

**SUOMEN ENERGIATALOUS NYT JA  
TULEVAISUUDESSA**

Kansantaloustiede  
Pro gradu tutkielma  
Maaliskuu 2013  
Ohjaaja: Hannu Laurila

Jura Ratia

## TIIVISTELMÄ

Tampereen yliopisto

Johtamiskorkeakoulu

RATIA, JURA: Suomen energiatalous nyt ja tulevaisuudessa

Pro gradu –tutkielma: 75 sivua + 5 liitesivua

Kansantaloustiede

Helmikuu 2013

Avainsanat: energiatalous, energiankulutus, tulevaisuuden tutkimus, skenaariotekniikka, Delfoi –tekniikka, vaihtoehtoiskustannus

---

Globaalin talouden yksi suurimmista rajoitteista on energian riittävyys. Energiatalous on kulkenut intensiivisen matkan 1800 –luvun puolivälin tienoilta tähän päivään, ja erityisen leimallista sille on ollut fossiilisten polttoaineiden dominanssi. Tänä päivänä sektori elää voimakkaassa muutoksessa; ei vähiten öljyn väistämättömän niukkuuden ohjaamana. Ongelmat ovat jatkuvasti ajankohtaisia. Ydinvoima kohtaa yhä kasvavaa kritiikkiä, eivätkä muutkaan tämänhetkiset pääenergiälähteet, kuten hiili, edusta kestävästä kehityksen arvomaailmaa. Vaihtoehdot ja erityisesti vaihtoehtoiskustannukset saavat yhä enemmän painoarvoa päätöksenteossa.

Energiatalouden tulevaisuus näyttäytyy haasteellisena, mutta kiehtovana. Se pitää sisällään pessimismää, mutta myös vaihtoehtoja, mikä tekee siitä mielekkään tutkimusaiheen. Lähestymällä aihetta negatiivisin miellelyhtymien on kuitenkin helpompi säilyttää realistinen kosketuspinta tulevaisuuden tutkimukseen. Tässä tutkielmassa keskeisenä teoriana on käytetty sovellettua skenaariotekniikkaa historiaa hyödyntäen. Myös Delfoi –tekniikka on ollut tukena.

Tutkielman perimmäisenä ajatuksena on tulevaisuuden Suomen energiatalouden kartoittaminen. Koska aiheessa liikutaan ainoastaan teorian tasolla, on tulevaisuusskenaarioiden rakentaminen hyvin spekulatiivista. Skenaarioita on rakennettu viisi erilaista, joiden taustalla ovat kansantaloudelliset, pääasiassa negatiiviset, sokit. Itse energiataloudesta löytyy aineistoa valtava määrä, mutta skenaarioajattelu polttopisteenä oli julkaisujen jäsentäminen haastavaa. Päällimmäisenä motiivina koko tutkielmalla on saada lukija ymmärtämään energiatalouden merkitys kokonaistalouden mekanismien kehityksessä sekä mieltämään aiheeseen liittyvät tulevaisuuden mahdollisuudet ja uhat.

## Sisällysluettelo

<b>1. JOHDANTO</b> .....	4
<b>2. GLOBAALIN ENERGIATALOUDEN HISTORIA</b> .....	13
<b>2.1. Öljyn vallankumous</b> .....	13
<b>2.2. Ydinvoiman aikakausi</b> .....	17
<b>2.3. Sektori monimuotoistuu</b> .....	19
<b>2.4. Suomen energiahistoria ja kehitys</b> .....	22
2.4.1. Puusta vesivoimaan .....	22
2.4.2. Teollisuuden siivillä kohti kaupungistumista .....	23
2.4.3. Kilpailun ja markkinoiden avautuminen .....	25
2.4.4. Markkinoiden evoluutio: Nord Pool .....	26
<b>3. SUOMEN TÄMÄNHETKINEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ</b> .....	29
<b>3.1. Toimintaympäristön rakenne</b> .....	29
<b>3.2. Energiatarve sektoreittain</b> .....	31
<b>3.3. Energiatuotantomuodot</b> .....	33
<b>3.4. Katse energiatalouden tulevaisuuden vaihtoehtoihin</b> .....	36
3.4.1. Aurinkoenergia .....	36
3.4.2. Tuulienergia .....	38
3.4.3. Turve .....	41
3.4.4. Maalämpö .....	43
<b>4. TUTKIMUS JA TAUSTAMAAILMA</b> .....	47
<b>4.1. Tutkimusmenetelmät</b> .....	47
4.1.1. Skenaariomenetelmä .....	48
4.1.2. Delfoi-menetelmä .....	50
4.1.3. Muita näkökulmia .....	52
<b>4.2. Taustamaailma</b> .....	54
<b>5. ENERGIATALOUDEN TULEVAISUUS JA RISKIT</b> .....	56
<b>5.1. Fossiilisten polttoaineiden romahdus</b> .....	56
<b>5.2. Euroopan disintegraatio</b> .....	58
<b>5.3. Ilmastomuutos</b> .....	60
<b>5.4. Ydinvoimasta luopuminen</b> .....	62
<b>5.5. Verotuksen kohdentaminen ja sopimukset</b> .....	64
<b>6. PÄÄTELMÄ</b> .....	66
<b>LÄHTEET:</b> .....	70
<b>LIITTEET:</b> .....	76

## 1. JOHDANTO

Fossiilisille polttoaineille rakentuva globaali energiatalous sitoo kansainväliset hyödykemarkkinat kriittisesti toisiinsa. Tuonti ja vienti ovat vahvasti riippuvaisia kattavan liikenneverkon toiminnasta, joka taas nojaa tukevasti erilaisten polttonesteiden ja –kaasujen, pääasiassa öljyn, jalostamiseen. Tämä valtava logistiikkaverkko asettaa lähestulkoon kaikki maailman taloudet toisistaan riippuvaisiksi. Fossiiliset polttoaineet, erityisesti juuri öljy, ovat sanelleet ehdot maailmanlaajuisesti jo pitkään, eikä tämän voiman edessä ole ollut helppoa valita vaihtoehtoisia ratkaisuja. Energian tasaisesti kasvava tarve asettaa kuitenkin jatkuvasti moniulotteisia paineita energiateollisuudelle keksiä uusia ohjelmia yhtäältä energian säästämiseksi ja toisaalta sen tehokkaammaksi tuottamiseksi. Helsingin energia (2010) kertoo raportissaan, että vaikka kasvuvauhti on sinällään hidastumassa, on primäärienergian kokonaiskulutus kasvamassa silti yli kolmanneksella vuoteen 2036 mennessä.

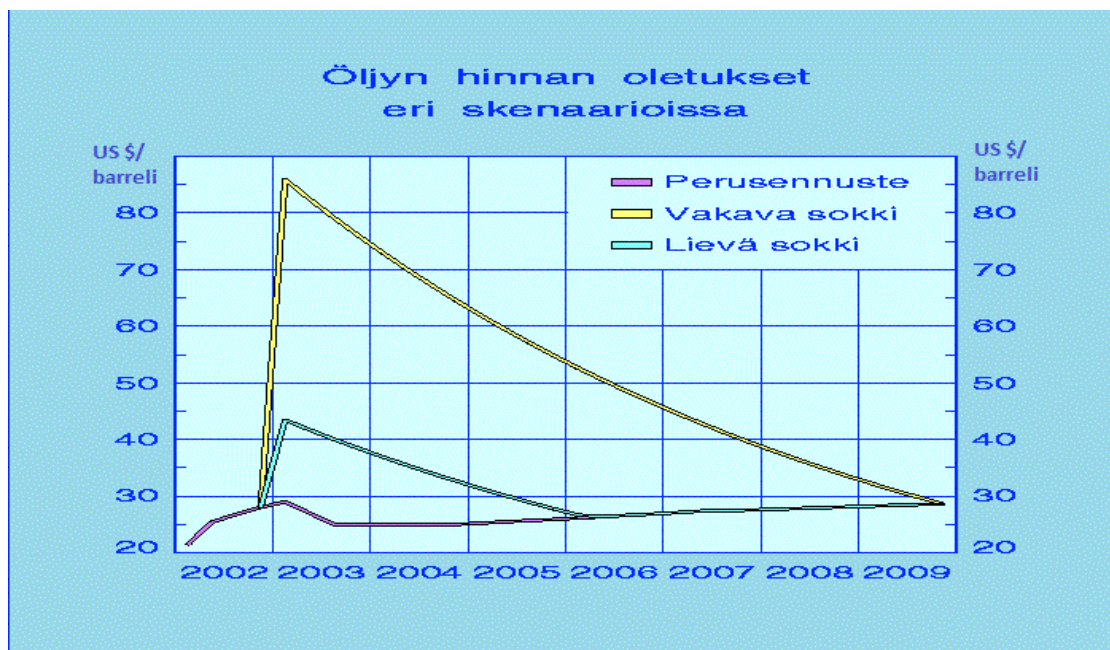
Uusien ratkaisujen käyttöönottoa vaikeuttaa radikaalisti muun muassa öljyntuottajamaiden asema, joka on niin dominoiva kehityksen kannalta, että uusien energiamuotojen implementointi tyrehtyy useasti jo kehityksen alkuvaiheessa (Roberts, 2004). Toisaalta myös niin sanotun vanhan pääoman pysyvyysvoima hidastaa muutosta entisestään. Esimerkiksi pitkäikäinen, vanhaan pääomaan sitoutunut teknologia voidaan korvata uudella teknologialla ainoastaan luonnollisen poistuman kautta. Mutta myös muut prosessit hidastavat uusien teknologioiden sisäänajoa. Investointeja käsittelevässä kirjallisuudessa nämä on usein ryhmitelty sopeutumiskustannusten alle (McFarland et al. , 2004. s. 696). Arvon aleneminen, eli käytännössä poistot, on perinteisesti pitkälinen, kymmeniä vuosia kestävä prosessi, jolloin voidaan puhua kymmenistä vuosista. Sopeutumiskustannukset aiheuttavat merkittäviä kynnyksiä päätöksille siirtyä uusiin teknologioihin.

Öljykartellit ovat oma lukunsa. Niiden voitonmaksimointikannustimet vääristävät kilpailua ja pitävät tuotannon määrää optimaalista pienempänä ja hinnat korkeampina. Öljyn hinta mitataan barreleissa, ja se on kasvanut huomattavasti keskimääräistä inflaatiota nopeammin viimeisen 40 vuoden aikana, mikä osoittaa, että raaka-aineesta on paitsi niukkuudesta johtuvaa ylikysyntää myös taloudellisten voittojen

maksimoinnista johtuvaa tuotannollista rajoittuneisuutta. Osaltaan tästä kertoo myös se, että öljyntuottajamaiden (OPEC) tuotantoa koskevaa informaatiota on vaikeasti saatavilla, eikä keskusteluyhteys niiden ja teollisuusmaiden välillä toimi optimaalisesti. Mouawad (2008) toteaaakin, että öljyntuottajamaat ovat olleet joustamattomia, eikä niiden keskinäinen kokoustaminen ongelman edessä ole ollut tehokasta, erityisesti vuoden 2008 finanssikriisin aikana.

Historiallisesti on ollut huomattava etu sijoittajien kannalta, että öljyn määrän spekuloidaan loppuvan tietyllä tuottoisalla aikavälillä, jolloin hintakehitystä on ollut mahdollista manipuloida suuremman tuoton toivossa. Tunnetut öljyvarat riittänevät 35 – 40 vuodeksi, joskin paljon tätä ennen tapahtuu merkittäviä hinnannousuja (Asplund et al., 2005, s. 39). Krugmanin (2008) mukaan viime aikojen öljyn hinnannousu ei kuitenkaan enää johdu sijoittajien toimista vaan talouden rakenteiden fundamenttien muutoksista: öljyn löytäminen on vaikeutunut ja kehittyvät taloudet ovat kasvaneet nopeasti.

De Carvalho et al. (2002) esittää tulevasta kehityksestä kolme eri skenaariota. Kuvion (1) kymmenen vuoden takaisen näkemyksen mukaan vakava sokki esimerkiksi tuotannollisista syistä saattaa kohottaa öljybarrelin hintaa jopa 85 \$:n tasolle. Lakonisesti voidaan todeta, että vuoden 2012 keskiarvohinta oli noin 95 \$.



Kuva 1: öljyn hinnan kehitys eri skenaarioissa (De Carvalho et al. 2002)

Kaikesta päätellen fossiilisten polttoaineiden käyttö joka tapauksessa kulkee kohti loppuaan. Tämän epäsuotuisan kehityksen aikaparametreista on mahdollista tehdä arvioita, mutta totuutta ei luonnollisestikaan tiedä kukaan. Se, kuinka riskialtista on olla riippuvainen tällaisesta tilanteesta, on myös arvailun varassa. Varsin realistista on kuitenkin olettaa, että fossiilisten polttoaineiden ohjaamat energian kustannukset nousevat suhteessa muihin sektoreihin, ja näin ollen yksittäiset taloudet kohtaavat yhä rajoittuneempia kulutusmahdollisuuksia. Tällainen luonnollisesti voi sekoittaa talouden perinteisiä rakenteita voimakkaastikin.

Erilaiset energiatuet ovat tasoittaneet ongelmien kasautumista, ja etenkin kulutuksen heilahteluja. Tutkimukset osoittavat, että tukien pienentäminen energiasektorilla vähentää hyvinvointia taloudellisen aktiviteetin lomaantuessa korkeampien kustannuksien takia. Dhawan et al. (2006) ovat päätyneet historiaa peilaavassa tutkimuksessaan siihen, että energian hintasokit eivät kuitenkaan olisi merkittävä talouden heilahteluja aiheuttava tekijä. Tällainen johtopäätös taas saattaa aiheuttaa harhaisuutta tulevaisuuden tutkimuksessa. On ymmärrettävä sokkien ja toisaalta resurssien kiihtyvän niukkenemisen ero. Energiakustannusten tasainen reaalin kasvu saattaa piiloutua sokkien taakse, jolloin relevanttien signaalien havaitseminen hankaloituu. Energian tuotanto ja kulutus eivät ole käytännössä nollasummapelejä, vaan kulutus yrittää horjuttaa tasapainoa jatkuvasti epästabiiliksi.

Suomen rooli tässä yhtälössä on pääasiassa ollut olla energian netto-ostaja; puhtaasti kansallinen omavaraisuus ei ole ollut mahdollista. Kylmästä ja pimeästä talvesta johtuen lämmityskustannukset ovat kriittisessä asemassa energian käytön suhteen, ja karut olosuhteet rajoittavat itsenäistä energiantuotantoa omalta osaltaan. Toisaalta esimerkiksi turvetta Suomessa riittäisi pitkäksi ajaksi, mutta poliittisilla päätöksillä sen käyttö on kielletty uusiutumattoman ominaisuutensa takia. Merkittävän ristiriitaista tässä on se, että turve saastuttaa ilmakehää vähemmän kuin öljy, ja sen hyötysuhde on samaa luokkaa. Tämäkin kertonee öljyn vahvasta asemasta globaalissa energiakeskustelussa.

Olisiko sitten energiaomavaraisuudesta todellista hyötyä? Kysymys on monitahoinen. Suomen historian tuntien asian pohdinta on relevanttia ensinnäkin poliittisessa mielessä. Muun muassa Venäjältä tuotava maakaasu turvaa toistaiseksi

energiantarvettamme, mutta poliittisesti epävakasta itänaapuristamme, missä valta on miltei huolestuttavasti pirstaloitunut, on syytä olla aina arvioiva näkökulma.

Ekologinen aspekti taas pitää sisällään luonnollisesti ilman saastumisen ja luonnon kuluttamisen. On esimerkiksi moraalisesti verrattain vaikea kysymys, uhratako lyhyen sadonkorjuun maassa viljelysmaiden käyttö energian vai elintarviketuotantoon. Kestävä kehitys on ollut parin viime vuosikymmenen teema, ja entisestään vahvistuvana arvona sen nähdään olevan keskeisenä johtoajatuksena tulevaisuuden energiapolitiikassa. Konkreettisenä ilmiönä on havaittavissa päätösten seurausten aikajänteen hallinta. Tässä yhteydessä voidaan myös puhua vastuun syvenemisestä, kun arvoperustaksi on valittu seuraavien sukupolvien elinolosuhteet. Tämän päivän hyöty ei voi olla huomispäivän saaste.

