tuontisähkölle (ilman kausimuuttujia).

Dependent variable: DLNIMPSWE

Observations: 114

	Coefficient	Prob.		
C	0,018	0,830	R <sup>2</sup>	0,26
DLNPRODTR	-4,395	0,001	adj. R <sup>2</sup>	0,23
DLNRUSEPRICE	-1,299	0,176	F-statistic	7,78
DLNNPSYSP	-1,757	0,000	AIC	2,40
DLNFINEPRICE	5,535	0,521	SC	2,55
DLNEUR_RUB	1,481	0,633	D-W stat	2,37

Valitaan taulukon 8 malli, koska selitysaste (0,32), F-testiarvo (7,27), AIC (2,35) ja SC (2,55) ovat parempia kuin taulukossa 7. Lisäksi kausimuuttujat ovat tilastollisesti merkitseviä. Näin ollen huhtikuun ja toukokuun dummyt ovat myös selittävinä muuttujina.

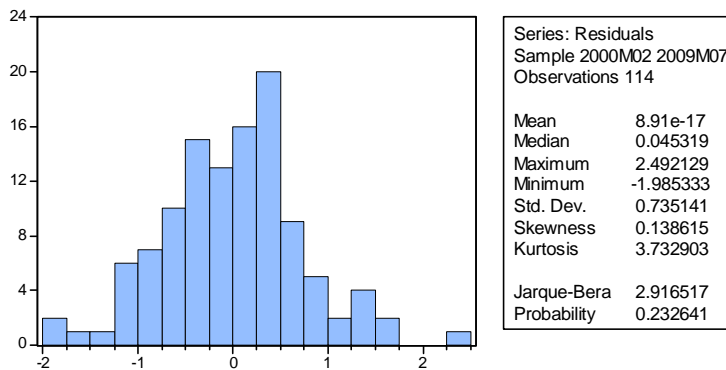
Ruotsin tuonnin osalta kausikomponenttien merkitys ei ole yhtä suuri kuin Venäjän tuonnissa.

**TAULUKKO 8** Usean selittäjän regressiomallin tulokset Ruotsin tuontisähkölle.

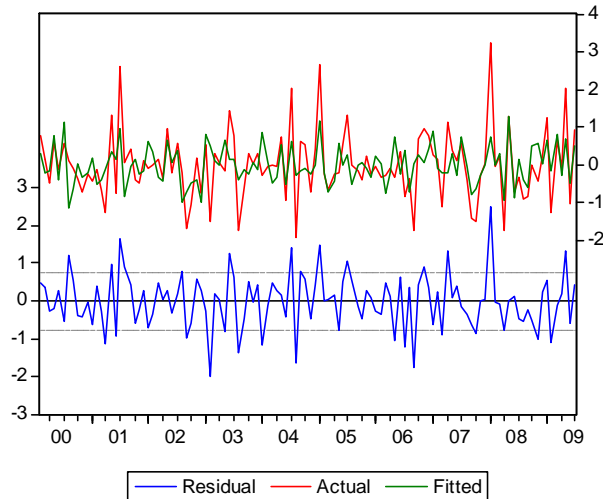
Dependent variable: DLNIMPSWE

Observations: 114

	Coefficient	Prob.		
C	0,031	0,744	R <sup>2</sup>	0,32
S4	-0,545	0,045	adj. R <sup>2</sup>	0,28
S5	0,538	0,046	F-statistic	7,27
DLNPRODTR	-5,170	0,000	AIC	2,35
DLNRUSEPRICE	-1,694	0,078	SC	2,55
DLNNPSYSP	-1,558	0,000	D-W stat	2,33
DLNFINEPRICE	4,518	0,600		
DLNEUR_RUB	2,342	0,438		



**KUVIO 12** Ruotsin tuontisähkön mallin virhetermien normalisuuden testaus (histogrammi).



**KUVIO 13** Graafi sovitetuille ja todellisille residuaaleille (Ruotsi).

Hintojen nousu yhdellä prosentilla Nord Poolin alueella vähentää tuontia 1,55 prosenttia. Hintajousto on suurempi kuin 1 (joustava), eli hinnan muutos on suhteessa pienempi, kuin kysynnän muutos. Mallin selityssaste on heikompi kuin Venäjän tilanteessa (0,32). F-testin arvo (7,27) on merkitsevä. Taulukosta 8 nähdään myös, että sähkön tuonti Ruotsista vähenee 5,17 prosenttia, kun Suomen tuotanto kasvaa yhden prosentin. Kysynnän tulojousto on siis negatiivinen.

Mallille tehtiin sama korjaus, kuten Venäjän sarjalle. Tulkinnat ovat samoja, kuin taulukossa 10. Sovitettujen residuaalien graafi huomioi vaihtelun, mutta mallista puuttuu selittäviä muuttujia. Häiriötermit vaikuttavat normaalisti jakautuneilta J-B testin perusteella ja ovat lähellä myös normaalijakauman ehtoja. Whiten ja Breusch-Pagan testin perusteella residuaalit ovat homoskedastisia ( $\chi^2(14) = 23,68$ ), mutta p-arvot hylkäävät testin nollahypoteesin, eli tulokseksi saadaan heteroskedastiset residuaalit.

**TAULUKKO 9** Whiten ja Breusch-Pagan-Godfrey testi heteroskedastisuudelle Ruotsin tuontisähkön tapauksessa.

	White	B-P-G
F-statistic	4,04	2,67
Prob.	0,00	0,01

**TAULUKKO 10** Usean selittäjän regressiomallin tulokset Ruotsin tuontisähkölle (homoskedastinen malli).

Dependent variable: DLNIMPSWE (Homoskedastic)

Observations: 114

	Coefficient	Prob.		
C	0,031	0,751	R <sup>2</sup>	0,32
S4	-0,545	0,029	adj. R <sup>2</sup>	0,28
S5	0,538	0,045	F-statistic	7,27
DLNPRODTR	-5,170	0,001	AIC	2,35
DLNRUSEPRICE	-1,694	0,085	SC	2,55
DLNNPSYSP	-1,558	0,000	D-W stat	2,33
DLNFINEPRICE	4,518	0,753		
DLNEUR_RUB	2,342	0,407		

### 8.2.3 Norja (MRM)

Usean selittäjän regressiomalli Norjan tuontisähkölle ( $i = 1, 2, \dots, 114$ ) (Taulukko 10.) muodostetaan seuraavasti:

$$Q_i^N = \beta_1 + \beta_2 D_{6i} + \beta_3 D_{7i} + \beta_4 D_{10i} + \beta_5 B_i + \beta_6 P_i^D + \beta_7 P_i^N + \beta_8 C_i + \beta_9 P_i^R + \varepsilon_i. \quad (12)$$

Matriisimuodossa ( $114 \times 9$ ):

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}. \quad (13)$$

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} Q_1^N \\ Q_2^N \\ \vdots \\ Q_{114}^N \end{pmatrix}, \boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_9 \end{pmatrix}, \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_{114} \end{pmatrix}, \quad (14)$$

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & D_{61} & D_{71} & D_{101} & B_1 & P_1^D & P_1^N & C_1 & P_1^R \\ 1 & D_{62} & D_{72} & D_{102} & B_2 & P_2^D & P_2^N & C_2 & P_2^R \\ 1 & D_{63} & D_{73} & D_{103} & B_3 & P_3^D & P_3^N & C_3 & P_3^R \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & D_{6114} & D_{7114} & D_{10114} & B_{114} & P_{114}^D & P_{114}^N & C_{114} & P_{114}^R \end{pmatrix}.$$

**TAULUKKO 11** Usean selittäjän regressiomallin tulokset Norjan tuontisähkölle (ilman kausimuuttujia).

Dependent variable: DLNIMP NOR

Observations: 114

	Coefficient	Prob.		
C	0,117	0,367	R <sup>2</sup>	0,04
DLNPRODTR	-2,624	0,208	adj. R <sup>2</sup>	0,00
DLNRUSEPRICE	-1,252	0,399	F-statistic	0,96
DLNNPSYSP	-0,143	0,821	AIC	3,28
DLNFINEPRICE	-11,744	0,380	SC	3,42
DLNEUR_RUB	6,938	0,150	D-W stat.	2,12

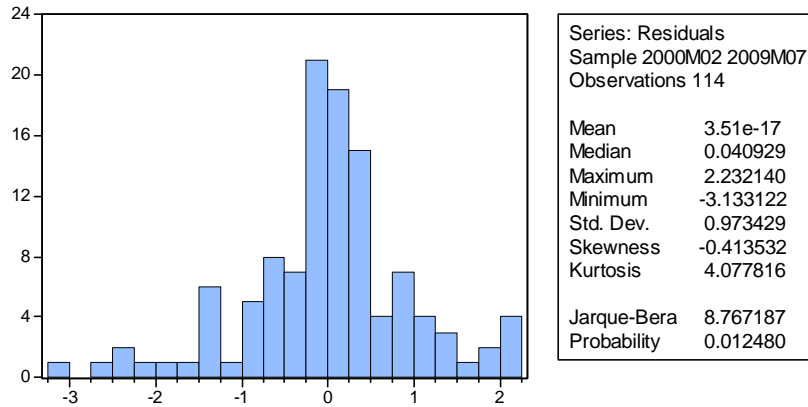
Alkuperäistä Norjan tuonnin aikasarjaa (kuvio 8) todennäköisesti kuvaa merkittävästi kausimuuttujat. Vain tiettyinä ajanhetkinä tuontia on, mutta muutoin tuontia ei ole. Tämä aiheuttaa sen, että muut selittäjät mallissa eivät ole merkitseviä ja näin ollen jotain tuontiteorian yhtälöön liittymätöntä on myös selittämättä. Norjalla ja Venäjällä on selvästi samankaltaisuutta, koska ilman kausikomponentteja mallilla ei ole selitysvoimaa (0,04).