Taloudellisesti ongelma on kaiketi kaikkein hankalin. Vaihtoehtoiskustannusten analysointi ja vertaileminen ovat avainasemassa. Investoinnit erilaisiin keskeneräisiin ja toistaiseksi tehottomiin energiateknologiaratkaisuihin ovat hyvin riskialttiita, mikä asettaa merkittäviä haasteita erilaisille päätöksille. Voidaan puhua parhaimmillaan hyvin pitkän aikavälin vaikutuksista, niin pitkän, että ne realisoituvat vasta sukupolvien kuluttua. Hyvänä esimerkkinä tästä on Suomen viimeaikaiset ratkaisut koskien ydinvoimaa. Ydinvoiman kiistattomia etuja ovat sen massiivinen energiatuotto ja sen ilmastoystävällisyys lyhyellä aikavälillä, mutta ydinjätteen puoliintumisajan pitkäkestoisuus tekee sen mahdollisista haitoista täysin tuntemattomia. Puhutaan sadoista tuhansista vuosista, jolloin ennusteita on täysin mahdotonta tehdä. Kuriositeettina mainittakoon, että muun muassa Saksassa on tehty vähintäänkin kyseenalaisia päätöksiä siirtyä osittain takaisin kivihiilen käyttöön energiantuotannossa. Kyseisen energiamuodon saastuttaminen on historian valossa ollut hyvinkin haitallista, ja sen kehittyneisyyttä pidetään vanhanaikaisena. Huomionarvoista toki on, että ongelmat pysyvät verrattain lyhyen aikavälin haasteina, jolloin niiden hallitseminen voi olla mahdollista.

Mikäli talouskasvu nähdään keskeisenä hyvinvoinnin lisääntymisen moottorina myös tulevaisuudessa, on energiaa yksinkertaisesti oltava saatavilla. Energian substituu-tit tuotannossa ovat hyvin rajoittuneet, jolloin menneet investoinnit voidaan laskea uponneiksi kustannuksiksi. Pitkällä aikavälillä tuotannossa kuitenkin esiintyy

substituutteja energialle, mikä tukee ajatusta energian hinnan pelättyä pienemmästä vaikutuksesta talouskasvuun. (European central bank, 2010, s. 84.) Stern (2010) toteaa tutkimuksessaan, että vaikka energian kulutusta yhtä tuotettua hyödykeyksikköä kohti on pystytty merkittävästi alentamaan, on energian rooli talouskasvun jatkumossa edelleen tärkeä. Tuotanto on pääasiassa pääoman, työvoiman ja energian funktio. Bretschger (2006) havainnoi, että energian hinta vaikuttaa talouskasvuun eri tavalla eri kanavien kautta. Hän jäsentää neljä eri kanavaa: fyysinen, inhimillinen, rahallinen ja tiedollinen kanava. Huomionarvoista on, että kehittyneissä maissa vuosien 1975-1999 välillä ei ole pystytty osoittamaan, että korkea energian hinta olisi hidastanut pitkän aikavälin kasvua. Mutta, kuten myöhemmin käy ilmi, juuri vuoden 1999 jälkeen öljyn hinta on lähtenyt räjähtävään kasvuun, joten vaikutussuhteilla on selkeitä paineita muutokseen.

Tästä kaikesta on osoituksena se, että bruttokansantuotteen suhteen mitattuna energian aiheuttama kustannusosuus tuotannossa on pienentynyt energiaintensiivisten kehitystoimenpiteiden seurauksena. Muun muassa polttoaineista on kyetty jalostamaan laadukkaampia versioita, ja tekniset innovaatiot ovat tehostaneet energian hyödyntämistä pienemmällä kulutuksella. Suunta on siis oikea, mutta kulutuksen kasvu vaatii tulevaisuudessa yhä kekseliäämpiä ja mullistavampia ideoita niukkuusongelman ratkaisemiseksi.

Tämän tutkielman tarkoituksena on rakentaa skenaarioita niistä talousmaailman kustannus- ja tuotantorakennetiloista, jotka mahdollisesti ilmenevät tulevaisuudessa eri energiasektoreilla. Näkökulmasta riippuen voidaan puhua myös riskeistä. Riskien realisoituminen on poikkeuksetta negatiivinen ilmiö, joten tutkimuksen etenemistä sävyttää tietoinen pessimismi: miten varautua negatiivisiin sokkeihin. Positiivisten vaikutteiden mahdollisuus on toki olemassa, mutta niiden ennustaminen on huomattavasti vaikeampaa, koska muun muassa kovin laajaa empiriaa tällaisista ei maailman historia tunne. Energiatalous on kokenut muutaman merkittävän evolutiivisen kehitysaskelen, mutta varsinaisia sokki-ilmiöitä ei positiivisen kehityksen tiellä juuri ole ollut. Tulevaisuuden energiaratkaisut nojaavat enemmän teknisiin ratkaisuihin kuin luonnonvarojen hyväksikäyttöön, mikä tekee ennustettavuuden haastavammaksi.



Tämän hetken tuotanto-olot ja sitä kautta energian tarjonta ovat verrattain staattiset, joten mahdollisia muutoksia voidaan katsoa tulevan pääasiassa sektorin ulkopuolelta, unohtamatta kuitenkin esimerkiksi energiatoimialan teknistä kehitystä. Globaalissa maailman tilanteessa taas ei todellakaan voi puhua staattisuudesta: pelkästään taluskriisin lieveilmiöinä on muodostunut esimerkiksi poliittisia, sosiaalisia, institutionaalisia ja jopa sotilaallisia ongelmia. Kuitenkin on väistämätöntä, että energiantarve lisääntyy, ja tuotannon on siten pysyttävä kehityksessä mukana. Mitä enemmän, esimerkiksi Suomi valtiona, joutuu ostamaan energiaa ulkopuolelta, sitä epävarmemmiksi talouden rakenteet muuttuvat ajan kuluessa ja sitä epävarmemmaksi mainittu energiatalouden staattisuus muodostuu. Varsinaisesti työssä ei oteta kantaa siihen, tulisiko Suomen olla täysin riippumaton energian tuonnista vai ei, vaan enemmänkin rakentaa malleja eri optioista kohti edullisempaa ja toimivampaa energiayhteiskuntaa realististen odotusten puitteissa.

Tausta-ajatuksena tutkielmassa on se lähtökohta, että liiallinen riippuvaisuus välttämättömyyshyödykkeestä, kuten energia, on erilaisten mahdollisten kriisien tapahtuessa epäsuotavaa. Tarpeiden näkökulmasta jaon voisi tehdä välttämättömiin eli ensisijaisiin ja toisarvoisiin tarpeisiin. Mahdollisten makrotaloudellisten kriisien sivuuttaminen voisi tässä yhteydessä olla kohtalokasta; maailman turbulenttinen tila niin ilmastollisessa, poliittisessa kuin taloudellisessakin mielessä on osoittanut, kuinka haavoittuvaisia yksittäiset mikrotaloudet ovat olleet vakavien häiriöiden kohdatessa. Anekdootina mainittakoon, että vuoden 2012 alussa Suomessa riehuneet talvimyrskyt katkaisivat sähkön sadoiltatuhansilta kotitalouksilta, joista suuri osa oli ilman sähköä yli kaksi viikkoa. Monille tilanne oli lamauttava, ja aiheutuneet kustannukset olivat mittavat sekä sähkö- että vakuutusyhtiöille.

Lähden tutkielmassani liikkeelle tarpeesta, ja tarkoituksena on eritellä kohteita yhtäältä jonkinnäköisen arvojärjestyksen perusteella ja toisaalta toimialojen mukaan. Punaisena lankana tutkimuksen edetessä on idea peilata ongelmakohtia ikään kuin jatkuvana kustannusparametrina. Kansantaloustieteessä hyvin yleisenä käytäntönä toimiva 'ceteris baribus' eli 'muiden asioiden säilyessä ennallaan' on leimallista myös tässä työssä. Muuttuvat tekijät saattavat tästä huolimatta olla hyvin merkittäviä.

Vaikka energiatalous perustuukin paljolti öljyn olemassaoloon, tässä tutkielmassa ei perehdytä kuin ohimennen liikennesektoriin, joka on funktionaalisesti tärkein sektori öljyn tuotannon taustalla. Syynä tähän on se, että eri kuljetusmuotojen energialähteille ei vielä tällä hetkellä ole olemassakaan realistisia vaihtoehtoja; koko ala pyörii vielä vahvasti fossiilisten polttoaineiden sanelemana, eikä siten tutkimuskohde ole sinällään mielekäs. Investointienkin näkökulmasta Suomi, monen muun maan tavoin, on tässä tilanteessa ottavassa roolissa, eikä näin ollen vaikutusmahdollisuuksia rakenteiden muuttamiseksi juuri ole. Muun muassa sähköautoista on kyllä puhuttu paljon viime aikoina, mutta niiden energiatarpeen taustat kytkeytyvät vahvasti teolliseen energiatuotantoon, tässä tapauksessa suuriin voimalaitoksiin, kuten ydinvoimaan Suomen tapauksessa. Sähköautojen mahdollinen markkinavaltaus on vuosikymmenien päässä, jos silloinkaan, ja siinä ajassa energiantuotantorakenteet ovat todennäköisesti muuttuneet radikaalisti, mikä todennäköisesti aiheuttaisi ylitsepääsemättömiä ongelmia asian spekuloidessa. Kaiken kaikkiaan öljyn dominanssi maailman energiatalouden veturina on silti ymmärrettävä, jotta koko energia-aiheeseen on mahdollista perehtyä muilta osin, ja tämän tosiasian huomioimatta jättäminen olisi mitä todennäköisimmin kohtalokasta. Yksi skenaarioista joka tapauksessa huomioi radikaalin muutoksen fossiilisten polttoaineiden tuotannossa, eikä öljyn vääjämätöntä kallistumista ole sivuutettu lainkaan muissakaan skenaarioissa.

Minkälaisista ongelmista sitten on kyse? Koko globaali energiatalous taistelee aikaa vastaan saman ongelman kanssa: jatkuvasti voimistuva niukkuus. Kyseisen ongelman parametrit ovat käytännössä tehokkuus (energiälähteen teho) ja kustannukset. Näiden kahden kombinatorinen tavoite on luonnollisesti saada aikaan jonkinasteinen mahdollisimman hyvä käännteinen suhde. Nykyhetken käytetyt ratkaisut ovat toistaiseksi toimivia, mutta niihin liittyvät negatiiviset ilmiöt pakottavat ajattelemaan uudella tavalla. Vaihtoehtoja on, mutta niiden käytettävyys kohtaa niin tehokkuus- ja kustannus- kuin institutionaalisiakin rajoitteita.

Tulevaisuuden skenaarioita hahmottaessa on tärkeää löytää oikeat kysymykset. Tavoiteasettelun mukaisesti kysymysmerkit tulisi rakentaa energiakustannusten ympärille, jolloin olisi mahdollista nähdä etukäteen millaiseksi suomalainen ja pohjoismainen yhteiskunta on mahdollisesti muodostumassa energiataloutensa

suhteen. Tarkoituksena on rakentaa eri skenaarioita, jotka osaltaan hahmottavat energiatarpeen kehityksen ja toisaalta kustannusten muutoksen enintään keskipitkän ajan tähtäimellä muuttuvan ympäristön puristuksessa. Näiden tavoitteiden pohjalta tutkimuskysymykseksi muodostui:

*Millainen on energiatalouden keskipitkän aikavälin tuotanto- ja kustannusrakenteen kehitys tulevaisuudessa Suomessa ja mitkä vaikutukset sillä voi olla?*

Alakysymyksiksi muodostuivat:

*Millainen on energiatarpeen kehitys Suomessa?*

*Mikä potentiaali energiataloudella Suomessa on?*

Koko tutkielman perusideana on rakentaa maltillisesti työkaluja tulevaisuutta koskevaa ajatustyötä varten. Luvussa 2 käydään muun muassa ylimalkaisen kattavasti läpi koko maailman teollistuneesta aikakaudesta liikkeelle lähtenyt energiatalouden kehitys. Lisäksi samaisessa luvussa siirretään tarkennusta vähitellen sisäänpäin ja valotetaan Suomen energiahistoriaa, josta helposti päästään käsittelemään energiemarkkinoiden kehitystä ja toimintaa.

Luvussa 3 siirrytään yhä tarkempiin yksityiskohtiin ja luodaan tietopohjaa Suomen tämänhetkisen toimintaympäristön ymmärtämiselle. Ideana on pilkkoa kokonaisuuksia muun muassa funktionaalisten sektoreiden mukaan ja tutkia eri tuotantomuotoja ja –mahdollisuuksia. Tässä luvussa toisaalta joudutaan myös laajentamaan käsitteistöä, koska vallalla olevaa yhteispohjoismaalaista energiajärjestelmää on mielekästä ja järkevää käsitellä kokonaisuutena. Markkinoiden yksi määritelmällinen piirre on luonnollisesti hinnan muodostuminen, ja kiinnostuksen kohteena on myös sen taustalla olevat tekijätkin sekä ympäriltä iskevät, odottamattomat sokit.

Luvussa 4 käsitellään aluksi työssä käytetyt tutkimusmenetelmät. Keskiön muodostavat skenaario- ja Delfoi-tekniikat. Lisäksi muodostetaan niin sanottu taustamaailma tulevaisuuden energiatalouden skenaarioille. Esille olisi mahdollista

nostaa tuhansia muuttujia, jotka vaikuttavat energia-alaan, mutta tarkoitus olisi löytää signaaleja merkityksellisistä tekijöistä ympäröivässä maailmassa. Joitakin tekijöitä käsitellään riippumatta tulevaisuuspolusta, kuten esimerkiksi väestön kasvu ja väestön ikääntyminen. Muitakin megatrendejä otetaan ikään kuin valmiiksi annettuina, kuten Kiinan voimistuminen talousmaailmassa ja liike-elämän globalisoituminen. Toisaalta joissakin hahmotelluissa tulevaisuuspoluissa muutostekijöiden arvellaan vaikuttavan näihinkin pysyviksi miellettyihin instituutioihin.

Luvussa 5 on vihdoinkin sisällytettyinä kaikki ne merkittävät skenaariot, jotka tämän hetken maailman tila huomioon ottaen ovat realistisia kehityspolkuja. Tarkoituksena on hyödyntää edellisten lukujen rakennuspalikoita, joita analysoimalla voidaan rakentaa erilaisia tulevaisuuden kuvia. Kaikissa vaihtoehdoissa on energianäkökulmasta perusoletuksena öljyn reaalin kallistuminen ja sen tuomat vaikutukset. Muutoin skenaariot on luotu verrattain isojen ulkopuolisten sokkien tai muuten merkittävien muutosvoimien, megatrendien, ohjaamina. Kunkin skenaarion aikajänne ulottuu noin 30 vuoden päähän, johon mennessä mahdollisten isojen muutosten voidaan katsoa tapahtuneen realistisessa valossa. Jokaisen lopussa esitetään myös energiatalouden otaksuttu tila sillä hetkellä. Niin ikään eri skenaarioissa tutustutaan vielä tarkemmin erittäin tärkeisiin ja vaikutusvaltaisiin kansantaloudellisiin ilmiöihin, joiden avulla on mahdollista entistä paremmin ymmärtää makrotaloudellisia mekanismeja, ja niiden vaikutussuhteita energiatalouteen ja yksittäisiin sektoreihin ylipäänsä. Esimerkiksi veropäätöksiin luodut kannustimet ohjaavat erityisesti juuri energiasektoria, eikä toisaalta tukien vaikutustakaan ole vähäinen. Lisäksi inflaation olemassaolo on tärkeä ymmärtää, koska sen vaikutusalue ylettyy kaikkialle, missä raha liikkuu, ja energiatalous tunnetusti kierrättää vuositasolla satoja miljardeja euroja globaalisti. Erityisesti tarjontainflaatio on ilmiönä sellainen, jonka mahdollinen realisoituminen on tärkeä ymmärtää. Tuotantokustannusten noususta johtuva hintojen nousu asettaa talouden erittäin vaikeaan tilanteeseen, ja jos kyseessä on energian kaltainen, kaikkia agentteja koskettava komponentti, on ongelma makrotaloudellinen.