**TAULUKKO 12** Usean selittäjän regressiomallin tulokset Norjan tuontisähkölle.

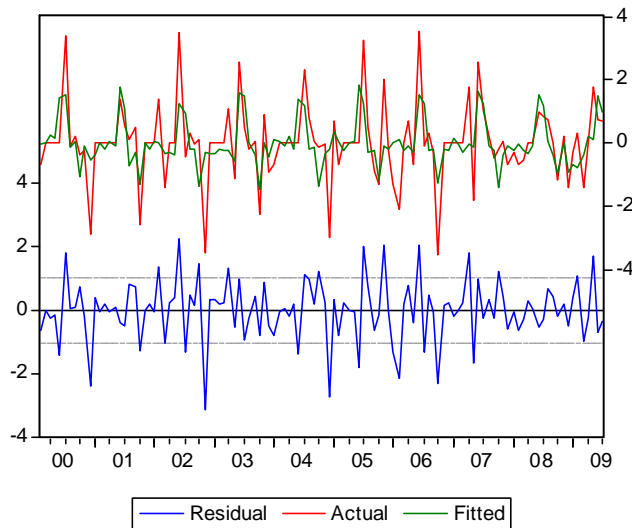
Dependent variable: DLNIMP NOR

Observations: 114

	Coefficient	Prob.		
C	-0,091	0,471	R <sup>2</sup>	0,36
S6	1,751	0,000	adj. R <sup>2</sup>	0,31
S7	1,214	0,001	F-statistic	7,28
S10	-1,161	0,002	AIC	2,93
DLNPRODTR	-1,988	0,297	SC	3,15
DLNRUSEPRICE	0,354	0,780	D-W stat.	2,54
DLNNPSYSP	-0,126	0,812		
DLNFINEPRICE	-5,763	0,606		
DLNEUR_RUB	7,890	0,051		



**KUVIO 14** Norjan tuontisähkön mallin virhetermien normaalisuuden testaus (histogrammi).



**KUVIO 15** Graafi sovitetuille ja todellisille residuaaleille (Norja).

Sovitettujen residuaalien graafi seuraa kohtuullisesti todellisia. Häiriötermit ovat vinoutuneita (-0,41) ja J-B testin (8,77) perusteella hylätään normalisuus. Whiten ja Breusch-Pagan testi antaa tuloksen, että residuaalit ovat homoskedastisia, koska ( $\chi^2(16) = 26,30$ ) F-testiarvot pitävät p-arvojen kanssa nollahypoteesin voimassa. Sovitetut residuaalit (kuvio 15) ovat lähes onnistuneet ja mukailevat todellisia arvoja.

**TAULUKKO 13** Whiten ja Breusch-Pagan-Godfrey testi heteroskedastisuudelle Norjan tuontisähkön tapauksessa.

	White	B-P-G
F-statistic	0,62	1,24
Prob.	0,94	0,29

### 8.3 VAR-malli (dynaaminen analyysi)

Vektoriautoregressiiviset (VAR) mallit ovat eräs keino tarkastella taloudellisten muuttujien välisiä riippuvuuksia ja vuorovaikutussuhteita ilman lähtöteoriaa ja siihen pohjautuvaa mallia. Se on tilastollinen lineaarinen yleis-AR(p) malli, josta parametrimatriisia rajoittamalla (ts. jotkut  $\phi_{ij}$  ovat nolliä) saadaan ekonometrinen täydennys. Se antaa yleiskuvauksen riippuvuuksista sarjojen välillä. Teknisesti ottaen, VAR-malleilla tarkoitetaan moniyhtälöaikasarjamalleja, joissa mallin jokaista tutkittavaa muuttujaa selitetään muuttujan omilla sekä toisten selittävien muuttujien viipeillä.

Eksogeenisiä muuttujia ei tarvitse selittää mallissa. VAR-mallia käytetään yleisesti Granger-kausalisuuden testaamiseksi sekä impulssivasteanalyyseissä. Aineistolle käytetään impulssivasteita, joilla pyritään selvittämään yksittäisen muuttujan odottamattoman muutoksen (shokin) vaikutusta muihin muuttujiin (yleensä myös muuttujaan itseensä) yli ajan.

Aluksi valitaan keskiarvallisesti viipeiden (lag) lukumäärä eli VAR(p)-mallin p:n arvot listalta. Viipeiksi saadaan tässä kyseisessä tapauksessa kaikkien tuontien määrille  $p = 1$ .

**TAULUKKO 14** Viiverakenteen kriteerit

AIC: Akaike information criterion  
 SC: Schwarz information criterion  
 HQ: Hannan-Quinn information criterion

VAR	Lag	AIC	SC	HQ
Russia	1	-17,39	-16,31	-16,95
Norway	1	-14,06	-12,98	-13,62
Sweden	1	-15,08	-14,00	-14,64



Jokainen tuontimaa saa oman VAR(p) mallin. Muuttujien määrä on kolmessa eri VAR(p) mallissa  $m=6$ . Aikasarjat on logaritmoitu ja differensoitu. VAR(1)-malli kuudelle muuttujalle on Venäjän tuontisähkön tapauksessa (Ruotsin ja Norjan tuontimalli on muuten yhtäläinen, mutta Ruotsille  $Q_t^R = Q_t^S$  ja Norjalle  $Q_t^R = Q_t^N$ ), jossa  $Q_t^R$  on Venäjältä tuodun sähkön määrä,  $B_t$  on Suomen tuotannon suhdannekuvaaja,  $P_t^D$  on kotimaan sähkön hinta,  $P_t^N$  on Elspot-systeemihinta,  $P_t^R$  on Venäjällä myydyn sähkön hinta ja  $C_t$  on vaihtokurssi (EUR/RUB). Malli on seuraavanlainen:

$$\begin{aligned}
Q_t^R &= \alpha_1 + \phi_{11}Q_{t-1}^R + \phi_{12}B_{t-1} + \phi_{13}P_{t-1}^D + \\
&\quad \phi_{14}P_{t-1}^N + \phi_{15}P_{t-1}^R + \phi_{16}C_{t-1} + \varepsilon_{1t} \\
B_t &= \alpha_2 + \phi_{21}Q_{t-1}^R + \phi_{22}B_{t-1} + \phi_{23}P_{t-1}^D + \\
&\quad \phi_{24}P_{t-1}^N + \phi_{25}P_{t-1}^R + \phi_{26}C_{t-1} + \varepsilon_{2t} \\
P_t^D &= \alpha_3 + \phi_{31}Q_{t-1}^R + \phi_{32}B_{t-1} + \phi_{33}P_{t-1}^D + \\
&\quad \phi_{34}P_{t-1}^N + \phi_{35}P_{t-1}^R + \phi_{36}C_{t-1} + \varepsilon_{3t} \\
P_t^N &= \alpha_4 + \phi_{41}Q_{t-1}^R + \phi_{42}B_{t-1} + \phi_{43}P_{t-1}^D + \\
&\quad \phi_{44}P_{t-1}^N + \phi_{45}P_{t-1}^R + \phi_{46}C_{t-1} + \varepsilon_{4t} \\
P_t^R &= \alpha_5 + \phi_{51}Q_{t-1}^R + \phi_{52}B_{t-1} + \phi_{53}P_{t-1}^D + \\
&\quad \phi_{54}P_{t-1}^N + \phi_{55}P_{t-1}^R + \phi_{56}C_{t-1} + \varepsilon_{5t} \\
C_t &= \alpha_6 + \phi_{61}Q_{t-1}^R + \phi_{62}B_{t-1} + \phi_{63}P_{t-1}^D + \\
&\quad \phi_{64}P_{t-1}^N + \phi_{65}P_{t-1}^R + \phi_{66}C_{t-1} + \varepsilon_{6t}.
\end{aligned} \tag{15}$$

Matriisimuodossa:

$$\begin{pmatrix} Q_t^R \\ B_t \\ P_t^D \\ P_t^N \\ P_t^R \\ C_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} & \phi_{15} & \phi_{16} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} & \phi_{25} & \phi_{26} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} & \phi_{35} & \phi_{36} \\ \phi_{41} & \phi_{42} & \phi_{43} & \phi_{44} & \phi_{45} & \phi_{46} \\ \phi_{51} & \phi_{52} & \phi_{53} & \phi_{54} & \phi_{55} & \phi_{56} \\ \phi_{61} & \phi_{62} & \phi_{63} & \phi_{64} & \phi_{65} & \phi_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_{t-1}^R \\ Y_{t-1} \\ P_{t-1}^D \\ P_{t-1}^N \\ P_{t-1}^R \\ C_{t-1} \end{pmatrix} + \tag{16}$$

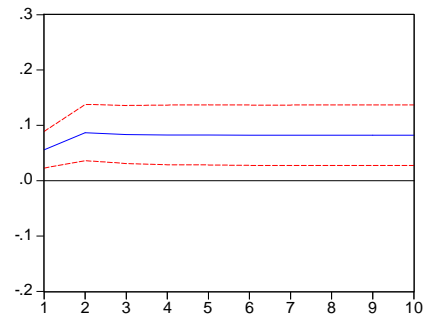
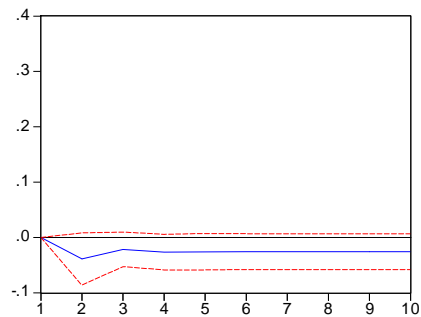
$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \\ \varepsilon_{4t} \\ \varepsilon_{5t} \\ \varepsilon_{6t} \end{pmatrix} \sim IID \left( \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} & \sigma_{15} & \sigma_{16} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \sigma_{24} & \sigma_{25} & \sigma_{26} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \sigma_{34} & \sigma_{35} & \sigma_{36} \\ \sigma_{41} & \sigma_{42} & \sigma_{43} & \sigma_{44} & \sigma_{45} & \sigma_{46} \\ \sigma_{51} & \sigma_{52} & \sigma_{53} & \sigma_{54} & \sigma_{55} & \sigma_{56} \\ \sigma_{61} & \sigma_{62} & \sigma_{63} & \sigma_{64} & \sigma_{65} & \sigma_{66} \end{pmatrix} \right).$$

### 8.3.1 Venäjä (VAR)

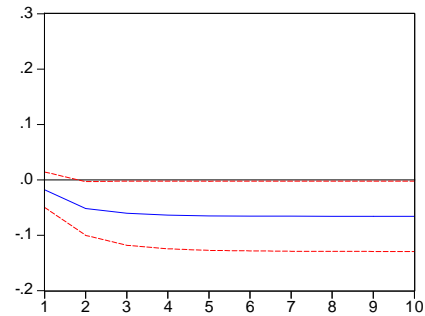
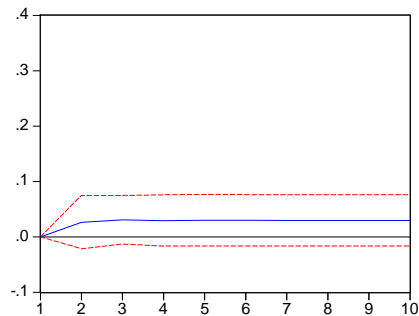
Ohjelmalla (EViews) saaduista tuloksista on koottu seuraavanlaiset merkitsevät funktiot:

#### Accumulated Response to Cholesky One S.D. Innovations $\pm 2$ S.E.

Accumulated Response of DLNIMPRUS to DLNPRODTR      Accumulated Response of DLNPSYSP to DLNIMPRUS



Accumulated Response of DLNIMPRUS to DLNPSYSP      Accumulated Response of DLNPSYSP to DLNFINEPRICE



**KUVIO 16** Venäjän tuontisähkön impulssi-responssifunktiot. Luottamusvälit (95%) on ilmaistu katkoviivoin.

Shokin seuraus:

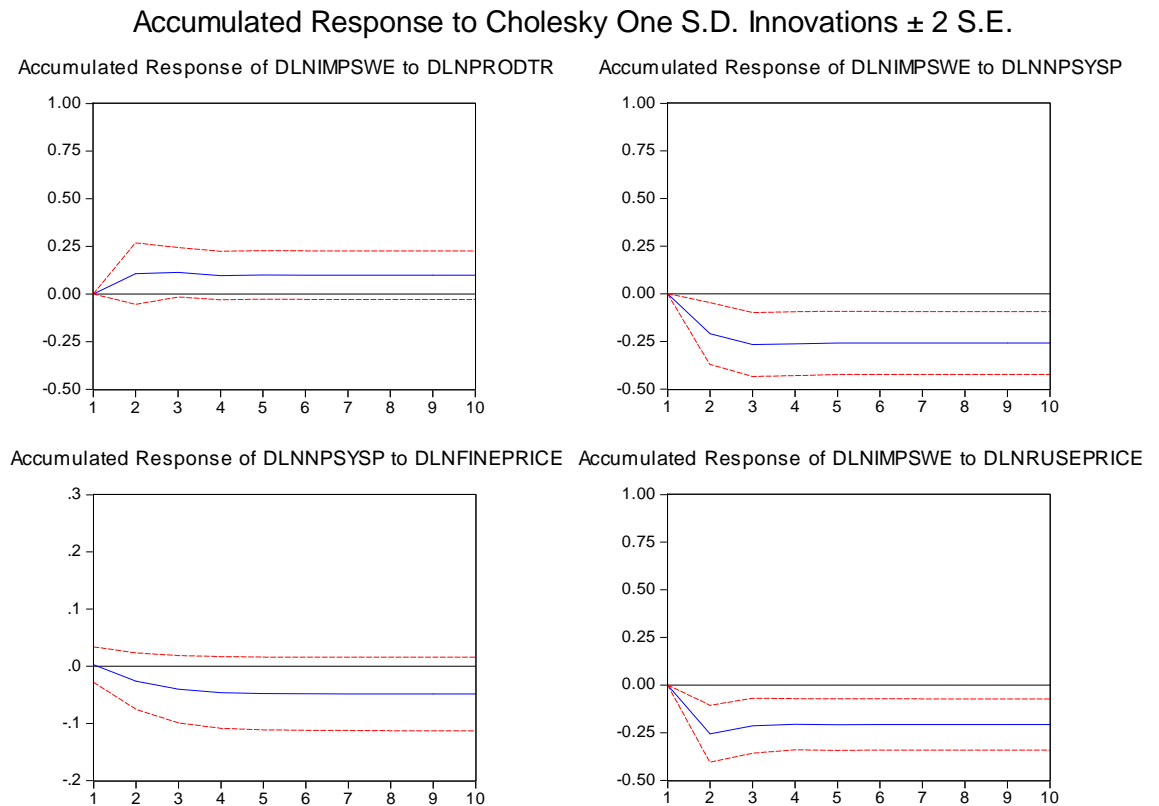
- a. Tuotannon (DLNPRODTR) kasvattaminen Suomessa vähentää Venäjältä tuodun sähkön määrää (DLNIMPRUS).
- b. Elspot-systeemihinta (DLNNPSYSP) vaikuttaa positiivisella shokillaan Venäjältä tuotuun sähkөө lisäävästi.
- c. Äkillisesti kasvatettu tuonnin määrä Venäjältä nostaa hintoja Nord Poolissa.
- d. Systeemihinta reagoi vähenevästi, kun Suomen hinta nousee (DLNFINEPRICE).

Seurauksen syy:

- a. Mahdollisesti omaa sähköntuotantoa on lisätty ja tällöin tuonnin kysyntä vähenee.
- b. Kyseessä on kaksi eri markkinapaikkaa (substituutteja) ja osto siirtyy sinne, missä sähkö on edullisinta.
- c. Oletettavasti syy suoranaisesti ei olisi tuonnin määrän lisäyksessä, vaan todennäköisesti markkinoilla on vähän tarjontaa ja hinta nousee joka tapauksessa.
- d. Todennäköisempää olisi, kun Suomi käy kauppaa sähköpörssissä ja kotimaiset hinnat ovat nousseet, niin se näkyisi myös kasvuna Nord Poolin hinnoissa.

### 8.3.2 Ruotsi (VAR)

Ruotsin osalta seuraavat merkitsevät funktiot:



**KUVIO 17** Ruotsin tuontisähkön impulssi-responsifunktiot. Luottamusvälit (95%) on ilmaistu katkoviivoin.

Shokin seuraus:

- Suomen tuotannossa (DLNPRODTR) tapahtuva äkillinen nousu lisää tuontia Ruotsista (DLNIMPSWE).
- Nord Poolin systeemihinnan (DLNNPSYSP) nousu vähentää tuontisähkön kiinnostusta.
- Venäjän sähkön hinnan (DLNRUSEPRICE) nousu vähentää tuontia Ruotsista.