## 2. GLOBAALIN ENERGIATALOUDEN HISTORIA

### 2.1. Öljyn vallankumous

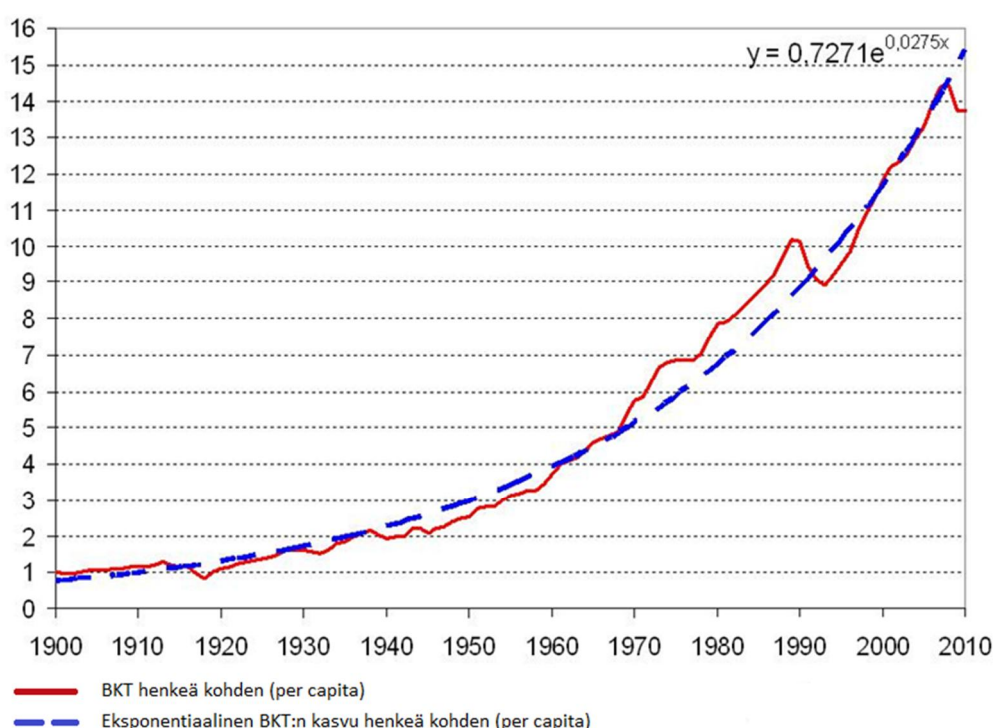
Teollisen vallankumouksen jälkeisestä talouskasvusta suuri ansio kuuluu öljylle ja muille fossiilisille polttoaineille kivihielelle ja maakaasulle (Hoffrén 2006, s. 5). Kyseinen ajankohta sijoittuu noin 1860-luvulle, jolloin ensimmäiset öljykentät valjastettiin osaksi systemaattista energiantuotantoprosessia. Kuriositeettina mainittakoon, että ensimmäinen öljykaivokseksi luonnehdittava yritys perustettiin Puolaan 1852, paikallisen Ignacy Lukasiewiczin keksittyä öljyn tislauksen, joka mahdollistaa öljyn hyödyntämisen polttoaineena.

Alkuvuosikymmenet öljyn hyödyntämisen historiassa olivat luonnollisesti melko epästabiilit investointien hajanaisuuden ja käytettävissä olevan teknologian yksilösidonnaisuuden takia. Muun muassa kysyntää indikoiva hinta heittelehti teollisen kehityksen alkuvaiheessa melko voimakkaasti kivuten kysynnän kasvaessa muutaman tahmean vuoden jälkeen monopolihinnan tyyppiselle korkealle tasolle. British Petroleumin tilastoista (BP 2012, Crude oil prices 1861-2010) huomataan, kuinka vuosina 1861-64 öljytynnyrin nimellinen hinta 16-kertaistui, mistä voidaan helposti päätellä tarjonnan ja kysynnän välille kehittyneen voimakkaan epätasapainon. Korkeiden monopolihintojen pitäminen oli mahdollista, koska koko toimiala oli vain muutaman tuottajan hallussa. Tilastossa on myös laskettuna reaalin hinta suhteutettuna niin sanottuun perusvuoteen 2010, mikä paljastaa hinnan todellakin kivunneen kyseisinä vuosina huomattavasti yleistä hintatason nousua kuvaavaa inflaatiota nopeammin, noin 10-kertaiseksi.

Tilasto näyttää paljastavan muitakin kiinnostavia ilmiöitä paitsi öljytoimialan kehityksestä, myös sen vaikutuksista koko teollistuvan maailman talouteen. Vuodesta 1880 lähtien öljyn tuotanto mitä ilmeisimmin oli laajentunut useiden tuottajien operoimaksi, ja öljytynnyrin nimellinen hinta pysyikin hämmästyttävän tasaisena aina 1940-luvulle saakka. Yli puolen vuosisadan pituinen tasaisen hintatason ajanjakso kielii vahvasti siitä, että raaka-aineen saantimahdollisuudet nähtiin rajattomina eikä minkäänlaisia operatiivisia pullonkauloja ollut vielä näköpiirissä. Käytännössä

investoiminen öljyn poraamiseen oli lainarahan hinnasta riippumatonta, joten se nähtiin niin kannattavana, että kysynnän hintajousto velkarahalle läheni nollaa. Taustalla on tietysti se tosiasia, että lainarahaa ei ollut kaikille halukkaille tarjolla muun muassa pankkisektorin alkeellisuuden takia.

Kokonaistalouden kasvulle ja kehitykselle tilanne oli kaikesta huolimatta mitä otollisin: uutta, aikakauteen nähden teholtaan voittamatonta energiaa oli saatavilla rajattomasti ja edulliseen hintaan, mikä edesauttoi teollisen vallankumouksen vahvaan alkuun. Ainoina pieninä notkahduksina tänä aikakautena voidaan nähdä ensimmäinen maailmansota 1910-luvun lopussa ja Yhdysvaltain lama 1920-30 -lukujen taitteessa. Vaikka globalisaatio on terminä verrattain uusi, on selkeästi nähtävissä suhdanteiden muuttumisen vaikutukset tapahtumaketjuna maailmanlaajuisesti jo yli sadan vuoden ajalta. Luonnollisesti maailmansodat ovat vaikuttaneet kauttaaltaan koko ihmiskuntaan, mutta niin ikään edellä mainittu syvä lama on nähtävillä myös Suomen bruttokansatuotetilastoissa hillitsevänä voimana.



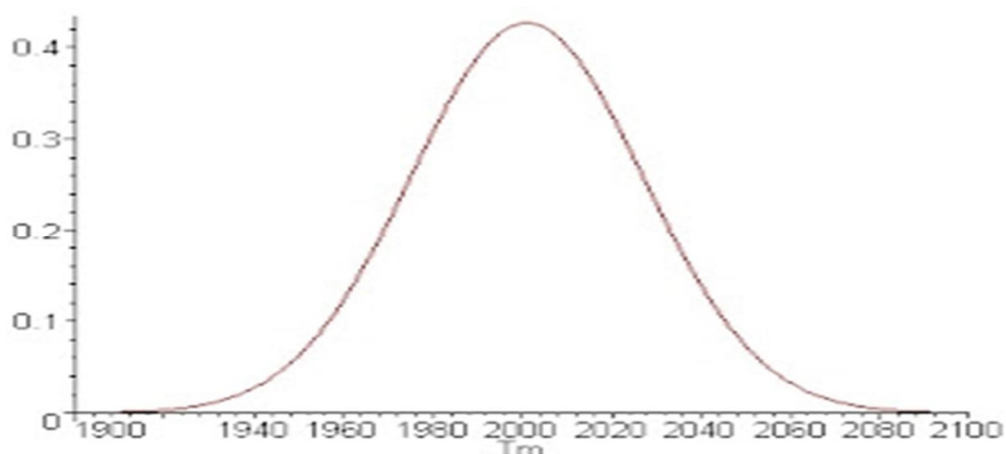
KUVIO 2: Suomen BKT henkeä kohden (Pohjola, 2008).

Kuviossa 2 (Pohjola, 2008) havainnollistetaan Suomen bruttokansantuotetta vuosina 1900-2010 suhteutettuna perusvuoteen 1900, jota merkitään ykkösellä (1). Kuten mainittua, globaaleista vaikutteista aiheutuneet notkahdukset voidaan havaita kuvaajasta, vaikka trendi onkin selkeästi kasvava pitkällä aikavälillä. Erityisesti Suomea koetellut lama 1990-luvun alussa näkyy BKT:n voimakkaana alentumisena, ja samaan aikaan myös öljyn tynnyrihintaa dollareissa kääntyi laskuun. Tämä on nähtävissä edelleen julkaistuissa tilastoissa (British Petroleum, 2012, Oil: crude oil prices 1861-2010): reaalihintaa laski vuosina 1990-94. Samasta tilastosta on nähtävissä viime aikojen hätkähdyttävä hintakehitys: 2000-luvulla öljyn hinnan kehitys on ollut nopeinta historiassa. Esimerkiksi vuodesta 1998 vuoteen 2010 on öljytynnyrin reaalihintaa viisinkertaistunut. Vuosittain nousua on ollut parhaimmillaan noin 30 %, ja pienimmätkin hinnankohoamiset ovat olleet 10 %:n luokkaa, tosin esimerkiksi vuoden 2008 tapahtunut maailman finanssikriisi luonnollisesti pudotti öljyn hintaa. Ying et al. (2011, s. 1082) valaisevat ilmiötä artikkelissaan todeten, että öljystä itsestään on tullut sijoituskohde ja että sen ympärille on rakentunut järjestelmä, jonka tunnusmerkkeinä on kaikki ne elementit, jotka esiintyvät myös arvopaperimarkkinoilla.

Maailmanlaajuinen petrolin tarjonta ja kysyntä olivat karkeasti yhtä suuret vuoden 2000 jälkeen, ja itse asiassa tarjonta oli jopa kysyntää hieman korkeampi. Sen takia öljyn hetkellinen hinta ei enää määrity yksinkertaisesti perinteisten tarjonta- ja kysyntäfundamenttien mukaan, vaan monien tekijöiden ansiosta rahoituskonseptina (Ying et al. , 2011, s. 1082.) Kaikesta päätellen uusi vuosituhat on konkretisoitunut sen väistämättömän tosiasian, että öljyyn nojaava talous tulee kohtaamaan jollakin jopa melko lyhyehköllä aikavälillä fataaleja ongelmia, mikäli energiarakennetta ei kyetä radikaalisti muuttamaan.

Öljyhuipputeorian eli Hubbertin teorian mukaan öljyntuotantokuippu (engl. Oil peak) saavutetaan, kun 50 prosenttia öljyvarannoista on hyödynnetty (Hoffrén, 2006, s. 7). Tällä tarkoitetaan käytännössä sitä, että 50% öljykenttien resursseista on helppo saada talteen oman paineensa ansiosta, mutta tämän jälkeen sen pumppaaminen kallistuu kiihtyvässä tahdissa. Vaikka Hubbertin teoria perustuu käytännössä teknisen tuotantokyvyn tarkasteluun, voidaan tässä yhteydessä huoletta puhua myös kansantaloustieteen klassiselle teorialle tutuista kasvavista rajakustannuksista, joiden väistämättömänä seurauksena myös hinnat lähtevät jyrkkenevään nousuun. Liitteessä

1 tarkastellaan Hubbertin teoriaa tarkemmin taloudellisesta näkökulmasta. Öljyn teoreettista tuotantohuippua on ollut silti hyvin vaikeaa arvioida, koska maailman öljyvarat ovat tuntemattomat eivätkä öljyntuottajamaat halua julkaista tietojaan.



KUVIO 3: Hubbertin käyrä (Reynés et al., 2010).

Kuviossa 3 (Reynés et al., 2010) on havainnollistettu Hubbertin käyrä ajan funktiona. Merkillepantavaa on se, että tuotantohuippu eli puolet öljykenttien varannoista (0.5 pystyakselilla) saavutetaan useiden laskelmien mukaan vuosien 2010-2020 tienoilla eli globaali talous on tähän teoriaan nojautuen öljyntuotannon maksimiarvossaan tällä aikaperiodilla. Tähän mennessä julkaistut tuotantoluvut tosin paljastavat karusti sen, että on hyvin mahdollista, että tuotantohuippu on jo saavutettu. Yhdysvaltojen energia- viranomaisen, Energy Information Administration, (EIA) (2012) tilastot kertovat, että raakaöljyn tuotanto on ollut historiansa korkeimmassa arvossaan vuonna 2005, eikä tämän jälkeen ole päästy samanlaisiin lukemiin. Kuukausiarvoina tuotantopiikit on saavutettu heinäkuussa 2008 ja toukokuussa 2005 lähes samansuuruisina.

Mielenkiintoista on, että eri instituutioiden laatimat ennustukset öljyn tuotannon kehittymisestä eroavat toisistaan huomattavasti. Karkean jaottelun voisi tehdä yhdysvaltalaisen ja muiden tahojen välille edellisten ollessa hyvinkin optimistisia arvioissaan, kun taas jälkimmäiset ovat pysyneet realistisemmissa ja siten uskottavammassa tuotantomäärissä. Muun muassa EIA, joka on Yhdysvaltain



energiaministeriön hallinnon alainen tiedonvälityselin, ei käsittele katsauksissaan öljyhuippuilmioita lainkaan, mikä kielii kaikesta siitä, että organisaatio on jäävi käsittelemään asiaa objektiivisesti oman maan tulevaisuuden talousintressien vuoksi. Ilmiselvää kuitenkin on, että siinä missä öljyn aikakauden alku tunnetaan tarkasti, myös sen lopusta alkaa olla vahvoja enteitä.

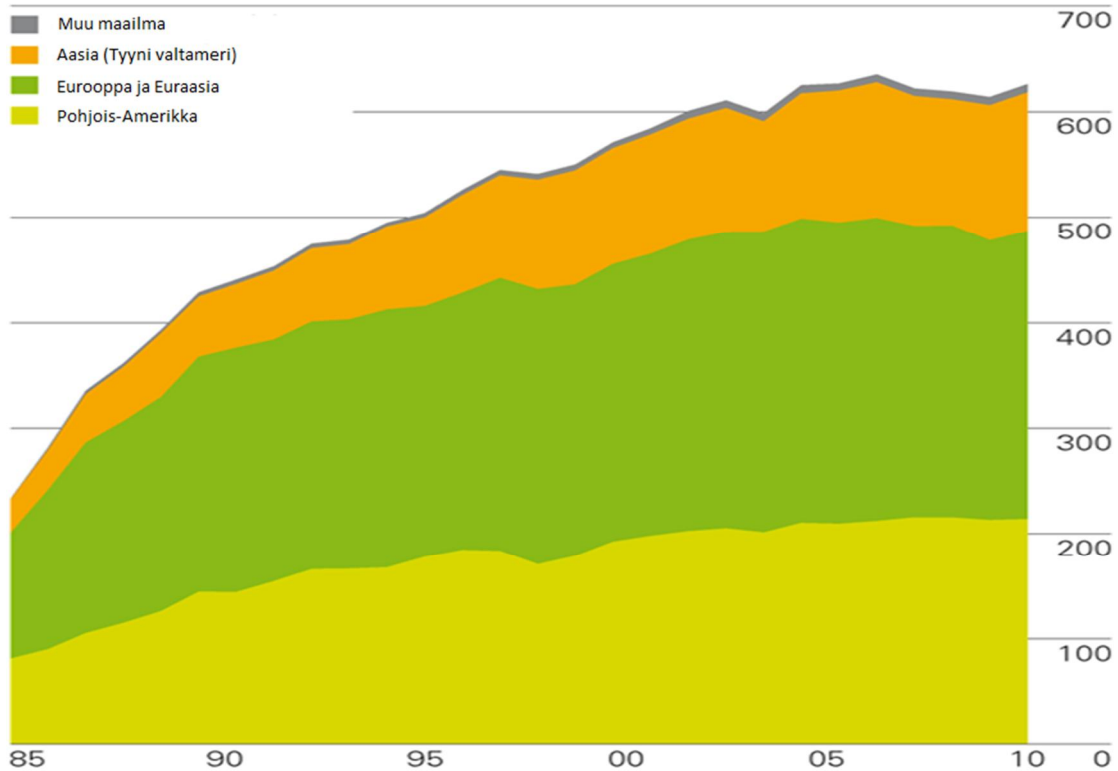
## **2.2. Ydinvoiman aikakausi**

Maailman talouden kehityksen kannalta toinen merkittävä energiakehityksen virstanpylväs oli ydinvoiman keksiminen, toisin sanoen fissioenergian valjastaminen vuonna 1939. Cantelon et al. (1984, s. 2) toteavat, että atomi kyettiin halkaisemaan ensimmäisen kerran vuonna 1939 Berliinissä saksalaisten tiedemiesten toimesta. Tosin kyseinen tiede nojasi vahvasti sotateollisuuden vaatimuksiin, eikä sen potentiaalia kyetty hyödyntämään energiateollisuudessa vielä pariin vuosikymmeneen. Fossiilisten polttoaineiden kallistumisella ja ydinvoiman lisääntymisellä varsinkin alkuvuosinaan on nähtävissä selvä korrelaatio. Lisäksi ilmastonmuutoksen kiihtyminen on lisännyt osaltaan kiinnostusta hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta sinänsä saasteetonta vaihtoehtoa kohtaan.