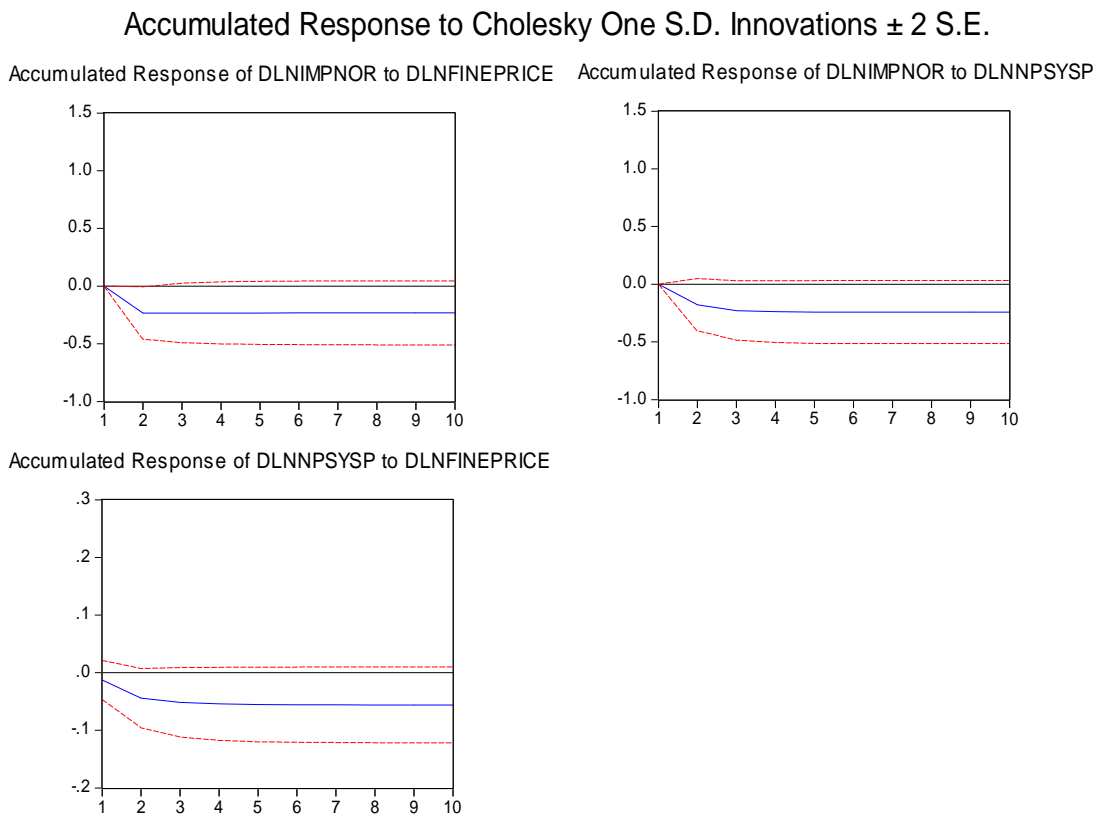
Seurauksen syy:

- Talusteorioiden valossa oletetaan, että tuotannon lisääntyessä myös sähkön tarve kasvaa ja myös tuontisähkön tarve.

- b. Tässä Suomessa tapahtuvan sähkön hinnan (DLNFINEPRICE) nousun vaikutus Elspot-systeemihintaan on otettu merkitseväksi funktioksi sama, kuin Venäjän VAR-mallissa.
- c. Todennäköisesti ei yksiselitteisesti tapahtuvana ilmiönä, mutta jos Venäjän sähkön hinta nousee, niin oletettavasti nousee myös Ruotsista tuodun sähkön hinta ja näin ollen pienentää tuontia.

### 8.3.3 Norja (VAR)

Norjan aineiston funktiot tulkintoja varten ovat seuraavanlaiset:



**KUVIO 18** Norjan tuontisähkön impulssi-responssifunktiot. Luottamusvälit (95%) on ilmaistu katkoviivoin.

Shokin seuraus:

- a. Suomessa tapahtuva sähkön hinnan (DLNFINEPRICE) nousu vaikuttaa shokkina Norjan tuontisähkөөn (DLNIMP NOR) laskevasti.

- b. Elspot-systeemihintojen (DLNNPSYSP) kasvu pienentää tuonnista saatua hyötyä.

Seurauksen syy:

- a. Oletettavasti hintojen nousu houkuttaa tuottamaan kansallisella tasolla sähköä itse ja vähentämään tuontia.
- b. Se kannustaa tuottamaan itse tai ostamaan muualta. Kolmannen funktion kuvaajan selitys on sama, kuin Venäjän tuontisähkön tapauksessa.

## 9 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä selvitettiin Suomeen tuotavan sähkön määrään vaikuttavia syitä tuonti-teorian näkökulmasta. Selitettävänä muuttujina on kolmen valtion aineistoa (Venäjä, Ruotsi ja Norja). Norja ja Ruotsi muodostavat oman markkina-alueensa (Nord Pool). Selittävinä muuttujina on hyödynnetty Suomen tuotannon suhdannekuvaajaa, kotimaan sähkön hintaa kuluttajille (K1), Elspot-systeemihintaa, EUR/RUB valuuttakurssia sekä Venäjän sähkömarkkinoilla myydyn sähkön hintaa.

Empiirinen osio on jaettu staattiseen ja dynaamiseen analyysiin. Staattinen analyysi tarkoittaa tässä usean muuttujan regressiomallia ja dynaaminen osuus VAR-mallinnusta. Käytössä oleva tutkimusaineisto on kuukausittaisia havaintoja vuoden 2000 alusta, päättyen vuoden 2009 heinäkuuhun, eli yhteensä 115 havaintoa.

Venäjältä tuotavan sähkön määrä kasvaa 1,44 prosenttia, kun Suomen tuotanto kasvaa prosentin staattisen analyysin perusteella. Tuotannon kasvulla on energian tarvetta lisäävä vaikutus ja näin ollen sähkön kysyntä lisääntyy. Varmuudella ei voi todeta missä suhteessa sen vaikutus siirtyy tuontisähköksi vai onko lisätty myös kotimaista tuotantoa.

Pohjoismaiset sähkömarkkinat ja Venäjällä toimivat tuotantolaitokset ovat keskenään substituutteja, mutta hintajouston ollessa 0,35 on muutos Elspot-systeemihinnoissa suhteessa suurempi, kuin kysynnän muutos. Tämä tarkoittaa sitä, että systeemihinnat voivat nousta prosentin, kun kysyntä kasvaa vain 0,35 prosenttia Venäjän suuntaan. Vuodenajalla on myös merkitystä, eli merkitseviksi kausimuuttujiksi saatiin tammi-, kesä-, heinä- ja elokuu.

Merkitsevimmät tulokset impulssivasteanalyyseistä on:

1. suomen tuotannon lisäyksen aiheuttama vähentyminen Venäjältä tuotavalle sähkölle,
2. tuonnin lisäyksen positiivinen vaikutus systeemihintoihin ja vastaavasti
3. systeemihintojen nousun myötä tuonnin lisäystä Venäjältä sekä systeemihintojen lasku Suomessa myydyin sähkön hinnan nousun seurauksena.

Viimeisin tulos on havaittavissa myös kahden muun tuontimaan tapauksessa, mutta on ristiriitainen, koska Suomi on mukana sähköpörssissä. Suomessa on käytössä pääsääntöisesti eri tuotantoteknologiaa ympäristön rajoittavista tekijöistä johtuen suhteessa Ruotsiin ja Norjaan. Hinta voi tietenkin laskea sähköpörssissä, koska vesivoiman osuus on niin merkittävä ja tietyin ajoin runsaina vesivuosina, tuotantolaitokset tyhjentävät patoja. Näin ollen hinta laskisi tarjonnan lisääntyessä, huolimatta Suomen hintojen noususta. Tällöin tietenkin olisi odotettavaa, että tuonnin kysyntä nousisi Nord Pool –alueelta, koska hinta laskee.

Ristiriitainen tulos myös usean muuttujan regressiomallin kanssa saatiin tuotannon kasvun vaikutuksesta Venäjältä tuotavaan sähköön. Impulssivasteissa nähdään, että tuotannon kasvu on aiheuttanut supistumista tuontisähkölle. Syyksi epäilen oman sähköntuotannon lisääntymistä, mutta luottaisin kuitenkin enemmän staattisen analyysin tulokseen. Yhtäläisyyttäkin malleista löytyy ja tuloksia vahvistaa systeemihintojen positiivisen shokin vaikutus Venäjältä tuotavan sähkön määrää lisäävästi ja samoin toisinpäin.

Usean muuttujan regressiomalli Ruotsin tuontisähkölle antaa merkitseviksi kausikomponenteiksi huhti- ja toukokuun. Ruotsi tuottaa merkittävän osan sähköstään vesivoimalla ja siksi on oletettavaa, että tuottavuus on parhaimmillaan näihin aikoihin. Myös Norjan tuotannolle, jossa kesä-, heinä- ja lokakuu ovat merkitseviä kuukausia tuonnin osalta on havaittavissa vastaava ilmiö. Tarjonnan lisääntyessä hinta laskee ja kysyntä tuonnille kasvaa. Norjan regressiomallissa ei ole muita merkitseviä selittäviä muuttujia.

Ruotsin osalta, samoin kuin Venäjän tapauksessa mallista nousevat esille tuotannon suhdannekuvaaja sekä systeemihinnat. Ruotsin tuonti vähenee tulosten perusteella 5,17 prosenttia, kun tuotantoa Suomessa kasvatetaan prosentilla. Nord Poolin markkinoilla tapahtunutta prosentin hinnan nousua taas seuraa 1,55 prosentin lasku Ruotsin tuonnin kysynnässä.

Norjasta hankitulle sähkölle on impulssi-responssifunktioiden mukaan kysyntää laskeva vaikutus, kun Suomessa myytävän sähkön hintaa tai systeemihintaa kasvatetaan. Usean muuttujan regressiomalli ei hyväksynyt näitä tekijöitä merkitseviksi. Syynä kotimaisen hinnan vaikutukselle voidaan olettaa myyntihinnasta saatavan hyödyn kasvu, joka kannustaa kotimaiseen sähköntuotantoon. Nord Poolin hintojen nousu puolestaan siirtää kysyntää kotimaan markkinoille tai Venäjän markkinoille, koska tuonnista saatava hyöty laskee. Sekä VAR-mallin, että usean selittäjän regressiomallin tulokset ovat perusteltuja, eivätkä sinällään ole ristiriidassa, vaan täydentävät toisiaan.