Erityisen vahva indikaatio, korkea kysynnän ristijousto eli ydinvoiman kysynnän prosentuaalinen muutos suhteutettuna öljyn hinnan prosentuaaliseen muutokseen, ilmeni ensimmäisen öljykriisin aikaan 1970-luvun alussa, jolloin ydinvoimaloiden rakentaminen sai vahvan sysäyksen. Tämä luonnollisesti tarkoitti ydinvoiman tuottamisen raaka-aineena käytettävän luonnonuraanin kysynnän kasvua ja näin ollen sen hinnan nousua. Uraanin tuotanto on kuitenkin kokenut voimakkaitakin vaihteluita kysynnän turbulentsisuuden takia, minkä taustalla on ollut lähinnä huoli ydinkäytön ja sen seurauksena aiheutuneen jätteen varastoimisen turvallisuudesta. Asian arkaluontoisuudesta kertoo se tosiasia, että ongelma on yhä edelleen esillä erinäisissä forumeissa eikä yhteistä konsensusta tunnu helposti löytyvän. Tätä aihetta tarkastellaan lisää luvussa 2.3.

## YDINVOIMAN KULUTUS ALUEITTAIN

Yksikkö: miljoona öljytonnia



Maaillan ydinvoimatuotanto kasvoi 2% vuonna 2010. Melkein kaksikolmasosa (2/3) kasvusta tapahtui Euroopan ja Euraasian alueella Ranskan ollessa suurin yksittäinen valtio, jossa lisäkasvua tapahtui.

**KUVIO 4: Ydinsähkön kulutus maailmassa 1985-2010, Mtoe (lähde: BP 2011).**

Kuviossa 4 on esitetty ydinvoimasähkön kulutuksen kehitys vuosien 1985 ja 2010 välillä yhteismitalliseksi öljy-yksiköksi (Mtoe, million tonnes oil equivalent) muutettuna. Huomattavaa on, että suurin suhteellinen kasvu kyseisellä ajanjaksolla on tapahtunut Aasiassa ja Tyynenmeren alueella. Tämä ei sikäli yllätä, että Kiinan talouskasvu on ollut 20 viime vuoden aikana muuta maailmaa selvästi kiivaampaa, ja talouskasvulla on perinteisesti ollut vahva side energiankysynnän kasvun kanssa, etenkin kehittyvissä kansantalouksissa. Kehittyvät taloudet, suunnannäyttäjinä Kiina ja Intia, ajavat globaalia energian kysyntää yhä korkeammalle (IEA 2010). Tämä näkyy kauttaaltaan koko energiakartalla, eikä ydinvoima ole poikkeus. Eri arviot ydinvoiman kasvusta keskipitkällä aikavälillä eroavat toisistaan melko paljon. IEA:n (2008) arvio ydinvoiman kulutuksen kasvusta vuodesta 2006 vuoteen 2030 liikkuu noin 24 %:n tasolla, kun taas esimerkiksi kansainvälisen atomienergiajärjestön, International Atomic Energy Agency, IAEA:n (2008) arviot asettuvat väljempään

haarukkaan: kasvun oletetaan olevan vähintään 27 %, mutta jonkinäköiseksi ylärajaksi on asetettu jopa 100 %.

### **2.3. Sektori monimuotoistuu**

Uuden sukupolven energiamuodot, kuten tuuli- ja aurinkoenergia ovat valtaamassa alaa vähitellen, mutta kehitys on tuskallisen hidasta. Menetelmistä saatavat hyötysuhteet ovat siinä määrin tehottomia, että vaihtoehtoiskustannukset kasvavat toistaiseksi liian suuriksi, jotta perinteisistä energiamuodoista olisi mahdollista luopua. Jotakin on kuitenkin jo tapahtunut. Esimerkiksi tuulivoimaloissa onnistuttiin viime vuosikymmenellä siirtymään megawattiluokkaan, eikä aurinkoenergian varsinainen kehittäminen ole pysähtynyt. Kaiken kaikkiaan jatkuvana kehityssuuntana on uusiutuvien energiamuotojen painottaminen. Menanteau et al. (2003) ovat vertailevassa tutkimuksessaan tarkastelleet kahta vaihtoehtoista kannustinta uusiutuvien energialähteiden kehitykseen: hinta- ja määrälähtökohta. Heidän päätelmissään käy ilmi, että julkisen energiapolitiikan harjoittamisessa energiamäärään perustuva kannustinjärjestelmä saa aikaan tehokkaamman lopputuloksen.

Yksityisellä sektorilla taas kilpailujärjestelmä takaa hintakannustimien avulla paremman tehokkuuden uusiutuvien energiamuotojen implementointiin. Teoreettisen kehityksen läpi on kuitenkin nähtävä maailma käytännössä, etenkin maantieteellisen sijainnin tarjoamat mahdollisuudet. Esimerkiksi Suomella on, ainakin teoriassa, mahdollisuus käyttää turvetta energiamuotona myös tulevaisuudessa. Toistaiseksi direktiivit ja päästökauppa hankaloittavat sen käyttöä, mutta tulevaisuuden muuttuva toimintaympäristö saattaa hyvinkin asettaa paineita säännösten revisiointiin. Turpeen mielenkiintoinen piirre on se, että riippuen määriteltävästä aikavälistä, se voidaan määritellä joko uusiutuvaksi tai uusiutumattomaksi luonnonvaraksi. Aikajänteenä puhutaan noin parista sadasta vuodesta.

Myös vesivoiman potentiaali on kasvanut kehityksen myötä. Ilmiö on ironinen sikäli, että voidaan jopa sanoa, että ilmastonmuutoksen yksi harvoja myönteisiä puolia nimenomaan energianäkökulmasta on sademäärien lisääntyminen ainakin pohjoisella

pallonpuoliskolla, mikä luonnollisesti tarkoittaa kannattavampaa vesivoiman käyttöä. Vesivoiman käyttö on siis vahvasti riippuvainen sademääristä, joten sen ennustettavuus on vaikeaa epäsäännöllisten sadeilmiöiden takia. Lisäksi uusia tekniikoita kehitetään tähänkin energiamuotoon, ja uusin ja ehkä varteenotettavin menetelmänä on meren pohjavirtauksia hyväksi käyttävä metodi. Vesivoimaa voidaan hyvällä syyllä pitää myös vahvana tulevaisuuden energiamuotona.

Euroopan talusmahti Saksa on rakentanut energiaohjelman, jonka avulla aiotaan luopua ydinvoimasta, ja tällä päätöksellä on todennäköisesti kauaskantoiset vaikutukset. Koska Saksa on Euroopan ylivoimaisesti voimakkain talousveturi, on sen energiapolitiikka luultavasti myös muita maita ohjaava, eikä kyseisen ohjelman alkuperäinen tavoite kokonaan ydinvoimattomasta yhteiskunnasta vuonna 2022 ole edes järin kaukana. Tähän tilaan päästäkseen Euroopan on kauttaaltaan kyettävä muuttamaan koko energiasektorinsa rakennetta. Hiilivoimaa ei kaiketi voi pitää pitkäaikaisena ratkaisuna, mutta välivaiheessa on tehtävä päätöksiä, jotka ovat hallittavissa lyhyellä aikavälillä. Uusiutuvien energiamuotojen kanssa ei tässä yhtälössä sovi tehdä liikaa kompromisseja. Hiili ja Venäjältä tuotava maakaasu ovat edelleen saman nimittäjän alla öljyn kanssa, eikä näihin tukeutuminen edusta niin sanottua kestäväää kehitystä. Edessä on joka tapauksessa jonkin aikavälin muutosvaihe, jossa siirrytään kohti puhtaampia energiamuotoja.

Lyhyellä tähtämellä sinänsä saasteettoman ydinvoiman käyttö on problemaattista. Erityisesti siitä aiheutuvat kustannukset voidaan jäsenellä monitasoisesti, ja erityisen tärkeää on muistaa aikajänne. Alkuinvestointina ydinvoimalan hinta on satoja miljoonia euroja, mutta toimiessaan moitteettomasti sen energiatuotanto on kiistaton. Viime aikojen keskustelu ydinjätteestä on kuitenkin muuttanut näkemyksiä, eikä Japanin tsunamin seurauksena tapahtunut ydinvoimalaonnettomuus vähentänyt keskustelua. Viimeisin huoli on koskenut ydinjätteen loppusijoitusta, mikä tarkoittaa käytännössä kiusallisen perinnön jättöä satojen sukupolvien päähän. Erilaiset riskianalyysit ydinvoiman käytön koko prosessista ovat paikallaan. Ydinvoimayhtiöiden tulee huolehtia ydinjätehuollosta ja vastata siitä aiheutuvista kustannuksista siihen saakka, kunnes ydinjätteet on loppusijoitettu pysyvällä tavalla. Lain mukaan valtion ydinjätehuoltorahasto säilyttää ja turvaavasti sijoittaa ne

ydinvoimayhtiöiltä keräämänsä varat, jotka tulevaisuudessa tarvitaan ydinjätteistä huolehtimiseksi. (Forsström, 2006, s. 21.)

Politiikan vaikutus maailman energiatalouteen voimistuu kiihtyvällä tahdilla. Taustalla on kollektiivinen huoli ympäristövaikutuksista ja erityisesti seuraaville sukupolville jätettävästä perinnöstä, joka on pitkän aikavälin johdannaisia tämän hetkisten ongelmien ratkaisusta. Energiankulutuksen ulkoisvaikutukset ovat niin merkitseviä, että keskusteluiden painopiste on toisinaan siirtynyt jopa energiaratkaisuista niistä seuranneisiin ongelmiin. Kukaan tuskin täysin kieltää ihmisen aiheuttaman ilmastonmuutoksen olemassaolon. Erilaisten kannustimien syntyminen on ohjannut talouden agentteja systemaattisesti kautta historian. Veroratkaisut lienevät tunnetuimmat näistä, ja yksilöllisemmät ympäristöverot ovat niiden erityinen oma haaransa, josta kiinnostuttiin enemmän 1980-luvulla. (Määttä, 1996 s. 289.)

Ympäristöverojakin kenties voimakkaampi instituutio on niin sanottu päästökauppajärjestelmä. Sen ensiaskeleet ulottuvat Yhdysvaltoihin vuoteen 1974. Sittenkin kyseinen järjestelmä on laajentunut hyvin isoihin mittasuhteisiin ja kattaviin päästökategorioihin, kuten hiilidioksidiin ja rikkiin. Päästökauppa perustuu päästöoikeuksiin, jotka julkishallinto myöntää talouden agenteille jotakin tiettyä laskennallista päästöyksikköä vastaan. Itse markkinat syntyvät näiden aineettomien oikeuksien kaupankäynnistä. Päästökaupan ideana on kohdistaa päästövähennykset sinne, missä niiden toteuttaminen on kustannustehokkainta, eli sinne missä yhden päästöyksikön vähentäminen on halvinta. Tätä hintaa kutsutaan päästövähennysten rajakustannukseksi. (Laurikka et al., 2006, s. 17.) Tämä antaa tehokkaan kannustimen yrityksille kehittää omia toimintojaan ekologisemmiksi ja toisaalta myydä siten omia oikeuksiaan niille yrityksille, joille päästöjen vähentäminen on ongelmallista.

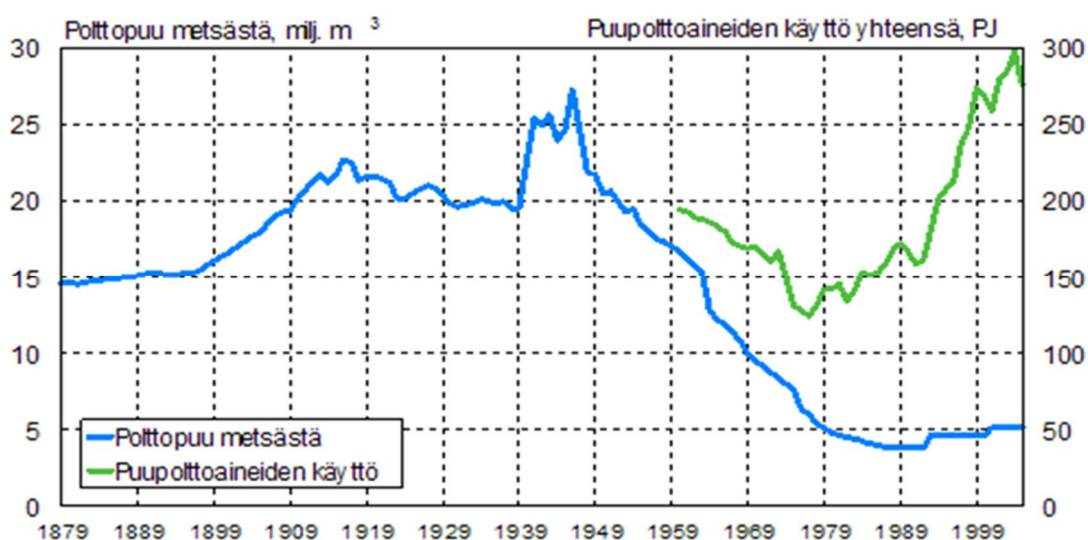
Tällä hetkellä Euroopan unionissa toimii maailman suurin päästökauppajärjestelmä, jonka taustalla on Kioton ilmastokokouksessa 1997 tavoitteeksi asetetut kasvihuonekaasujen vähennykset. (Laurikka et al., 2006, s. 17.) Suomi on vahvasti mukana näissä tavoitteissa, ja tulevaisuuden kannalta tämän järjestelmän kehityksen analysointi on elintärkeää. Korkean teknologian maana energiastrategiat olisi luultavimmin kaikkein edullisinta rakentaa vaihtoehtoiskustannusajattelun ympärille

siten, että globaalilla tasolla mitattujen korkeiden energiakustannusten menetelmät toimisivat kannustimina tehokkaampien ja vihreämpien ratkaisujen löytämiseksi, ja siten Suomen aseman edistämiseksi puhtaamman energian kärkijoukossa. Bioenergia on keskeinen osa Suomen tulevaisuuden energiaratkaisua, joten monet kehitettävistä teknologioista liittyvät bioenergian entistä tehokkaampaan hyödyntämiseen. (VTT: Energy visions for Finland 2030 - yhteenveto, 2003.)

## 2.4. Suomen energiahistoria ja kehitys

### 2.4.1. Puusta vesivoimaan

Itsenäistyessään 1917 Suomi oli vahvasti maatalousyhteiskunta, ja pääasiallinen energiamuoto oli lämmitykseen käytettävä polttopuu. Tätä ennen talous oli ollut melko pitkään verrattain stabiilissa tilassa, eikä erityisiä kehityspolkuja ollut vielä näkyvissä. Polttopuuta myytiin halkoina, jotka vielä 1960-luvullakin näkyivät kaikkialla suomalaisessa maalaismaisemassa ja kaupunkiympäristössä (Tilastokeskus, 2012). Energiapuun hakkuut pienentyivät sotien jälkeen, mutta toisaalta samalla puunkäyttö on tehostunut, nimittäin puuperäistä energiaa saadaan esimerkiksi hyödyntämällä sahojen ja vaneritehtaiden puujäämiä ja kuoria sekä massateollisuuden puuperäisiä jäteliemiä.



KUVIO 5: Polttopuun sekä muun puuperäisen energian käyttö Suomessa (Lähde: Tilastokeskus, 2012).

Kuviossa 5 havainnollistetaan ensinnäkin polttopuun käyttöä kuutiometreissä mitattuna Suomessa maan itsenäistymisestä lähtien. Kehitys oli hidasta mutta tasaista aina talvisotaan saakka, jolloin polttopuun kulutus kasvoi räjähdysmäisesti kriisin takia. Ymmärrettävästi puuta oli kaikkein helpoin käyttää hyväksi vaativissa olosuhteissa.

Suomen sähkönjakelun perustukset rakentuivat pian ensimmäisen maailmansodan jälkeen 1920-luvun alussa. Kun eduskunta päätti rakentaa lisää vesivoimaloita, oli myös voimasiirtolinjat rakennettava, mikä taas loi perustan kansalliselle voimalinjaverkostolle, ja tämän takia sähköntuotannosta 75 % muodostui nyt vesivoimasta entisen 50 %:n asemesta (Jalava, 2003, s. 4). Tämä merkitsi uusia mahdollisuuksia ja joustavuutta teollisuudelle, varsinkin kun aiemmin isot laitokset olivat lähestulkoon pakotettuja sijaitsemaan paikoille, joissa vesivoima oli välittömästi hyödynnettävissä. Itse asiassa Jalava (2003, s. 4) toteaa, että teollisuus kulutti tuolloin maan koko sähkön tuotannosta 70-85 % .