Toisin kuin Venäjältä, Ruotsin impulssivasteet olettavat Suomen tuotannon lisäävän sähkön tuontia Ruotsista. Näille maille on kuitenkin yhteistä, että tulokset ovat ristiriidassa usean selittäjän regressiomallin kanssa. Tässä tapauksessa oletan, että VAR-mallin analysointi on oikea, koska tuotannon lisääntyessä myös sähkön kysyntä kasvaa. Systeemihinnan noususta aiheutuva Ruotsin tuontisähkön vähentyminen on ymmärrettävissä hyödyn laskulla hinnan noustessa. Venäjän hinnoissa tapahtuvan nousun seurauksena tuonnin väheneminen Ruotsista ei kuitenkaan vaikuta rationaaliselta reaktiolta ainoana syynä, vaan täytyisi tapahtua samanaikaista hintojen nousua sekä Venäjällä, että Ruotsissa tai kapasiteetin vähenemistä.

## 10 Pohdinta

Tulosten luotettavuutta usean selittäjän regressiomallissa voidaan tarkastella konkreettisesti selitysvälin avulla, joka kertoo kuinka paljon malli selittää kokonaisvaihtelusta. Selitysväli ilmaistaan useimmiten prosentteina. Paras arvo saatiin Venäjän aineistolle (55 prosenttia) ja huonoin Ruotsin tuloksista (32 prosenttia). Tarkemmin muista arvioinneista löytyy kappaleesta 8.2. VAR –mallin tapauksessa estimaattien luotettavuutta määritellään luottamusvälin avulla (95 prosenttia). Se on yksinkertaisesti havaittu väli, joka vaihtelee otoksesta toiseen ja joka usein sisältää mielenkiinnon kohteena olevan parametrin, kun otantakoetta toistetaan. Tulosten vertailussa on käytetty vain luottamusvälin sisällä olevia funktioita, mutta tulkinnoissa on suhtauduttu kriittisesti tiettyihin kohtiin.



Keskeisimmät tulokset voidaan varmuudella todeta mallien yhtäläisistä tuloksista, joissa Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla tapahtuva hinnan nousu lisää tuontia Venäjältä ja vähentää tuontia Ruotsista. Norjan malli on havainnollistettu graafien sekä aineiston testauksella sisältävän kausittaisia tekijöitä, eikä tuontiteoriaa voida tästä syystä soveltaa. Tulokset vahvistivat lähtökohtaisia oletuksia ja tältä osin työn suoritus on onnistunut. Jatkotutkimus kannattaa suunnata varsinaisiin markkinapaikkoihin, joista voidaan tarkemmin todeta vaikuttavat tekijät hintojen muutoksille.

## Lähdeluettelo

- Coq, C. L.;& Skytte, K. (1999). *Market power and futures trade on the electricity markets*. Stockholm School of Economics.
- Dahl, C. A.;& Sterner, T. (1991). Analyzing gasoline demand elasticities: a survey. *Energy Economics* (13), 203-210.
- Elinkeinoelämän keskusliitto EK; Energiateollisuus ry. (2007). *Arvio Suomen sähkön kysynnästä vuosille 2020 ja 2030*.
- Energiamarkkinavirasto. (2012). Haettu 11. joulukuu 2012 osoitteesta [www.energiamarkkinavirasto.fi](http://www.energiamarkkinavirasto.fi)
- Energiamarkkinavirasto. (2012). *Fingrid*. Haettu 6. Joulukuu 2012 osoitteesta [www.fingrid.fi](http://www.fingrid.fi)
- Energiateollisuus*. (2012). Haettu 30. Marraskuu 2012 osoitteesta [www.energia.fi](http://www.energia.fi)
- Energiateollisuus. (2012). *Sähkön tuotanto, tuonti ja vienti*. Haettu 6. Joulukuu 2012 osoitteesta [www.energia.fi](http://www.energia.fi)
- Entso-e. (2012). *European network of transmission system operators for electricity*. Haettu 29. Marraskuu 2012 osoitteesta <http://www.entsoe.eu/>
- Eurostat. (2010). *Electricity prices for first semester 2010*. Haettu 30. Marraskuu 2012 osoitteesta <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- Fingrid. (2012). *Fingrid*. Haettu 29. Marraskuu 2012 osoitteesta [www.fingrid.fi](http://www.fingrid.fi)
- Harris, C. (2006). *Electricity Markets - Pricing, Structures and Economics*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Honkatukia, J.;& Rajala, A. (2007). *Energia, päästökauppa ja kilpailukyky - Suomalaisen energiaintensiivisen teollisuuden näkemyksiä EU:n päästökaupasta ja pohjoismaisista energiamarckkinoista*. Helsinki: Valtion taloudellinen tutkimuskeskus.
- Huikuri, N.;& Okkonen, L. (2012). *Bioenergiaa Pielisen Karjalaan*. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
- IEA. (2012). Haettu 12. joulukuu 2012 osoitteesta <http://www.iea.org/>

IEA. (2009). *Electricity generation by fuel, Russian Federation*. Haettu 8. Joulukuu 2012 osoitteesta [www.iea.org](http://www.iea.org)

IEA. (2012). *International Energy Statistics*. Haettu 12. joulukuu 2012 osoitteesta <http://www.iea.org/>

Kangas, H.-L. (2011). *Tuulivoima - kehitys ja tulevaisuus*. WWF Asiantuntija-analyysi.

Krugman, P. R.;& Obstfeld, M. (2009). *International Economics - Theory & Policy* (Eighth edition p.). Pearson International Edition.

Lo, M.;Sawyer, W. C.;& Sprinkle, R. L. (2006). The link between economic development and the income elasticity of import demand. *Journal of Policy modeling* (29), 133-140.

Marrewijk, C. V. (2007). *International Economics - Theory, Application, and Policy*. Oxford university press.

Murray, T.;& Ginman, P. (1976). An Empirical Examination of the Traditional Aggregate Import Demand Model. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 58 (1), 75-80.

Ohlin, B. (1933). *Interregional and International Trade*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Oy Vesirakentaja. (2008). *Voimaa vedestä 2007 - Selviys vesivoiman lisäämismahdollisuuksista*. Energiateollisuus ry.

Pohjolan Voima Oy. (2012). Haettu 30. Marraskuu 2012 osoitteesta [www.pohjolanvoima.fi](http://www.pohjolanvoima.fi)

Rudkevich, A.;Duckworth, M.;& Rosen, R. (1998). Modelling Electricity Pricing in a Deregulated Generation Industry: The Potential for Oligopoly Pricing in a Poolco. *The Energy Journal* (19(3)), 19-48.

Rybczynski, T. M. (1955). Factor endowments and relative commodity prices. *Economica* (22), 336-41.

Samuelson, P. A. (1948). International trade and the equalisation of factor prices. *Economic Journal* (58), 163-84.

Smith, A. (1776). *An Inquiry into the nature and Causes of the Wealth of Nations* (the Glasgow edition of the works and correspondence of Adam Smith, edited by R.H. Campbell and A.S. Skinner, 1981 p.). liberty press.

Solanko, L. (2011). *68 FIIA Working Paper - How to succeed with a thousand TWh reform*. Ulkopoliittinen instituutti.

Stolper, W.;& Samuelson, P. (1941). Protection and real wages. *Review of Economic Studies* (9), 58-73.

Tilastokeskus. (2012). Haettu 12. joulukuuta 2012 osoitteesta [www.tilastokeskus.fi](http://www.tilastokeskus.fi)

Tuulivoimaopas. (2012). *Tuulivoimaopas - Tuet tuulivoimalle*. Haettu 30. marraskuuta 2012 osoitteesta [www.tuulivoimaopas.fi](http://www.tuulivoimaopas.fi)

Wangensteen, I. (2007). *Power System Economics - the Nordic Electricity Market*. Tapir academic press.

Zhao, X.;& Wu, Y. (2007). Determinants of China's energy imports: an empirical analysis. *Energy Policy* (35), 4235-4246.

## **Liitteet**

Liite 1a. Stationaarisuus

Liite 1b. Kausikomponentit

Liite 2. Korrelogrammat aikasarjoille

Liite 3. Yksikköjuuritestit

Liite 4. Akaike ja Schwarz informaatiokriteerit

Liite 5. Usean selittäjän regressiomalli

## Liite 1a. Stationaarisuus.

Aikasarja-aineisto on hyvin usein voimakkaasti korreloitunut yli ajan. Aikasarjaa sanotaan stationaariseksi, mikäli sen tilastolliset ominaisuudet säilyvät vakioina yli ajan. Aikasarja  $y_t$  on stationaarinen, jos seuraavat ehdot täyttyvät:

$$E[y_t] = \mu, E[(y_t - \mu)^2] = \gamma_0, E[(y_t - \mu)(y_{t-k} - \mu)] = \gamma_k \text{ (kaikille } t\text{:n arvoille).}$$

Tässä  $\mu$ ,  $\gamma_0$  ja  $\gamma_k$  ovat äärellisiä lukuja, jotka eivät riipu ajasta  $t$ . Näin ollen keskiarvon on oltava vakio yli ajan ja mikäli sarjalla on trendi, niin tämä täytyy poistaa. Lisäksi varianssin on oltava vakio ja mikäli sarjat sisältää kausittaisia muutoksia tai muuttuvia variansseja, niin se täytyy myös poistaa. Lopuksi kovarianssien on oltava vakiot yli ajan. Lisäksi havaintojen välinen kovarianssi riippuu ainoastaan aikaerosta  $t-k$ , ei ajanhetkestä  $t$ .