Kokonaistaloudellisesta kehityksestä kertoo puolestaan myös bruttokansantuotteen (BKT) osuudet teollisuuden osalta: vuonna 1860 vain 4 % väestöstä työskenteli teollisuudessa, joka tuotti noin 7-8 % maan BKT:sta. Puoli vuosisataa myöhemmin kymmenesosa taloudellisesti aktiivisesta väestöstä työskenteli teollisuudessa, ja teollisuuden tuotannon kasvaessa BKT:ta nopeammin sen osuus kokonaistuotannosta oli viidesosa vuonna 1913. (Jalava, 2003, s. 5-6.) Hidas, mutta tasainen yhteiskunnan teollistuminen vaati vähitellen uudenlaisia rakenteita energiateollisuuteen, jolloin pelkän lämmitystarpeen suhteellinen osuus alkoi laskea. Tarve siirtyä hitaista ja tehottomista, pääasiassa puun käyttöön perustuvista menetelmistä seuraavan sukupolven ratkaisuihin oli väistämätön.

#### **2.4.2. Teollisuuden siivillä kohti kaupungistumista**

Yhteiskunta koki toisen merkittävän teollistumisen aallon ja samalla kaupungistui voimakkaasti 1940-luvulla, jolloin voidaan katsoa tapahtuneen myös siirtymisen maatalousyhteiskunnasta teollisuusyhteiskunnaksi. Tämä lisäsi tarvetta kehittää yhtäältä sähköntuotantoa uusien elämänlaatu kasvattavien funktioiden

voimanlähteeksi ja toisaalta lämmöntuotannon murrosta kohti uudenlaisia energiamuotoja. Kuvio 5 edelleen antaa indikaation tästä kehitysjaksosta: polttopuun tarve laski merkittävästi 1940-luvun lopun ja 1980-luvun puolivälin aikana, jolloin muun muassa muuttoliike kaupunkeihin oli voimakasta ja uudenlainen elämäntyyli kysyi uusia energiaratkaisuja. Kuvio paljastaa myös teollistumisen seurauksena tapahtuneen kehityksen puun hyötykäytössä energiatarpeisiin. Puupolttoaineen, johon kuuluu muun muassa aiemmin mainitut metsäteollisuuden jäteaineet, hyödyntäminen kasvoi 1970-luvun puolivälistä, minkä voidaan katsoa johtuneen eri tekniikoiden ja menetelmien kehittymisestä ja tehostumisesta.

Ydinvoima astui kuvaan 1970-luvun puolen välin jälkeen. Ensimmäisenä ydinvoimalana Suomessa valmistui Loviisa 1 1977 ja kolme vuotta myöhemmin ensimmäisen yksikön viereen valmistui Loviisa 2, vuonna 1980 (Vuorinen et al., 1983, s. 72). Kyseiset voimalat oli valtio tilannut Neuvostoliitosta, mikä YYA-sopimuksen ja vallinneen poliittisen ilmapiirin huomioon ottaen oli ymmärrettävää. Paitsi massiivisen sähköntuotantonsa osalta, ydinvoiman kiistattomiin etuihin kuuluu sen sähköhuoltovarmuus, mikä osaltaan vaikutti suurten päätösten läpiviemiseen. Taustalla tässä kehitysaskelissa oli erityisesti kullanarvoisen metsäteollisuuden massiivinen kasvu ja sen kasvanut energiatarve, mikä kysyi uusia ratkaisuja eksponentiaalisella vauhdilla. Taattu ja esimerkiksi sääilmioista riippumaton sähkönsaanti turvasi jo ennestään vahvaa kilpailukykyä. Toisena kehityskaaren vaiheena oli siirtyminen yksityisen sektorin ratkaisuihin. Suuret suomalaiset yksityiset metsäteollisuusyhtiöt ja metsäteollisuuden hallitsevat voimayhtiöt olivat perustaneet Teollisuuden Voima Oy:n (TVO) vuonna 1969, joka sai Valtioneuvoston päätöksellä 1973 luvan rakentaa oman ydinvoimalansa. Länsirannikolle Olkiluotoon rakennettiin lopulta kaksi TVO:n tilaamaa reaktoria. Yksityisen ydinvoimalan rakentaminen oli poikkeuksellista jopa kansainvälisesti, koska oli yleistä, että eri maiden ydinvoimahankkeet olivat puhtaasti julkisen sektorin hallinnassa.

Ydinvoimalat eivät luonnollisestikaan ole ikuisia. Kullekin reaktorille on pyritty antamaan lisää toiminta-aikaa erilaisin huolto- ja korjaustoimin, mutta esimerkiksi Loviisan reaktorien kohdalla päätepiste on jo nähtävissä. Valtioneuvosto on myöntänyt Loviisan voimalaitosyksiköille luvan käyttää Loviisa 1 -yksikköä vuoden



2027 loppuun saakka ja Loviisa 2 -yksikköä vuoden 2030 loppuun asti (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2008, Loviisa 1 ja 2; käyttöluvan uusinta).

Suomelle on perin luontaista kuitenkin tukeutua metsään, koska se takaa meille käytännössä rajattomasti raaka-ainetta. Siinä missä monella muullakin sektorilla on jatkuvaa epävarmuutta, myös energiatalouden välttämätön toimivuus asettaa erityisiä ehtoja, jolloin ratkaisuja on luonnollista hakea läheltä ja mahdollisimman riskittömästi. On silti lyhytnäköistä ajatella, että energian, tai tässä tapauksessa lämmön, tuotannossa palattaisiin suoranaisesti ajassa taaksepäin, koska tekniikan kehittyessä niin polttoaineen valmistuksen kuin sen loppukäytönkin ominaisuuksia on pystytty merkittävästi kehittämään. Muun muassa pelletin polttamisen päästöistä löytyy melko yllättävää tietoa. Puun pienkäytön edistämistä on vastustettu aiemmin sen aiheuttamien päästöjen takia, mutta pellettilämmityksen päästöt eivät eroa merkittävästi öljylämmityksen päästöistä. Päästöjä tulisijoista, kiukaista ja uuneista on vähennetty teknisillä ratkaisuilla, mutta niiden osalta vielä suurempi merkitys on polttoaineen laadulla ja käyttäjän toimenpiteillä (Kuopion yliopisto, 2005.) Ymmärrettävää tämä on siitakin näkökulmasta, että isossa maassa haja-asutus aiheuttaa energian käyttöongelmia, joita on kollektiivisesti vaikea ratkaista. Silti pitkällä aikavälillä on vähintäänkin kyseenalaista, että metsiä käytetään lämmitystarkoitukseen, ja siten vaihtoehtoja on jatkuvasti kartoitettava.

### **2.4.3. Kilpailun ja markkinoiden avautuminen**

Kysynnän kasvaessa ja teollisuuden sekä liike-elämän monipuolistuessa energiemarkkinoiden voimakas kehitys oli väistämätöntä. Energian tuotanto ja käyttö ei enää merkinnyt paikallista sopimista vaan jakeluverkon rakentuminen mahdollisti monipuolisemman loppukäytön niin volyymiltaan kuin sijainniltaan. Alkuvaiheessa tuotanto järjestettiin käytännössä kokonaisuudessaan valtion tai kuntien toimesta markkinoiden toimiessa täten julkisella tasolla nimellisesti monopolina. Liikelaitoksina toimineet sähkölaitokset eivät toimineet kilpailuympäristössä vaan hinnan määrittely perustui tavallisesti pitkiin kahdenvälisiin sopimuksiin merkittävien sähkönkuluttajien kanssa. On kuitenkin huomioitava, että itse liikelaitoslaissa ei varsinaisesti aseteta liiketoiminnallista voittotavoitetta, jolloin

ei voida edes puhua perinteisestä liiketoiminnasta. Liikelaitoksen olemassaolon perusajatuksenahan on taata yhteiskunnallisesti välttämättömän palvelun tuottamisen takaaminen, jolloin myös konkurssin mahdollisuus on käytännössä olematon. Turvana eli mahdollisten tappioiden tasaajana tässä toimintamallissa on julkinen sektori. Toisaalta energiatalouden kehityksessä julkisen sektorin merkittävänä intressinä oli myös saada Suomi tasaisen kehityksen polulle, mikä taas tarkoitti joka tapauksessa maltillista sähkön hinnoittelua tuotantokustannusten puitteissa. Puhtaasta oppikirjamaisesta monopolihinnoittelusta ei siten voi puhua sähköntuotannon alkuvaiheissa.

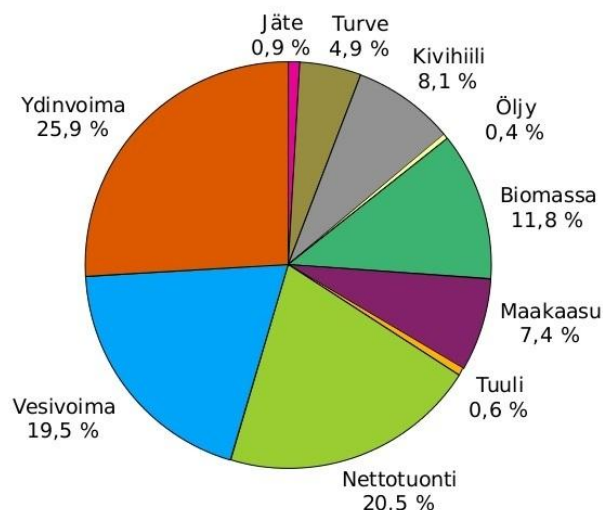
Suomi on purkanut liikelaitoksia systemaattisesti viimeisen kahden vuosikymmenen aikana, ja avannut siten kilpailua uusille eri sektoreille. Sähkömarkkinoilla muutos tapahtui vuonna 1995, jolloin tuli voimaan uusi sähkömarkkinalaki (386/1995). Uudistus eteni portaittain, mikä tarkoitti sitä, että aluksi kilpailu aukesi ainoastaan suurille sähkönkuluttajille, jotka saivat ostaa sähköä vapaasti kilpailutettuaan sähkön toimittajia. Siirtymäkausi kesti lopulta noin kolme vuotta, kun syksyllä 1998 pääsivät pienimmätkin sähkönkuluttajat kilpailun piiriin.

#### **2.4.4. Markkinoiden evoluutio: Nord Pool**

Nykypäivänä Suomi on sähkökaupan ja sähköjakelun osalta kiinteä osa pohjoismaista sähköjärjestelmää, johon kuuluvat myös Norja, Ruotsi ja Tanska. Tällainen menettely on ollut verrattain luonnollinen jatkumo kansallisille markkinoille, ja kun kyseessä on alun perin ollut pienet yksittäiset markkinat, voidaan yhteistoiminnan eduiksi katsoa tehokkuus, turvallisuus, tasaisuus sekä joustavuus. Tämä pohjoismainen sähköpörssi on nimeltään Nord Pool, ja sen perimmäinen idea on tarjota tuotannolle ja kuluttajille niin sanottu raaka-ainemarkkinakeskittymä. Tällä tarkoitetaan sitä, että perinteisten arvopapereiden asemesta siellä käydään kauppaa jostakin raaka-aineesta, tässä tapauksessa sähköstä. Järjestelmän kiistattomiin hyötyihin voidaan laskea synergiaetu, jonka ansiosta kunkin maan energiatalous on tehostunut sekä tuotannon että loppukäytön suhteen.

Euroopan unionin tasolla tavoitteeksi on asetettu koko mantereen kattavat yhteiset sähkömarkkinat tukkumarkkinoiden lisäksi myös vähittäismarkkinoille, joten yhteispohjoismainen malli on mitä ilmeisimmin välivaihe merkittävämmälle kehitystrendille. Suurimpina ongelmina tällä hetkellä ovat jakeluverkon pullonkaulat, joiden takia markkinoilla ei olisi mahdollisuutta toimia tehokkaasti. Sikäli tilanne on rohkaiseva, koska Nord Pool toimii kiitettävän hyvin, mikä antaa myös Euroopan tasolle kelvollisen laboratorion tutkia valtioiden rajat ylittävien markkinoiden toimintaa. Euroopan yhtenäistämällä sähkömarkkinajärjestelmällä uskotaan olevan markkinoita ja kilpailua entisestään tehostava vaikutus, minkä ansiosta maltillisemmasta hintakehityksestä aiheutuva lisähyöty siirtyy kuluttajalle.

## Sähkön hankinta energialähteittäin 2012 (85,2 TWh)



**KUVIO 6: Sähkön hankinta energialähteittäin (Energieateollisuus, 2013)**

Kuvio 6 (Energieateollisuus, 2013) paljastaa Sähkönhankintaosuudet energialähteittäin jaoteltuina. Tuonti kattaa edelleen yli viidenneksen, mikä on omavaraisuusnäkökulmasta tarkasti huomioitava asia. Kuviossa nähtävä monipuolinen energialähdekimppu on omalta osaltaan jarruttamassa sähkön hinnan holtitonta kehitystä.

Sähkön markkinahinta määräytyy siten, että kunkin energialähteen muuttuvat kustannukset otetaan huomioon, ja aluksi sähköä tuotetaan halvinta mahdollista tuotantomuotoa hyväksikäyttäen. Kulutuksen kasvaessa tuotanto luonnollisesti kallistuu, koska joudutaan siirtymään energiamuotojen käyttöön, joiden muuttuvat kustannukset ovat kalliimmat. Periaate klassisesta kasvavien rajakustannusten ilmiöstä on tässä yhteydessä helppo mieltää. Kysyntä määrää hinnan.

Kysynnän määräävä kulutus puolestaan muodostuu käytännössä vallitsevasta lämpötilasta, kulutuksen ajallisesta vaihtelusta ja talouden suhdanteista. Talvella lämpötilan merkitys on suuri, ja kysyntäpiikit esiintyvätkin vuosittain tammi-maaliskuun välillä. Kulutuksen ajallinen vaihtelu määritellään esimerkiksi yön ja päivän välisenä kulutuksena tai vaikkapa juuri kesän ja talven eroina. Talouden suhdanteet taas ohjaavat kulutusta normaalihyödykkeiden tapaan: korkeasuhdanne lisää kulutusta, ja matalasuhdanne vähentää sitä.

### 3. SUOMEN TÄMÄNHETKINEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

#### 3.1. Toimintaympäristön rakenne

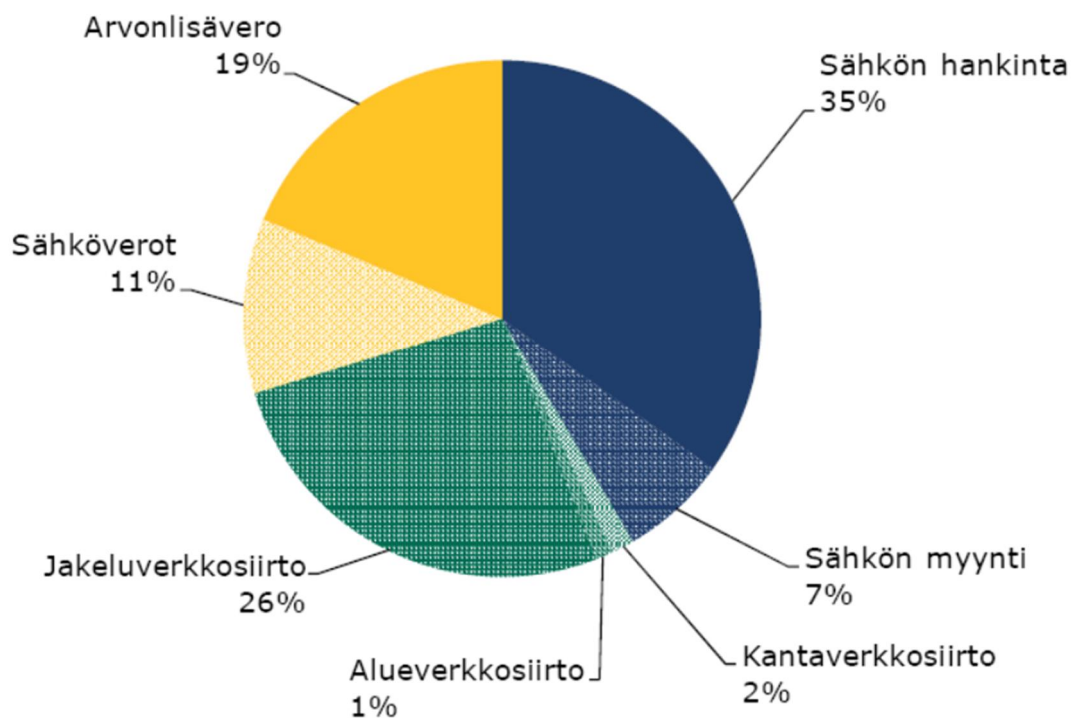
Mikäli haluaa tutkia Suomen energiemarkkinoita, ei pohjoismaisen sähköjärjestelmän sivuuttaminen ole mahdollista, ja toisaalta Suomen erottaminen tästä yhtälöstä olisi perin vaikeaa, tuskin mielekästäkään. Sikäli kyseinen teema sopisi sinällään myös muihin mainittuihin Pohjoismaihin. Esille otetun Nord Poolin sydämenä toimivat niin sanotut Spot-markkinat, joilla käydään käytännössä kauppaa seuraavan päivän sähköstä. Kaikilla markkinoiden osapuolilla täytyy olla yhteys sähköverkkoon konkreettisia toimituksia varten. Kyseinen kauppa on hyvin aikaorientoitunutta, mikä tarkoittaa sitä, että sähkön hinta määräytyy uudestaan aina kullekin tasatunnille kysynnän ja tarjonnan tasapainopisteen mukaan. Lyhyellä aikavälillä sähkön hinta on siis jossain määrin joustavaa, ja sitä ohjaavat kysynnän parametrit, joita tarkennettiin hieman edellisessä luvussa.

Spot-markkinat ovat jaetut kahteen eri funktioon. Ensimmäinen osa, Elspot, pitää sisällään kaupankäynnin seuraavan päivän sähköstä suljetuin tarjouksin, millä tarkoitetaan sitä, että kukaan osapuolista ei tiedä toistensa tarjouksia. Kauppaa käydään kiinteästä 0,1 MWh sähkötoimituksesta koskien seuraavan päivän tunteja 01-24. Tällainen käytäntö pitää markkinat teoriassa tehokkaina, koska lähtökohtaisesti keinottelu on vaikeaa. Elbas-järjestelmä on taas rakennettu kaupankäyntiä varten, joka suoritetaan ainoastaan tuntia ennen käyttötuntia. Sen tarkoitus on toimia jälkimarkkinoina akuutimpaa kaupankäyntiä varten.

Pohjoismaille on ominaista, että sähkön hinta itsessään on joustamatonta (Hirvonen, 2003). Mikäli hinta muuttuu, ei sillä juurikaan ole vaikutusta kysyntään, etenkin lyhyellä aikavälillä. Yksi syy tähän on, sähköyhtiöiden keskittyneisyys: suuret operaattorit ovat määräävässä roolissa koko toimialalla, jolloin pienempien toimijoiden mahdollisuudet vaikuttaa sektorin rakenteisiin ovat olemattomat. Markkinavoimien käytön mahdollisuus säilyy suurilla yhtiöillä, jolloin taas kokonaismarkkinoiden tehokkuus voi olla uhattuna. Toinen, ehkä suurempi syy on pohjoismaiset sopimusinstituutiot: on tavanomaista, että sopimukset ovat pitkiä,

jolloin sähkön kuluttajalla on rajalliset mahdollisuudet vähentää energiakustannuksiaan kulutuksen ehdoilla.

Sähkön hinta itsessään voidaan pilkkoa selkeisiin osiin. Kuvio 7 (Energiamarkkinavirasto, 2012) havainnollistaa tarkemmin sen tosiasian, että sähkön hintaan vaikuttavien tekijöiden monimuotoisuus enteilee hinnan vähintäänkin tasaista kasvua pitkällä aikavälillä tulevaisuudessa. Verot ovat jatkuvien nousupaineiden alaisina, Suomen laaja pinta-ala kuormittaa käytännössä kaikentyyppisiä siirtoverkkoja ja sähkön myynti perustuu pitkälti muun muassa henkilöstökulujen kehitykseen. Itse sähkön hankinta voi periaatteessa muuttua halvemmaksi mikäli olosuhteet muuttuvat suotuisammiksi, mutta sen osuus hinnan kohoamisen suitsijana on verrattain pieni. Mikäli tuotannon monipuolisuus ja tehokkuus pystytään säilyttämään, on hinnan hallitsematon heilahtelu mahdollista pitää valvotussa kontrollissa. Juuri tähän tarkoitukseen monikansallinen Nord Pool on ollut hyvä ratkaisu.



KUVIO 7: kotitalouksien sähkön hinnan muodostuminen (Energiamarkkinavirasto, 2012)

Nord Poolin tarkastelu on joka tapauksessa sikälikin mielekästä, koska sen toimintoihin kuuluu myös johdannaisia, kuten futuurit, termiinit ja optiot, mikä kokonaisuutena tekee järjestelmästä hyvin sivistyneen markkinamekanismin. Itse asiassa johdannaismarkkinoilla liikkuu paljon enemmän pääomaa kuin itse sähkömarkkinoilla, mikä taas käytännössä johtuu Spot-markkinoiden suuresta volatilititeetista eli sähkön hinnan vaihtelusta. Tällainen asetelma tarkoittaa luonnollisesti merkittävää liiketoimintariskiä, jolloin yritysten suojautuminen taloudellisilta notkahduksilta johdannaisiin tukeutuen on ymmärrettävä jatkumo primäärimarkkinoille.

### **3.2. Energiatarve sektoreittain**

Perinteisenä jaotteluna energiasektorilla on ollut selkeä raja-alue isojen nimittäjien välillä. Kuvassa 5 (IEA, 2007, s. 16) energiatarve on ositettu teollisuuteen, liikenteeseen, asumiseen ja muihin funktioihin. Mittayksikkönä on niin sanottu Mtoe (Millions of tons oil equivalent), jolla tarkoitetaan energiaa muutettuna yhteismitalliseksi mittayksiköksi, tässä tapauksessa öljyksi. Tämä on helppo tulkita kahdesta syystä: yhtäältä öljyn valta on yhä kiistaton ja toisaalta sen määrällinen mittaaminen on verrattain helppoa. Vuodesta 1973 alkava tilasto paljastaa, että suurin suhteellinen energiamäärä kuluu teollisuudessa, noin puolet. Toisaalta esimerkiksi asumisen lohkaisema absoluuttinen osuus on säilynyt öljytonneissa mitattuna lähestulkoon samana viimeisen lähes 40:n vuoden aikana, mikä tarkoittaa luonnollisesti sitä, että sen suhteellinen osuus on vähentynyt. Niin ikään liikenne ja 'muihin' lukeutuvat sektorit ovat pysyneet kulutukseltaan melko lailla samalla tasolla, joskin etenkin liikenteen osalta pientä tasaista kasvua on havaittavissa; liikenteen energialähde perustuu vahvasti fossiilisiin polttoaineisiin, jolloin energian kysyntä tällä sektorilla saattaa olla kehitystrendinä vaatimattomampaa raaka-aineen hintaan kohdistuvan jatkuvan nousupaineen takia.

Kuten aiemmin mainittiin, keskustelu muun muassa sähköautojen tulevaisuudesta on kiihtymään päin. Toisaalta asumiseen liittyvän energiakontrollin selittää luultavimmin rakentamisen tehostuminen ja energiatehokkaiden ratkaisujen implementointi uudisrakentamisratkaisuisissa. Kotitaloudet ja palvelusektori kuluttavat energiaa mm.

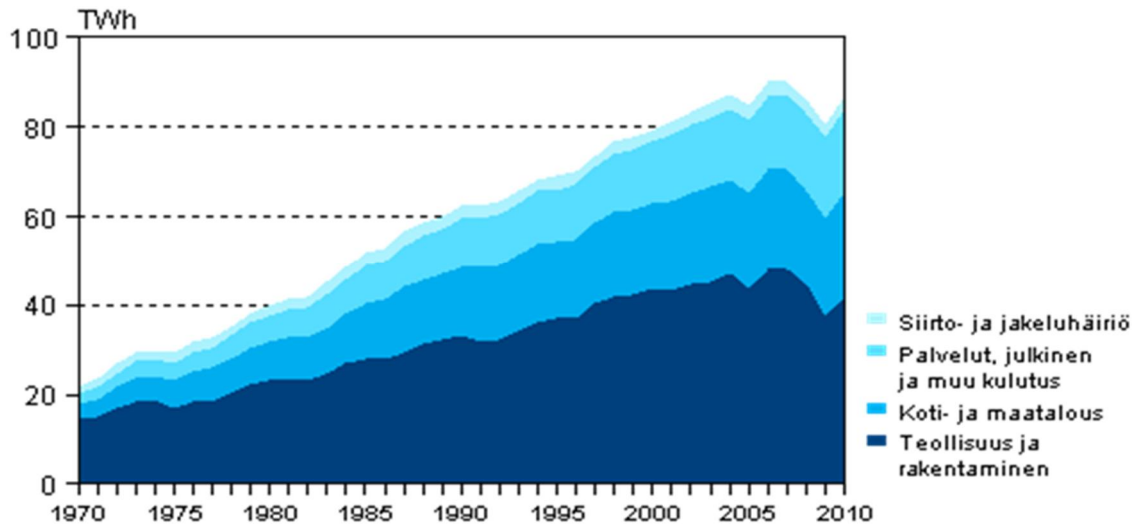
lämmitykseen, valaistukseen, lämpimään veteen, ruuanvalmistukseen sekä sähkölaitteisiin. Rakennusten lämmitys kattaa Suomessa primäärienergian kokonaiskulutuksesta noin 22 %. Lämmitysenergian käyttö lämmitettyä huonetilaa kohden on laskenut noin puoleen viimeisten 30 vuoden aikana johtuen paremmasta rakennusten eristystekniikasta sekä kerrostalo- ja rivitaloasumisen yleistymisestä (VTT: Energy visions for Finland 2030 – yhteenveto, 2003.)

Teollisuuden energian tarve näkyy vahvasti suhdanteiden kehityksenä. 1990 –luvun alkupuolen lama näkyy selkeästi kuviossa laskevana käyränä, jolloin kulutus putosi silminnähden. Myös 2000 –luvun alkupuolella tapahtunut hetkellinen notkahdus talouskasvussa on havaittavissa käyrän kulmakertoimen muutoksena. Yksikään sektori ei kuitenkaan laskenut kulutustaan. Teollisuuden osalta kasvu oli hitainta vuosina 2000-2005, noin 3 %, mutta kasvua oli miltei 19 % vuosina 1995-2005 (IEA 2007, s. 16.)

Tulevaisuuden ennusteet näyttäytyvät melko johdonmukaisina. Vuoteen 2020 mennessä teollisuuden odotetaan jatkavan tasaista kasvuaan energian kulutuksen osalta, ja muiden sektoreiden kehitys taas jatkaa maltillisempaa linjaa. Tosin talouden jatkuvat rakennemuutokset saattavat aiheuttaa radikaalejakin erehdyksiä ennusteissa. Asuminen on mahdollisesti löytänyt pysyvän kulutustason, jolloin esimerkiksi talouspoliittisia linjauksia, kuten veropäätöksiä on helpompi rakentaa.

Kuten jo aiemmin mainittiin, lämmityskustannukset ovat edelleenkin keskeisessä asemassa Suomen kaltaisessa, kylmän ilmaston valtiossa. Voidaan puhua absoluuttisesta välttämättömyydestä. Toisaalta energiakulutusmääriä (Tilastokeskus, 2010) vertailtaessa huomataan, että teollisuuden ja rakentamisen sektori on viimeisen neljän vuosikymmenen aikana melko tasaisella kehityksellä kuluttanut noin puolet Suomen energiatarpeesta, joten voidaan kaikesti todeta, että myös talouden toiminnan jatkuvuuden näkökulmasta energiatuotannon tasainen turvaaminen on välttämätöntä. Kuviossa 8 on jaottelu tehty melko karkeasti sen ottaessa huomioon ainoastaan neljä eri sektoria.





KUVIO 8: neljän isoimman sektorin energiakulutuksen kehitys (Lähde: Tilastokeskus, 2010).

Grafiikka paljastaa selkeästi aiemmin todetun tosiasian energiantarpeen jatkuvasta kasvusta myös Suomessa. Vuodesta 1980 vuoteen 2000 mennessä oli kulutus kaksinkertaistunut, ja vaikka alkaneella vuosituhanella on havaittavissa hienoista taantumista energiankysynnässä, voidaan silti melko riskittömästi olettaa, että energiantarve jatkaa tasaista kasvamistaan tulevaisuudessakin. Tämä asettaa jatkuvan paineen energiapolitiikan toteuttajille, joiden tehtävänä on paitsi turvata energiakapasiteetti myös tehdä taloudellisesti kannattavia ratkaisuja sekä huolehtia siitä, että kyseisen sektorin haittavaikutukset pysyvät kontrollissa. Haaste on monitahoinen.

Energiatarpeen tarkempi jaottelu eri sektoreittain on paikallaan jos katsotaan tulevaisuutta esimerkiksi omavaraisuuden näkökulmasta. Ilmastollisista syistä lämpöenergian tarve vaihtelee vuositasolla valtavasti keskiarvonsa ympärillä, minkä takia kotimainen tuotantokapasiteetti voi toimia mahdollisesti osan vuodesta jopa energian nettoviejänä.

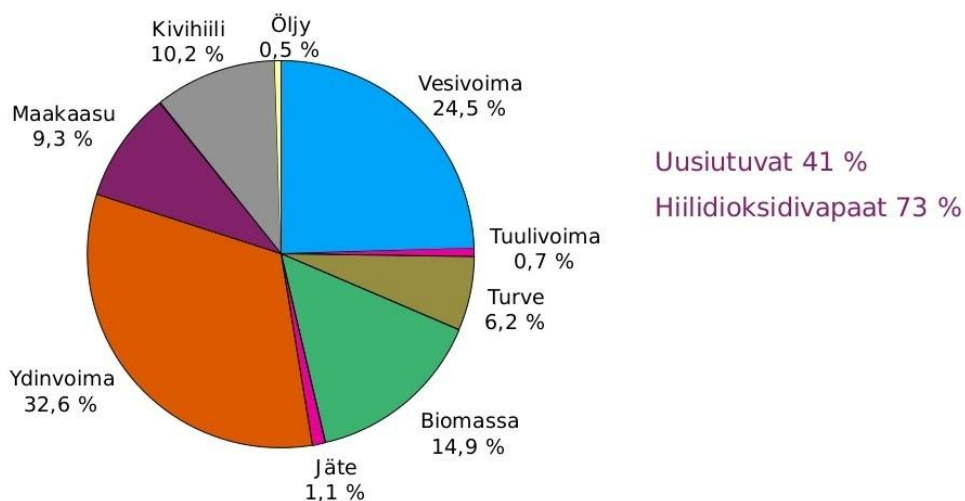
### 3.3. Energiatuotantomuodot

Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n (International Energy Agency, 2007, s. 15) tilastojen mukaan vuoden 2005 taulukon jaottelussa on huomattavissa melko tasainen

ja moninainen energiatarjonnan jakautuminen eri lähteiden kesken. Itse asiassa kansainvälisessä vertailussa Suomi sijoittuu verrattain korkealle maiden välisessä vertailussa, kun katsotaan energiarakenteita. Suomelle on luonteenomaista primäärienergiälähteiden moninaisuus. Primäärienergialla, jota aiemmin jo sivuutettiin, tarkoitetaan sitä käytössä olevaa energiamäärää mitattuna sellaisessa muodossa kun se on ennen energiatuotantoprosessia muutettu käyttökelpoiseksi energiaksi. Öljyn osuus on edelleen suuri, vaikka sen rooli onkin ajan saatossa pienentynyt. Erityispiirteenä mainitaan biomassan huomattavan suuri osuus, 20 %, energiatarjonnasta, mikä on IEA –maiden korkein keskiarvon ollessa noin 5 %.

Vesivoimalla on merkittävä rooli. Sen tuotanto on kuitenkin jossain määrin arvaamaton, koska eri vuodenaikojen sademäärät voivat poiketa etenkin toisistaan merkittävästi, mutta myös tilastollisesta keskiarvostaan. Sähköntuotannossa vesivoiman osuus vaihtelee rajusti ollen sateisena vuonna lähellä kahtakymmentä prosenttia ja kuivana vuonna lähellä kymmentä prosenttia (Energiateollisuus, 2012).