AR(1)-prosessi on stationaarinen ja voidaan kirjoittaa muotoon:

$$X_t = \beta_2 X_{t-1} + \varepsilon_t, -1 < \beta_2 < 1, \varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2) \text{ eli white noise.}$$

Ehto ( $-1 < \beta_2 < 1$ ) on olennainen stationaarisuudelle, koska sarjasta tulee epästationaarinen eli ns. random walk-prosessi, mikäli ehto ei ole voimassa. Stationaarisuutta voidaan päätellä graafeista, korrelogrammasta (stationaarisilla prosesseilla korrelaatiokertoimet lähestyvät nollaa suhteellisen nopeasti, kun viive kasvaa ja epästationaarisilla hitaasti) sekä erilaisilla testeillä, josta tarkemmin liitteessä 3.

Ei-stationaarisuuden muotoja ovat:

1. Random Walk,  $y_t = y_{t-1} + \epsilon_t$ .
2. Random Walk driftillä,  $y_t = \alpha + y_{t-1} + \epsilon_t$ .
3. Trendistationaarisuus,  $y_t = \alpha + \beta t + \phi y_{t-1} + \epsilon_t$ .

## Liite 1b. Kausikomponentit.

Yleensä, kun aikasarja on mitattu kuukausittain tai vuosittain se voi sisältää korostunutta kausittaista vaihtelua. Kausittainen komponentti viittaa malleihin, jotka toistuvat vuoden periodin aikana ja jotka tasaantuvat pitkällä aikavälillä. Mallit, jotka eivät tasaa sisältyvät vakio – ja trendi komponentin. Aineistossa, jossa trendi on dominoiva, merkitys pitkän aikavälin esityksessä korostuu, niin puolestaan lyhyen aikavälin tarkasteluun on erityisen tärkeä sisällyttää kausikomponentti. Kausikomponentti on havaittavissa aikasarjojen kuvaajista sekä kausisarjojen kuvaajista, jotka sisältävät havaintoja samoilta kuukausilta eri periodeilla. Lisäksi kausisarjojen autokorrelaatiot usein kertovat positiivisia piikkejä kausiviipeille (12, 24, 36 jne. kuukausisarjoille sekä 4, 8, 12 jne. neljännesvuosisarjoille). Mikäli trendi ja kausikomponentit ovat lisääviä, niin aikasarja voidaan esittää muodossa:  $y_t = T_t + S_t + R_t$ .

Yhtälössä  $T_t$  on trendikomponentti ja  $S_t$  kausikomponentti. Komponentti  $R_t$  puolestaan merkitsee stationaarista prosessia, joka sisältää tilapäisen poikkeaman trendistä tai kausikomponenteista eli toisin sanoen shokkikomponentti. Mikäli vaikutukset kerrannaisia, malli voidaan esittää muodossa:  $y_t = T_t S_t R_t$ , mutta logaritmoimalla yhtälö saadaan mallista taas additiivinen eli:

$$\log(y_t) = \log(T_t) + \log(S_t) + \log(R_t).$$

Kausisarjat voidaan jakaa yhtäläillä kuin trendien tapauksessa, deterministisiin -ja stokastiin kausiin. Deterministiset kausikomponentit voidaan mallintaa siten, että jokaiselle merkitsevälle kausikomponentille asetetaan oma dummy –muuttuja. Esimerkkinä AR(1) malli kuukausidatalle deterministisen trendin ja kausikomponentin kanssa on seuraavanlainen:

$$y_t = \alpha + \beta t + \alpha_2 D_{2t} + \alpha_3 D_{3t} + \alpha_4 D_{4t} + \alpha_5 D_{5t} + \alpha_6 D_{6t} + \alpha_7 D_{7t} + \alpha_8 D_{8t} + \alpha_9 D_{9t} + \alpha_{10} D_{10t} + \alpha_{11} D_{11t} + \alpha_{12} D_{12t} + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t.$$

Tammikuussa  $D_{2t} = 1$  ja muina kuukausina 0. Samoin  $D_{3t} = 1$  Helmikuussa ja muina kuukausina 0 ja niin edelleen. Mikäli  $-1 < \phi < 1$ , niin malli voidaan estimoida OLS metodeilla. Yleisemmät ARMA –mallit puolestaan estimoidaan ML –metodeilla (maximum likelihood). Mikäli trendi on stokastinen eli  $\phi = 1$ , niin parametrit ovat estimoitavissa regressoimalla  $\Delta y_t$  vakiolla, trendillä  $t$  ja 11 kausi-dummylla. Dickey-Fuller

kriittiset arvot toimivat myös kyseisen mallin tilanteessa, kun testataan yksikköjuurta eli  $\phi = 1$ .

Yksinkertaisin malli stokastisilla kausilla voidaan esittää kausittainen random walk – malli eli:  $y_t = \alpha + y_{t-12} + \varepsilon_t$ . Voidaan kirjoittaa myös muotoon:  $(1 - L^{12})y_t = \alpha + \varepsilon_t$ .

Monijäsenisellä AR:llä  $(1 - z^{12})$  on yksikköjuuri arvoilla  $z = -1$  ja  $z = \pm i$ . Täten  $(1 - z^{12}) = (1 - z)(1 + z + z^2 + z^3 + z^4 + z^5 + z^6 + z^7 + z^8 + z^9 + z^{10} + z^{11})$ , siten kahdennentoista differenssien sarjat voidaan kirjoittaa muotoon  $(1 - z^{12})y_t = (1 - L)x_t$ , jossa  $x_t = (1 + z + z^2 + z^3 + z^4 + z^5 + z^6 + z^7 + z^8 + z^9 + z^{10} + z^{11})y_t$  on viimeisen 12 kuukauden kokonaisvuosi sarjoille  $y_t$ . Näin ollen malli  $y_t$ :lle stokastisilla kausilla kertoo, että sarjalla  $x_t$  kokonaisvuodelle on yksikköjuuri. Tämä voidaan testata ADF –testillä vuosikokonaisuuksille sarjalle  $x_t$ .<sup>16</sup>

Kun selvitetään, kumpaa kausimuuttujaa käytetään, voidaan testata aluksi integraation astetta sarjoille  $y_t$ . Yleisimmin integraation aste on joko 1 tai 0. Mikäli sarja on integroituneita astetta 1, niin malliin voidaan sisällyttää joko stokastinen trendi deterministisillä kausilla tai stokastinen kausi deterministisellä trendillä. Trendistationaarille sarjalle voimme sisällyttää malliin deterministisen trendin ja kausittaiset termit.

---

<sup>16</sup> Viiveoperaattori L on määritelty siten, että:  $Ly_t = y_{t-1}$ . Toistuvaisena operaattorina saadaan:  $L^k y_t = y_{t-k}$ . AR(p)-malli voidaan näin ollen kirjoittaa muotoon:  $\phi(L)y_t = \alpha + \varepsilon_t$ ,  $\phi(L) = 1 - \phi_1 L - \dots - \phi_p L^p$ .



## Liite 2. Korrelogrammat aikasarjoille.

### Norjan tuontisähkö:

Sample: 2000M01 2009M07  
Included observations: 115

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.644	0.644	48.927	0.000	
2	0.273	-0.242	57.797	0.000	
3	-0.007	-0.127	57.803	0.000	
4	-0.228	-0.188	64.088	0.000	
5	-0.418	-0.255	85.482	0.000	
6	-0.435	-0.034	108.83	0.000	
7	-0.348	-0.076	123.93	0.000	
8	-0.219	-0.058	129.96	0.000	
9	-0.010	0.100	129.97	0.000	
10	0.219	0.109	136.12	0.000	
11	0.386	0.131	155.40	0.000	
12	0.494	0.214	187.30	0.000	
13	0.421	-0.020	210.72	0.000	
14	0.174	-0.123	214.76	0.000	
15	-0.065	-0.007	215.32	0.000	
16	-0.219	0.007	221.82	0.000	
17	-0.325	-0.011	236.32	0.000	
18	-0.396	-0.104	258.09	0.000	
19	-0.276	0.105	268.75	0.000	
20	-0.158	-0.110	272.27	0.000	

### Venäjän tuontisähkö:

Sample: 2000M01 2009M07  
Included observations: 115

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.759	0.759	68.008	0.000	
2	0.634	0.137	115.90	0.000	
3	0.555	0.095	152.89	0.000	
4	0.499	0.064	183.13	0.000	
5	0.432	-0.014	205.91	0.000	
6	0.342	-0.078	220.38	0.000	
7	0.350	0.158	235.65	0.000	
8	0.324	-0.001	248.84	0.000	
9	0.296	0.009	259.98	0.000	
10	0.309	0.110	272.21	0.000	
11	0.402	0.260	293.15	0.000	
12	0.489	0.187	324.39	0.000	
13	0.360	-0.350	341.54	0.000	
14	0.264	-0.203	360.81	0.000	
15	0.198	-0.101	366.09	0.000	
16	0.175	0.059	360.28	0.000	
17	0.151	0.136	363.43	0.000	
18	0.100	0.014	364.83	0.000	
19	0.132	0.072	367.27	0.000	
20	0.142	0.074	370.12	0.000	