## Sähkön tuotanto energialähteittäin 2012 (67,7 TWh)



KUVIO 9: sähkön tuotanto energialähteittäin (Energiateollisuus, 2013)

Vuonna 2012 sähköntuotanto jakaantui kuvion 9 (Energiateollisuus, 2013) mukaisesti. Ydinvoima ja vesivoima toimivat suurimpina energialähteinä, ja huomionarvoista on

se, että vesivoiman osuus oli sateisena ja lumisena vuonna lähes neljännes kokonaistuotannosta. Tuulivoiman osuus on hämmäyttävän pieni, mutta sen potentiaalia voidaan pitää suurena. Myös turpeen osalta mahdollisuudet ovat suurempaan tuotantoon, mutta tällä hetkellä esteinä näyttäisivät olevan lainsäädännölliset sekä ympäristöinstituutiot. Näitä aiheita tarkennetaan seuraavassa luvussa.

Kuviossa on lisäksi huomioitu uusiutuvien ja hiilidioksidivapaiden energialähteiden osuudet. Molemmissa osuudet ovat melko korkeat, mutta tulevaisuuden arvoina fokus säilyy näiden osuuksien kasvattamisessa. Lohdullista on, että sähköntuotannossa öljyn osuus on pieni. Tulevaisuuden tarpeita ajatellen huolta aiheuttaa toisaalta maakaasun rooli sekä ydinvoiman toistaiseksi olemattomat substituuutit.

Korkean teknologian maana Suomen voidaan olettaa olevan teknisen kehityksen aallon harjalla. Siten erilaiset tulevaisuusarviot, etenkin uusiutuvien energiamuotojen kehityksestä, jotka on luotu eri instituutioissa ympäri maailman, ovat käyttökelpoisia myös Suomen kohdalla. Tarve etenkin lämpöenergian edulliselle turvaamiselle on niin suuri, että eri vaihtoehtojen kartoitus jatkuu kiivaana niin poliittisesta, teknologisesta kuin investointienkin näkökulmasta. Suomen tavoitteena on nostaa uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön osuus 31,5 %:iin kokonaiskulutuksesta, kun se viime vuosina on ollut 22 - 25 % (Soini 2007, s. 11). Luultavasti eri energiamuotoja keksitään tulevaisuudessa lisää mahdollisesti yllättävistäkin yhteyksistä, mutta tällä hetkellä tunnettuja, varteenotettavia tulevaisuuden vaihtoehtoja on vain muutamia. Edelleen pysyttelemme tarkasteluissa sähkö- ja lämpöenergian tuotannossa ja jätämme esimerkiksi liikenteen vähemmälle huomiolle ja spekuloidemme korkeintaan lyhyesti sivuuttaen siihen ulottuvia vaikutuksia.

### **3.4. Katse energiatalouden tulevaisuuden vaihtoehtoihin**

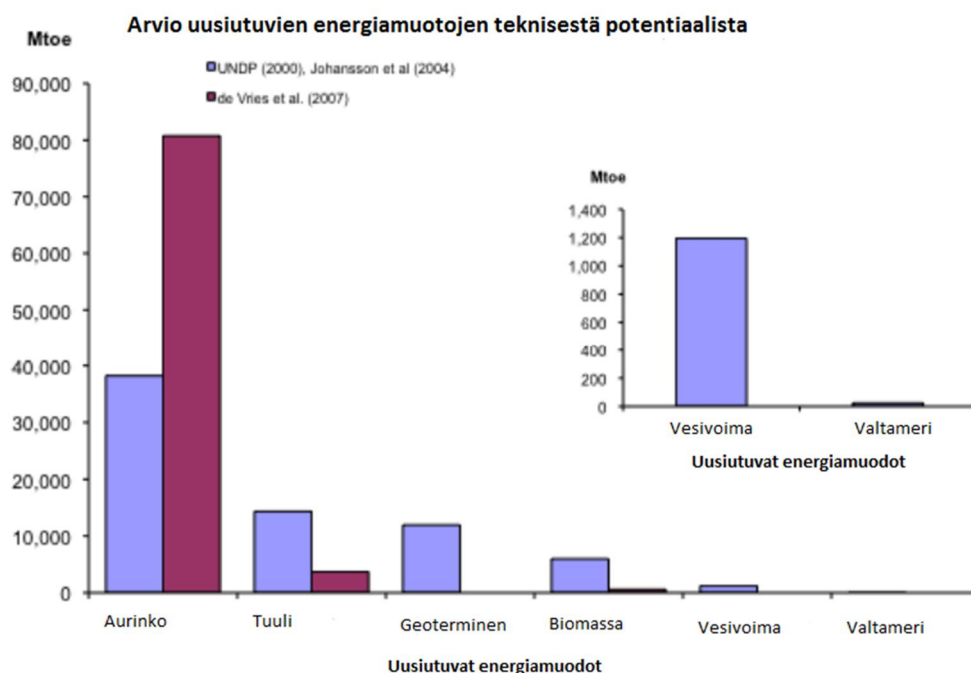
#### **3.4.1. Aurinkoenergia**

Chakravorty et al. (2000) ovat mallintaneet artikkelissaan ilmastonmuutosta taloudellisesta näkökulmasta siten, että keskipisteenä on ollut uusiutuvien energiamuotojen edut suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin ja energian hintaan ylipäänsä. He ovat pääasiassa ottaneet suurennuslasin alle aurinkoenergian, jonka kehityshistoria on alkanut yllättävän pitkän ajan takaa. Pitkän aikajänteen etuna on ensinnäkin se, että se auttaa arvioimaan teknisen kehityksen kulkua tulevaisuudessa, mutta myös samalla energiapotentiaalin hahmottamista, joka kaikesta päätellen aurinkoenergialla on suuri.

Kyseinen malli ottaa energiaresurssit endogeenisina eli mallin sisältä saatuina parametreina, ja ne on rajattu neljään eri lähteeseen eli öljy, kaasu, hiili ja aurinkoenergia. Aurinkoenergiaa on käytännössä rajattomasti, mutta vähenevien energiaresurssien alkupääoma, johon on laskettu tunnetut ja arvioidut varat, on mallissa annettu. Kunkin lähteen tuotantokustannukset jaetaan kahteen eri ulottuvuuteen: energiamateriaalin keräyskustannus, jonka marginaalikustannusten oletetaan lineaarisen mallin mukaan olevan vakiot sekä niin sanotut muuntokustannukset, jotka pitävät sisällään prosessin, jolla saatu materiaali muunnetaan loppukäyttöä varten. Jälkimmäinen lasketaan vuosittain niistä kustannuksista, jotka muodostuvat pääomasta ja prosessiin käytettävistä laitteista. Luonnollisesti aurinkoenergiasta aiheutuu ainoastaan muuntokustannuksia. Heidän mallinsa kuitenkin laskee, että vaikka uusiutuvien energiamuotojen teknologiassa tapahtuisi nopeakin kustannusten lasku, niin energian hinta silti jatkaa nousemistaan ainakin vuoteen 2050 saakka. Tämän katsotaan johtuvan siitä, että energiankulutus kasvaa huolimatta vaihtoehtoisten energiamuotojen kustannuskehityksestä, ja koska maailman primäärienergian kulutuksesta öljy, maakaasu ja hiili nielaisevat noin 80% (IEA, 2012), ei rakenteissa tulla näkemään suuria muutoksia ainakaan lyhyellä aikavälillä. Toisaalta malli esittää hiilen kulutuksen laskevan samassa tahdissa kuin vaihtoehtoiskustannukset nousevat, koska se on hyvin herkkä puhtaiden energiamuotojen hinnan vaihteluille ja lisäksi sen kulutus ei muun muassa riipu

liikenteestä. Taustalla ovat myös spekulatiot erinäisistä kiristyvistä saastuttamisen sanktioista, jolloin erityisesti hiilen käytön suhteellinen hinta kallistuu.

Aurinkoenergia arvioidaan potentiaaliltaan merkittävimmäksi uusiutuvan energian lähteeksi. Taulukossa 1 (Turkenburg, W. C., 2000; Johansson et al., 2004; de Vries et al., 2007) vertaillaan graafisesti eri energiamuotojen tekniset potentiaalit käyttäen hyväksi tämänhetkisiä tunnettuja muuntokustannuksia kullekin lähteelle. De Vries (2007) kumppaneineen esittävät tutkimuksessaan, että suurimmassa osassa maailmaa aurinkoenergian potentiaali on suurempi kuin tämän hetkisen primäärienergian käytetty määrä. Globalissa mittakaavassa puhutaan valtavasta positiivisesta erosta. Auringon tuottama, maapallon pinnalle asti saapuva vuotuinen säteilyenergiämäärä on noin 10 000 kertaa suurempi kuin vuotuinen primäärienergian tarve maapallolla (Quashing, 2005, Boyle et al., 2003).



**TAULUKKO 1: uusiutuvien energiamuotojen tekninen potentiaali (Turkenburg et al.)**

Taulukon vasemman puoleinen pylväs indikoi primäärienergian määrää reaaliajassa, ja oikean puoleinen pylväs vastaavasti aurinkoenergian potentiaalia tulevaisuudessa. Suomelle tällaisen tuloksen analysoiminen on kuitenkin problemaattista; talven

pimeimpien kuukausien aikana, jolloin myös lämpöenergiaa tarvitaan eniten, aurinkoenergiaan tukeutuminen on käytännössä mahdotonta. Yleisesti Suomessa saatavat säteilymäärät ovat noin puolet pienempiä Etelä-Euroopan maihin verrattuna (SOLPROS, 2001, Ilmatieteen laitos, 2001a, 2001b, Leijala, 2010). Kiistatonta on kuitenkin se, että tekninen kehitys tehokkuuden suhteen on huimaa, eikä huippua ole vielä lähelläkään näkyvissä. Kaikesta päätellen aurinkoenergia on hyvin vartenotettava energialähde tulevaisuudessa.

### **3.4.2. Tuulienergia**

Siinä missä aurinkovoima on kenties potentiaalisin seuraavan sukupolven energiamuoto, tuulivoima on markkinoiden voimakkaimmin kasvava uusiutuva energia. Suomen kohdalla voidaan puhua merkittävistä mahdollisuuksista. Ensinnäkin Suomen harvaan asuttu maisema mahdollistaa osaltaan varsin helposti isojen tuulivoimalapuistojen rakentamisen, ja lisäksi muuttuvat sääolosuhteet sekä meren läheisyys takaavat tehokkaat tuuliolosuhteet, jolloin peruslähtökohtien voidaan katsoa olevan suotuisat.

Tuulivoima on sinällään jo hyvin vanha keksintö; tänä päivänä vanhimmat jäljellä olevat tuulimyllyt toimivat enää lähinnä museorekvisiittana ja nähtävyyksinä. Tästä huolimatta, sähköenergian tuotannossa se on nuori metodi ja sen rooli on kasvusta huolimatta edelleen verrattain pieni, lähes marginaalinen. Vuoden 2010 lopussa Suomessa oli rakennettu tuulivoimaa 197 megawattia (MW) (VTT: tuulivoiman tuotantotilastot – vuosiraportti 2010, 2011), ja koska koko Suomen sähkönkulutus oli Tilastokeskuksen (2010) mukaan kyseisenä vuonna 87,7 terawattituntia, puhutaan huomattavasti alle yhden prosentin (1 %) osuudesta kokonaistuotannosta. Tulevaisuutta ajatellen tuulivoima on joka tapauksessa otettava mukaan energiakeskusteluun, ei välttämättä niinkään ensisijaisena energialähteenä, mutta täydentävänä ja toisaalta alueellisena.

EWEA (European wind energy association, 2012) esittää taulukossaan EU maiden kumulatiivisen tuulivoiman tuotantokapasiteetin lähtien vuodesta 1995. Trendi on sikäli hyvin rohkaiseva, että kasvu näyttäisi olevan vuosittain prosentuaalisesti

tasaista, jolloin reaalituotanto kasvaa kiihtyvällä tahdilla. Kun vuonna 1995 tuotanto oli 2,5 gigawattia, vuonna 2011 se oli kasvanut jo huomioonkelpaavaan 94 gigawattiin. Samainen raportti paljastaa valtavia eroja eri Euroopan maiden välillä tuulienergian tuottamisessa. Jonkinlaisena edelläkävijämaana toimii Tanska, jonka sähkön kokonaiskulutuksesta lähes 26 % katetaan tuulienergialla. Ero Suomeen, joka on vertailussa ryhmän toisessa päässä, on häkellyttävä: vastaava luku on ainoastaan 0,5 %. Tämä kieli luultavimmin siitä, että kahden pohjoismaan rakenteet ovat historiallisesti hyvin erilaiset, jolloin esimerkiksi Tanskan on ollut kannattavaa investoida uusiin energiamuotoihin. Suomelle taas on leimallista muun muassa Venäjältä tuotavan maakaasun iso rooli.

Martin et al. (2009) ovat tutkineet aihetta, ja heidän artikkelissaan esitetään rohkeasti, että Yhdysvalloissa, johon heidän tutkimuksensa rajoittuu, on mahdollista jopa hoitaa koko sähköntuotanto tuulienergian voimin. Kyse on kaikesta huolimatta ainoastaan teoreettisesta näkökulmasta. Makhijani (2007) korostaa, että 100 % tuulienergia ei ole kuitenkaan ole mahdollista toteuttaa ilmaston ilmiöiden epäsäännöllisyyden takia. Yhdysvaltojen energiavirasto (Energy gov, 2008) lähestyy asiaa realistisemmin: vuoteen 2030 mennessä tuulienergian odotetaan kattavan maan sähkön tuotannosta 20 %. Tällainen visio on rohkaiseva myös Suomen kannalta, koska Suomen kuluttama sähkömäärä on vain murto-osa Yhdysvaltojen vastaavasta määrästä. Teoriassa tämä merkitsisi määränä selkeästi koko Suomen kulutuksen kattamista, mutta luonnollisesti vertailua ei voi suorittaa yksinkertaisen lineaarisesti.

Martin et al. (2009) toteavat, että tuulienergian kehittämisessä sekä julkisen sektorin että yksityisen sektorin tulisi tehdä yhteisiä strategisia ratkaisuja, jotta kehitys olisi voimakasta. Ongelmaksi katsotaan perinteisten raaka-aineiden: öljyn, maakaasun ja hiilen tuottajien vastavoima, jonka ylitsepääsemiseen tarvittaisiin monitahoisia, pitkäjänteisiä voimia. Autoteollisuus ei ole myöskään vähäpätöinen pelaaja tässä yhtälössä. Vaikka muutos tulisikin puhtaasti taloudellisista insentiveistä, ei vakiintuneiden ja massiivisten instituutioiden ohjaaminen radikaalisti kestävämpään suuntaan ole mutkatonta tai nopeaa. Taloudelliset näkökulmat katsotaan myös liian huonosti ymmärretyiksi, ja tällöin on luonnollista, että investoinnit katsotaan usein liian riskialttiiksi.

Tuulienergian suorat kustannukset vaihtelevat käänteisesti tuulen keskivoimakkuuden kanssa (Martin et al., 2009). Vuosien 1984 ja 2008 välillä tuulienergian laskennalliset yksikkökustannukset laskivat teknologisen kehityksen ansiosta lähtien arvosta 30 ¢/kWh noin arvoon 5 ¢/kWh. Tukkuhintoihin verrattuna kustannukset ovat tätä nykyä verrattain kilpailukykyiset. Toisin kuin aurinkovoiman tapauksessa, tuulivoimaa voidaan käytännössä tuottaa ainoastaan laajassa mittakaavassa eli valtavina voimalatyyppeinä ratkaisuinä. Tämä edellyttää isoja investointeja, toisin sanoen merkittäviä rahoittajia. On vaikea nähdä lyhyellä aikavälillä kehityksen tapahtuvan puhtaasti yksityisen sektorin turvin, joten valtion roolia, etenkin Suomessa, missä julkisella sektorilla on tunnetusti vahva asema, tulee erityisesti tarkastella.

Lamposen (2008) mukaan tuulivoiman kohdalla investointikustannusten on laskettu olevan noin miljoona yhdysvaltain dollaria megawattia kohti. Toisaalta merelle rakennettavan, niin sanotun offshore-tuulivoiman, kustannukset ovat huomattavasti isommat: noin 1,7 miljoonaa dollaria megawattia kohti. Verkkoon liittämiskustannukset ovat taas oma lukunsa, ja niiden huomioiminen on oleellista. Tässä kohtaa valtion on mitä luultavimmin tultava esiin toivotun kehityksen takaamiseksi. Energian saannin turvaaminen on valtion tasolla luonnollisesti kriittinen tekijä, jolloin verkon rakentaminen tai sen rakentamista kannustavat verohelpotukset ja tuet tulisi olla valtiovallan vakavassa harkinnassa suuremmassa mittakaavassa tulevaisuudessa.