### Ruotsin tuontisähkö:

Sample: 2000M01 2009M07  
Included observations: 115

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.761	0.761	68.378	0.000	
2	0.552	-0.066	104.63	0.000	
3	0.322	-0.180	117.12	0.000	
4	0.195	0.072	121.70	0.000	
5	0.150	0.108	124.44	0.000	
6	0.127	-0.019	126.41	0.000	
7	0.061	-0.143	126.87	0.000	
8	-0.003	-0.021	126.87	0.000	
9	-0.038	0.062	127.06	0.000	
10	0.017	0.163	127.10	0.000	
11	0.013	-0.166	127.12	0.000	
12	0.002	-0.076	127.12	0.000	
13	-0.077	-0.073	127.90	0.000	
14	-0.119	0.066	129.77	0.000	
15	-0.153	-0.065	132.93	0.000	
16	-0.133	-0.026	135.32	0.000	
17	-0.109	0.007	136.95	0.000	
18	-0.095	0.040	137.95	0.000	
19	-0.060	0.054	138.45	0.000	
20	-0.040	-0.060	138.68	0.000	

### Sähkön hinta Suomessa:

Sample: 2000M01 2009M07  
Included observations: 115

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.965	0.965	109.91	0.000	
2	0.932	0.007	213.27	0.000	
3	0.895	-0.065	309.51	0.000	
4	0.858	-0.056	398.34	0.000	
5	0.812	-0.099	478.93	0.000	
6	0.773	0.053	552.64	0.000	
7	0.733	-0.023	619.55	0.000	
8	0.698	0.043	680.72	0.000	
9	0.661	-0.035	736.18	0.000	
10	0.626	-0.012	786.44	0.000	
11	0.591	-0.023	831.66	0.000	
12	0.559	0.005	872.44	0.000	

## EUR/RUB valuuttakurssi:

Sample: 2000M01 2009M07  
Included observations: 115

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
.	.	1	0.971	0.971	111.19	0.000
.		2	0.932	-0.179	214.56	0.000
.		3	0.892	-0.001	310.24	0.000
.		4	0.855	0.010	398.86	0.000
.		5	0.814	-0.088	479.98	0.000
.		6	0.775	0.019	554.11	0.000
.		7	0.738	0.020	622.02	0.000
.		8	0.702	-0.031	684.05	0.000
.		9	0.669	0.039	740.90	0.000
.		10	0.633	-0.096	792.24	0.000
.		11	0.592	-0.091	837.58	0.000
.		12	0.553	0.047	877.55	0.000
.		13	0.518	0.015	912.96	0.000
.		14	0.483	-0.043	944.02	0.000
.		15	0.445	-0.043	970.69	0.000
.		16	0.407	-0.050	993.16	0.000
.		17	0.368	-0.023	1011.8	0.000
.		18	0.327	-0.083	1026.6	0.000
.		19	0.283	-0.058	1037.8	0.000
.		20	0.244	0.084	1046.3	0.000

## Nord Pool systeemihinta:

Sample: 2000M01 2009M07  
Included observations: 115

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
.	.	1	0.876	0.876	90.571	0.000
.		2	0.692	-0.326	147.52	0.000
.		3	0.504	-0.066	178.05	0.000
.		4	0.352	0.036	193.08	0.000
.		5	0.261	0.106	201.38	0.000
.		6	0.186	-0.111	205.67	0.000
.		7	0.158	0.145	208.77	0.000
.		8	0.133	-0.082	210.99	0.000
.		9	0.106	-0.012	212.41	0.000
.		10	0.083	0.008	213.29	0.000
.		11	0.041	-0.077	213.51	0.000
.		12	0.002	-0.019	213.52	0.000
.		13	-0.026	0.047	213.61	0.000
.		14	-0.023	0.080	213.68	0.000
.		15	-0.015	-0.086	213.70	0.000
.		16	-0.008	0.025	213.71	0.000
.		17	0.005	0.028	213.72	0.000
.		18	0.022	0.044	213.78	0.000
.		19	0.055	0.069	214.20	0.000
.		20	0.090	0.035	215.35	0.000

## Tuotannon suhdannekuvaaja:

Sample: 2000M01 2009M07  
Included observations: 115

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
.	.	1	0.774	0.774	70.734	0.000
.		2	0.666	0.167	123.59	0.000
.		3	0.681	0.313	179.27	0.000
.		4	0.552	-0.202	216.14	0.000
.		5	0.576	0.328	256.66	0.000
.		6	0.688	0.312	315.07	0.000
.		7	0.535	-0.349	350.71	0.000
.		8	0.489	0.032	380.79	0.000
.		9	0.563	0.241	420.98	0.000
.		10	0.525	0.229	456.27	0.000
.		11	0.591	0.108	501.47	0.000
.		12	0.735	0.237	571.95	0.000
.		13	0.563	-0.395	613.73	0.000
.		14	0.450	-0.261	640.66	0.000
.		15	0.441	-0.185	666.77	0.000
.		16	0.339	0.078	682.35	0.000
.		17	0.338	-0.087	698.03	0.000
.		18	0.443	0.111	725.23	0.000
.		19	0.315	-0.021	739.18	0.000
.		20	0.261	0.049	748.80	0.000

## Sähkön hinta venäjällä:

Sample: 2000M01 2009M07  
Included observations: 115

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
.	.	1	0.968	0.968	110.62	0.000
.		2	0.939	0.025	215.57	0.000
.		3	0.920	0.157	317.29	0.000
.		4	0.895	-0.107	414.34	0.000
.		5	0.871	0.038	507.17	0.000
.		6	0.839	-0.183	594.11	0.000
.		7	0.802	-0.095	674.18	0.000
.		8	0.773	0.057	749.28	0.000
.		9	0.744	0.001	819.60	0.000
.		10	0.719	0.092	885.88	0.000
.		11	0.698	0.049	948.84	0.000
.		12	0.665	-0.148	1006.6	0.000
.		13	0.631	-0.068	1059.1	0.000
.		14	0.606	0.030	1108.0	0.000
.		15	0.580	0.004	1153.3	0.000
.		16	0.554	-0.023	1194.9	0.000
.		17	0.526	-0.001	1232.9	0.000
.		18	0.495	-0.028	1266.8	0.000
.		19	0.463	-0.090	1296.9	0.000
.		20	0.435	-0.001	1323.6	0.000

### Liite 3. Yksikköjuuritestit.

Käytännössä, jos trendi on deterministinen, sarjat palautuvat trendisuoralle pitkässä juoksussa. Stokastisen (satunnainen) trendin sarjat eivät palaudu pitkässäkään aikajuo-  
kussa takaisin trendisuoralle, vaan shokeilla on pysyvä vaikutus ja ennusteen varianssi kasvaa suurempaan horisonttiin. Idean ymmärtämiseksi voidaan tehdä sarjasta käyrä, joka on muotoa:  $y_t = \alpha + \beta t + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t$ , jossa  $\varepsilon_t$  on white noise. Tämä malli vastaa determinististä trendiä, jos  $-1 < \phi < 1$  ja  $\beta \neq 0$ . Malli on stokastisen trendin käyrä, jos  $\phi = 1$  ja  $\beta \neq 0$ .

Parametrien rajoittamisen testaus on yksinkertaisempi, kuin parametrien epäyhtälö, jossa nollahypoteesina on yleensä se, että trendi on stokastinen ja vaihtoehtoisesti trendi on deterministinen. Yhtälöstä  $y_t$  vähentämällä  $y_{t-1}$  molemmilta puolilta, saadaan yhtälök-  
si:  $\Delta y_t = \alpha + \beta t + \rho y_{t-1} + \varepsilon_t$  (\*), missä  $\rho = \phi - 1$ . Eräs yleisesti käytetty rajoitus on  $\phi = 1$ , vastaan  $\phi < 1$ . Tätä kutsutaan yksikköjuuritestiksi. Nollahypoteesina on stokas-  
tinen trendi ja vaihtoehtona deterministinen trendi, joka vastaa yhdensuuntaista testiä.

$H_0: \rho = 0$  (stokastinen trendi),

$H_1: \rho < 0$  (ei stokastinen trendi).

Testi perustuu  $\rho$ :n  $t$ -arvoihin regressiossa  $\Delta y_t$ . Kyseinen  $t$ -arvo on lausuttu funktiona  $t(\rho)$ . Nollahypoteesi hylätään, jos  $t(\rho)$  on merkittävästi pienempi, kuin 0. Toisin sanoen, jos  $t(\rho)$ :n arvo jää alle kriittisen arvon. Funktio  $t(\rho)$  ei noudata  $t$ -jakaumaa, vaan se riippuu  $\beta$ :n arvosta. Mikäli DGP:ssä (data generating process) todellisuudessa  $\rho = 0$  ja  $\beta = 0$ , joka on relevantti tapaus nollahypoteesin tapauksessa, niin  $t(\rho)$ :n jakauma yhtälön (\*) tapauksessa on *Dickey-Fuller* -jakauma (yleensä käytetään viiden prosentin kriittisiä arvoja).

Dickey-Fuller testin kriittisiä arvoja

Merkitsevyytaso	10 %	5 %	1 %
Ei vakiota eikä tren- diä	-1,62	-1,95	-2,58
Vakio ei trendiä	-2,57	-2,86	-3,43
Vakio ja trendi	-3,12	-3,41	-3,96

Laajennettu versio DF -testille (Dickey-Fuller) on ADF -testi (augmented Dickey-Fuller). Testiyhtälö saadaan yhtälöstä  $\Delta y_t$ , johon lisätään viipeelliset arvot  $\Delta y_t$ :n regres-

sioihin. Huomioitavaa on se, että nollahypoteesissa stokastisten trendien tapauksessa sarjat  $y_t$  ovat integroituneita astetta 1, joten lisättävät regressiot  $\Delta y_{t-k}$  ovat kaikki stationaarisia. Kriittiset arvot ovat kaikki samoja, kuin DF –testissä. Yhtälö on muotoa:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \rho y_{t-1} + \rho_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \rho_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + \varepsilon_t,$$

$H_0: \rho = 0$  ja  $\beta = 0$  (stokastinen trendi),

$H_1: \rho < 0$  ja  $\beta \neq 0$  (deterministinen trendi).

#### **Liite 4.** Akaike ja Schwarz informaatiokriteerit.

Muita keinoja testaamiseksi, kannattaako muuttujat sisällyttää malliin, ovat Akaiken informaatio kriteerit (AIC) ja Schwarzin informaatio kriteerit (SIC, sanotaan myös Bayesin informaatio kriteeriksi BIC). Niiden tarkoitus on kuvailla mallin sovitetta sekä parametrien määrää yhdellä kriteerillä. Yhtälössä  $p$  on regressioiden määrä ja  $s_p^2$  on mallin virhetermin ML-estimaattori (maximum likelihood)  $p$  regressioilla:

$$AIC(p) = \log(s_p^2) + \frac{2p}{n},$$

$$SIC(p) = \log(s_p^2) + \frac{p \log(n)}{n}.$$

Malli, jolla on pienin AIC tai SIC valitaan. Kriteerit sisältävät rangaistus –termin parametrien määrälle, eli  $s_p^2$ :n arvo kasvaa ja näin ollen huonontaa kriteeriä. Silloin, kun  $n \geq 8$ , niin SIC määrää suuremman rangaistuksen ylimääräisistä muuttujista, kuin AIC, joten SIC on taipuvainen valitsemaan pienemmän mallin, kuin AIC.

## Liite 5. Usean selittäjän regressiomalli.

Oletukset usean selittäjän regressiomallille ovat:

1. Kiinteät regressiot: kaikki elementit  $n \times k$  matriisiin  $\mathbf{X}$  sisältyvät havainnot ovat ei-stokastisia (kiinnitettyjä lukuja tai vakioita). on oletettu, että  $n \geq k$  ja matriisilla  $\mathbf{X}$  on arvo  $k$ .
2. Satunnaiset häiriötermit, keskiarvolla 0: vektori  $\boldsymbol{\varepsilon}$  ( $n \times 1$ ) sisältää satunnaisen häiriötermin keskiarvolla 0 eli  $E[\boldsymbol{\varepsilon}] = 0$ , se on,  $E[\varepsilon_i] = 0$  ( $i = 1, \dots, n$ ).
3. Homoskedastisuus: kovarianssimatriisi häiriötermeille  $E[\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}']$  on olemassa ja kaikki diagonaalelementit ovat yhtä kuin  $\sigma^2$ , se on,  $E[\varepsilon_i^2] = \sigma^2$  ( $i = 1, \dots, n$ ).
4. Ei korrelaatiota: ei-diagonaaliset elementit kovarianssimatriisissa  $E[\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}']$  ovat kaikki 0, se on,  $E[\varepsilon_i\varepsilon_j] = 0$  kaikilla  $i \neq j$ .
5. Vakio parametrit: elementit  $k \times 1$  vektorissa  $\boldsymbol{\beta}$  ja skalaari  $\sigma$  ovat kiinteitä tuntemattomia arvoja  $\sigma > 0$ .
6. Lineaarinen malli: selitettävän muuttujan  $y$  data on generoitu (DGP), eli:  $\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$ .
7. Normaalisuus: häiriötermit ovat yhteisesti normaalisesti jakautuneita.

## Liite 6. VAR-malli.

Muodostetaan VAR(p)-malli sisällyttämällä summatut viipeet, joka ei sisällä MA-termiä (moving average), tällöin:

$$\mathbf{Y}_t = \boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\Phi}_1\mathbf{Y}_{t-1} + \boldsymbol{\Phi}_2\mathbf{Y}_{t-2} + \dots + \boldsymbol{\Phi}_p\mathbf{Y}_{t-p} + \boldsymbol{\varepsilon}_t = \boldsymbol{\alpha} + \sum_{i=1}^p \boldsymbol{\Phi}_i\mathbf{Y}_{t-i} + \boldsymbol{\varepsilon}_t, \\ \boldsymbol{\varepsilon}_t \sim IID(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Omega}).$$

Tässä  $\boldsymbol{\Phi}_j$  ( $j = 1, \dots, p$ ) ja  $\boldsymbol{\Omega}$  ovat  $m \times m$  matriiseja.  $\mathbf{Y}'_t = [X_{t1}, X_{t2}, X_{t3}, \dots, X_{tm}]$ , eli  $\mathbf{Y}'_t$  on  $(1 \times m)$ -matriisi, jossa on  $m$ -kappaletta satunnaismuuttujia  $X_t$ . VAR(p)-prosessin  $\mathbf{Y}_t$  on stationaarinen jos sillä on vakio vektori ja vakio autokovarianssit  $\text{COV}(\mathbf{Y}_t, \mathbf{Y}_{t-k})$ , joka riippuu viipeestä  $k$ , mutta ei ajasta  $t$ . Yhtälössä  $\boldsymbol{\varepsilon}_t$  on  $m$ -dimensioinen vektori white noise -termeillä ja kovarianssimatriisilla  $\boldsymbol{\Sigma}$ .

$$\boldsymbol{\Phi}(L) = \mathbf{I}_m - \boldsymbol{\Phi}_1L - \dots - \boldsymbol{\Phi}_pL^p,$$

jossa  $\mathbf{I}_m$  on  $m$ -dimensioinen yksikkömatriisi, joten voimme kirjoittaa VAR-mallin:

$$\Phi(L)Y_t = \alpha + \varepsilon_t.$$

Olettaen, että  $Y_t$  on tässä stationaarinen AR –malli, niin se voidaan esittää  $MA(\infty)$  muodossa. Mikäli  $\Phi(\mathbf{1})$ :llä on käänteismatriisi, niin se tarkoittaa, että VAR-malli voidaan kirjoittaa kuten VMA-malli (vector moving average model) kertomalla  $(L)^{-1}$ :llä. Yhtälöksi saadaan:

$$Y_t = \Phi(\mathbf{1})^{-1}\alpha + \Phi(L)^{-1}\varepsilon_t = \mu + \Phi(L)^{-1}\varepsilon_t, \text{ jossa } \Phi(L)^{-1} = I_m + A_1L + A_2L^2 + \dots,$$

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t + A_1\varepsilon_{t-1} + A_2\varepsilon_{t-2} + \dots + A_\infty\varepsilon_{t-\infty} = \mu + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^{\infty} A_i\varepsilon_{t-i}.$$

Tämä niin sanottu innovaatio esitys tuottaa keinotekoisia shokkeja. Oletetaan, että white noise vektori  $\varepsilon_t$  kasvaa vektorin  $d$  verran ja vaikutus  $Y_{t+s}$ :lle ( $s > 0$ ) on  $A_s d$ , joten matriisi on:

$$A_s = \frac{\partial Y_{t+s}}{\partial \varepsilon_t}.$$

Yhtälön tulkinta on se, että matriisin  $(i, j)$ -elementti mittaa  $\varepsilon_{it}$ :n yhden yksikön lisäyksen vaikutusta  $Y_{j,t+s}$ :lle. Esimerkkinä, jos  $\varepsilon_t$ :ssä ensimmäinen elementti  $\varepsilon_{1t}$  muuttuu, vaikutuksen suuruus on annettu  $A_s$ :n ensimmäisessä sarakkeessa. Dynaaminen vaikutus  $j$ :ssä muuttujassa yhden yksikön lisäyksellä näkyy ensimmäisellä sarakkeella ja  $j$ :llä rivillä  $(I_m, A_1, A_2, \dots)$  matriiseissa. Näiden elementtien kuvaaja  $s$ :n funktiolle sanotaan *impulssivaste funktioksi*.

Viipeiden lukumäärän määritykseen ei ole aina yksinkertaista empiiristä sovellusta ja autokorrelaatio - tai osittaisautokorrelaatio funktioista ei ole apua. Järkevintä on kokeilla eri viipeillä ( $p$ ) ja käyttää parhaan mallin määrityksessä Akaike ja Schwarz informaatio kriteereitä.

$$AIC(p) = \log(\det(\hat{\Omega}_p)) + 2 \frac{pm^2}{n}, \text{ SIC}(p) = \log(\det(\hat{\Omega}_p)) + \log(n) \frac{pm^2}{n},$$

jossa  $pm^2$  on kokonaismäärä kertoimia viipeellisille regressioille VAR( $p$ ) mallissa ja  $\hat{\Omega}_p$  on estimoitujen häiriötermien kovarianssimatriisi. VAR –mallin estimoinnista tulee epäkäytännöllinen suurilla muuttujien  $m$  määrillä, koska parametrien määrä kasvaa  $m^2$ . Tätä kutsutaan dimensioiden kiroukseksi (curse of dimensionality) usean yhtälön mal-leissa.