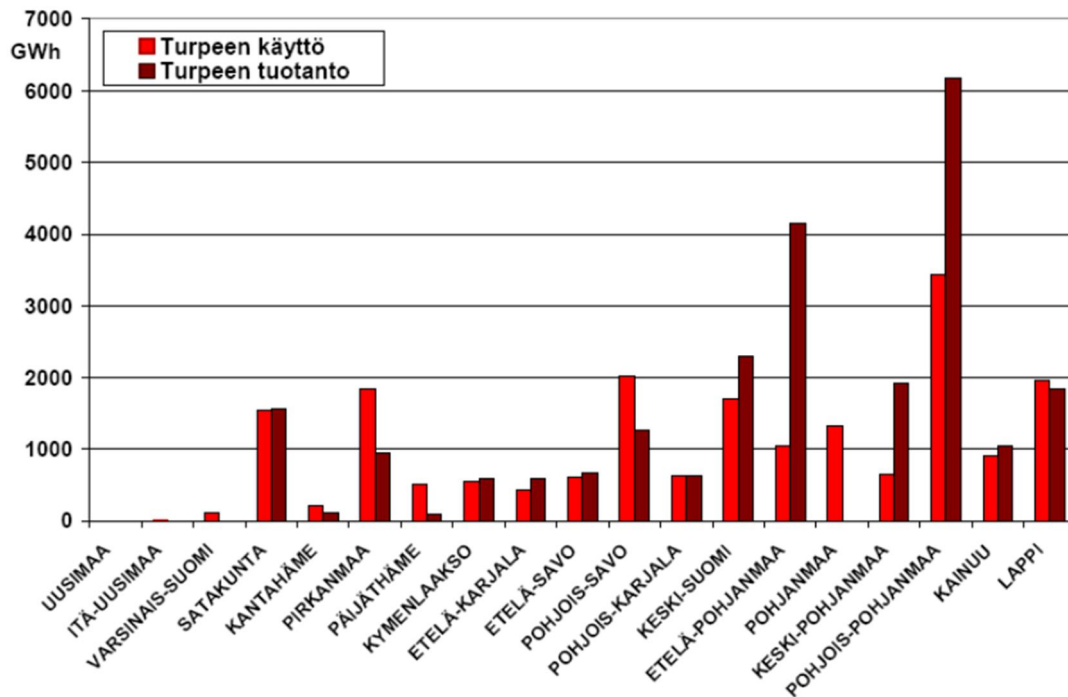
Jotain ennakoivaa on kuitenkin yleisemmällä tasolla jo tehty. Valtioneuvosto on periaatepäätöksellään velvoittanut maakuntaliitot lisäämään meri- ja tunturialueiden maakuntakaavoihin varauksia tuulivoimatuotannolle (WWF, 2007). Tällä hetkellä Suomessa uusiutuvia energiamuotoja tuetaan sekä harkinnanvaraisella energiatuella (=investointituki), että verotuella. Tuulivoimalle on maksettu energiatukea maksimissaan 40% investointikustannuksista. Käytännössä osuus on ollut usein vähemmän, noin 30-35% (STY, 2012.) Tämä kaikki indikoi sitä, että suuren mittakaavan energiapäätökset ovat yhä selkeämmin kytkeytyneet osaksi ympäristöpolitiikkaa, ja erilaiset kestävän kehityksen ohjelmat toimivat siten taustavoimana erinäisille veropäätöksille ja muille talouden ajureille.



Tulevaisuus näyttää joka tapauksessa tuuliselta, mutta toisaalta vahvalta. Tuulivoimahankkeita on valmisteilla ja suunnitteilla Suomessa paljon. Maalle niistä on suunniteltu 2900–5000 MW ja merelle 3000–4800 MW, eli Suomessa merituulipotentiaali on todella suuri. (Tuulivoima Suomessa ja maailmalla, 2011.) Ennustaminen on aina vaikeaa, mutta vaikuttaa silti hyvin selvältä, että uusiutuvista energiamuodoista erityisesti tuulivoiman osuus tulee kasvamaan huomattavasti. Uusien energiastrategioiden johdattamina energiatalous on kokemassa suurehkoa murrosta, jossa rakenteet todennäköisesti muuttuvat radikaalistikin. Kaikki viittaa siihen, että tuulivoima tulee valtaamaan alaa perinteisiltä energiamuodoilta, kuten ydin- ja hiilivoimalta. Etenkin paikallisina ratkaisuinä niin sanotut tuulipuistot siintävät melko varmasti tulevaisuuden horisontissa, eikä edes mikrotason tuulienergiayksiköt näyttäydy mahdottomana ideana.

### **3.4.3. Turve**

Turpeen rooli Suomen energiataloudessa on monimutkainen. Sen historia on vahvasti kytkeytynyt lähinnä öljyn hinnan kehitykseen, mutta alkusysäyksen sen käyttö sai toisen maailmansodan aikana tapahtuneesta perinteisten polttoaineiden tuonnin tyrehtymisestä. Turve on alkuajoistaan toiminut ikään kuin vakuutena energian saamiselle kriisitilanteissa Suomessa, mutta kehityksen myötä on kuitenkin päädytty siihen tilanteeseen, että Suomessa tuotetaan ja käytetään turvetta eniten maailmassa. Maailmassa keskimäärin 50 % turpeen kokonaistuotannosta menee energiakäyttöön. Suomessa vastaava luku on 90 % (Sandholm, 2010). Lahtinen et al. (2005) toteavat raportissaan, että Suomen kaikkiaan noin 9,39 miljoonasta hehtaarista turvemaata, joka vastaa noin 30 % kokonaismaapinta-alasta, ainoastaan noin 50 000 hehtaaria on energiatuotannossa vuosittain. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että koska alle 1 % turvemaista on käytössä, riittävät Suomen laskennalliset turvevarat sadoiksi vuosiksi eteenpäin. Tilanne on tällä hetkellä lisäksi sikäli lohdullinen, että turpeen käyttö ei ole vaikuttanut kokonaissuovaroihin sillä turvetta periaatteessa kasvaa vuodessa enemmän kuin sitä hyödynnetään. Energiakulutuksen jatkuva lisääntyminen tulevaisuudessa voi toki tuoda tähän muutoksen.



TAULUKKO 2: vuoden 2005 laskennallisia käyttö ja tuotanto lukuja (Lähde: Flyktman, 2005).

Taulukossa 2 (Flyktman, 2005) on nähtävillä vertailu turpeen kulutuksen ja tuotannon välillä vuodelta 2005. Turpeen kuljetus aiheuttaa tuotannollisen pullonkaulan, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että loppukäyttö tulee tapahtua enimmillään 150 kilometrin päässä sen keräyspaikasta. Tämän takia turpeen käyttö on melko voimakkaasti paikkakohtasidonnaista. Grafiikasta on havaittavissa se, että tuotanto ja siten myös kulutus tapahtuvat pääasiassa Pohjois- ja Länsi-Suomessa. Niin ikään huomioitavaa on se, että turpeen tuotanto on lähes kaikilla alueilla suurempaa kuin sen käyttö. Huolimatta pitkistä ja kalliista kuljetusmatkoista, turvetta viedään satunnaisesti myös maakuntarajojen yli, mikäli tuotanto ylittää käytön rajusti, kuten pohjois-pohjanmaan tapauksessa 2005. Vaihtoehtoiskustannuksena olisi turpeen hukkatuotanto, jolloin taloudelliset hyödyt kasvavat suhteessa aikaan, vaikka kuljetusvälimatka pitenee.

### 3.3.4. Maalämpö

Maalämpöön siirtyminen kuulostaa intuitiivisesti kannattavalta, mutta vaikka tulevaisuudessa vaihtoehtoiskustannukset siirtymättömyydestä ovat mahdollisesti hurjat, on tämän hetkinen tilanne vielä alisteinen kustannuslaskelmille ja analyyseille. Pientaloissa ratkaisut alkavat olla jo arkipäivää, etenkin öljylämmitteisissä taloissa, mutta isompien tilojen lämmitysratkaisuna maalämpö saattaa olla riittämätön.

Maalämmön tulevaisuus näyttää joka tapauksessa niin vahvalta, että sen vaikutusta kokonaisvaltaiseen energiatalouteen ei ole mahdollista jättää huomiotta. Uusien rakennusprojektien, etenkin pientalojen, yhteydessä on viisasta verrata maalämmön kustannuksia verrattuna muihin lämmitysmuotoihin. Paitsi yksilötasolla, myös valtion kannalta tällaisen uusiutuvan energialähteen suosiminen luo kestävämpiä ja riskittömämpiä rakenteita tulevaisuutta ajatellen. Jos kansallisella tasolla olisi mahdollista rakentaa energiastrategiaa sellaisen kivijalan ympärille, joka perustuisi riippumattoman lämpöenergian saamiselle asumiseen, toisi se huomattavasti lisää joustavuutta energiapolitiikan harjoittamiseen.

Mikäli maalämmön ympäristövaikutukset kyetään tunnistamaan ja hallitsemaan, on sen potentiaali lämmitysratkaisuna massiivinen. Sen primäärihyödyiksi voidaan laskea muun muassa lämpöenergiaresurssien rajattomuus ja saasteettomuus, jotka luonnollisesti molemmat ovat tunnustettuja tulevaisuuden arvoja. Sekundäärihyödyiksi voidaan vastaavasti luokitella ainakin energiariippumattomuus sekä kollektiivisten energiainvestointien väheneminen; molemmat hyödyt realisoituvat ensisijaisesti valtion tasolla.

Täysin ongelmaton maalämpö ei kuitenkaan ole. Sen tehokkuudesta ei olla vielä täysin varmoja, eikä maaperään tehtävien porausten lopullisia vaikutuksia ympäristöön ole täysin kartoitettu. Yksi syy tähän on se, että suuressa mittakaavassa empiriaa on saatavilla hyvin vähän. Esimerkiksi pohjavesialueiden läpi poraaminen on toistaiseksi kiellettyä epävarmoina pidettyjen seurausten takia, eikä maaperän läpi kulkevien putkistojen heikkouksista tiedetä tarpeeksi. Edelleen maalämmön tuotto ja kustannukset pitävät laskelmina sisällään paljon muuttujia, joiden vaikutukset voivat olla hyvin paljon toisistaan poikkeavia. Pientalojen kohdalla laskelmia jo tunnetaan, ja

niiden loppupäätelmät tukevat pitkälti toisiaan, mutta suurempien rakennusten lämmitysvaihtoehtona maalämpö ei esiinnykään niin selkeänä ratkaisuna. Ongelmaksi muodostuvat ensinnäkin vanhat lämmitysmuodot sekä lämmitettävien tilojen avaruus.

Kustannukset eivät ole ainoa maalämmön suosiota tukeva peruste: energiariippumattomuus itsessään on jo houkutteleva kannustin, eikä kestävän kehityksen aikakaudella vanhanaikaisten, intuitiivisesti epämiellyttävien metodien käyttö paranna enää elämän laatua. Uuden sukupolven kehitysprosessi kysyy muuttuneen arvomaailman läpi suodattuneita ratkaisuja. Erityisesti vanhojen öljyllä lämmitettyjen pientalojen energiaratkaisuksi maalämpö soveltuu kustannuksiltaan hienosti. Eri laskelmien mukaan niin sanottu takaisinmaksuaika pientalojen kohdalla on 6-8 vuotta, jolloin voidaan puhua merkittävistä tuotoista siirryttäessä kyseiseen lämmitysmuotoon. Merkittävää tässä on se, että vuonna 2011 Suomessa oli noin 230 000 öljylämmitteistä pientaloa eli tuleva murros tältä osin energiataloudessa on selkeästi nähtävillä. Oman osansa tähän on kantanut valtio, joka on poliittisilla päätöksillä kiihdyttänyt kuluttajien päätöksiä siirtyä pitkällä tähtäimellä kannattaviin ratkaisuihin.

Lahikainen (2011) on insinööriytössään vertaillut kahta energiankulutukseltaan hyvin erilaista kiinteistöä: isompaa hallirakennusta sekä pientaloa, jonka energiankulutus vastaa nykypäivän rakennussäännöksiä. Ketonen (2012) on vastaavasti opinnäytetyössään käsitellyt maalämpöä laajemmin ja rakentanut samalla suuntaviivoja maalämmön kustannuksille ja takaisinmaksuajoille.

Investointikustannukset järjestelmän rakentamiseksi ovat suuret, mutta käyttökustannukset vastaavasti edulliset, mitä ei kannattavuusnäkökulmasta kannata sivuuttaa. Ketonen (2012, s. 23) toteaaakin heti alkuun, että periaatteena voidaan pitää sitä, että mitä suurempi talo tai tila ja lämmitysenergiakustannukset ovat, sitä kannattavammasi maalämpö tulee. Sinänsä on paradoksi, että toistaiseksi maalämpöinvestoinnit ovat keskittyneet pääasiassa pientaloihin. Maalämmön takaisinmaksuaika, jonka jälkeen ratkaisu alkaa tehdä tuottoa sijoitetulle pääomalle, on oleellinen tekijä. Se vaihtelee lämmönkeruujärjestelmän, lämmönjakotavan, lämpöpumpun valinnan, sähkön hinnan ja vuotuisen energiankulutuksen mukaan. Huomionarvoista on se, että kaikissa muissa kategorioissa paitsi sähkön hinnassa

arvon muutos pysyy maltillisena; teknisten välineiden kohdalla hinnat jopa hyvinkin saattavat laskea. Järjestelmien poistoarvot ovat taas selkeästi pienempiä kuin sähkön hinnan nousupaineet.

Tilastojen mukaan sähkön hinta on noussut vuosien 1992 ja 2012 välillä yli 10 %: vuosivauhdilla. Ketonen (2012) toteaa esimerkkinä, että pientaloissa, joissa on osittain varaava sähkölämmitys, on sähkön hinta energiakustannuksena noussut jopa 13,5 % vuosivauhtia. Kulutukseksi on laskettu noin 20 000 kWh/a.

Vaikka hinnan nousu on ollut melko radikaali viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana, tehdään laskelmat yleensä tiukempien kriteerien mukaan. Usein käytetty arvioitu vuosittainen nousu on noin 5 % sekä sähkön että öljyn yhteydessä, mitä voidaan pitää jokseenkin maltillisena näkemyksenä. 25 000 kWh lämmitysenergiaa tarvitseva pientalo kuluttaa noin 2900 litraa öljyä, joka hinnaltaan vastaa samaa määrää euroja. Sähkön hinnaksi on taas otettu 0,11 €/kWh. Näiden arviolaskelmien mukaan maalämpö voi maksaa itsensä takaisin parhaimmillaan alle viidessä vuodessa. Laskelmissa on otettu huomioon myös verovähennyskelpoinen kotitalousvähennys. Jos laskelma tehdään samoin arvioin, mutta maalämpö hankitaan lainarahalla, jonka korko on 5,5 %, saadaan tulokseksi niin ikään maalämpöön investoimiselle suotuisa johtopäätös.

Lahikaisen (2011) arviot ovat samansuuntaisia. Hän on käyttänyt laskelmissaan 4 %:n energianhinnan nousua ja samansuuntaisia kulutuslukemia kuin Ketonen. Molemmat käyttivät maalämpöpumpun osalta lämpökerrointa 3, joka tarkoittaa sitä, että pumppu luovuttaa kolminkertaisen määrän lämpöenergiaa kilowattitunteina laskettuna käyttämäänsä määrään nähden. Kyseinen kerroin on hyvin realistinen Suomen tämänhetkisen rakennusinfrastruktuuria ajatellen. Yleisesti liikutaan noin arvojen 2-5 välillä.

Hallirakennuksen kohdalla takaisinmaksuaika on aikaisempien laskelmien myös viiden vuoden tienoilla. Tähän vaikuttavat muutamat muuttuvat tekijät, kuten öljykattiloiden hyötysuhde ja sähkölämmityksen muoto. Ilman vesikiertävää lämmitysjärjestelmää takaisinmaksuajat nousivat muutamalla vuodella, mutta

pääoman tuotto oli joka tapauksessa positiivinen verrattain lyhyellä aikavälillä. Pientalon kohdalla isoja eroavaisuuksia ei juuri ollut.

Etenkin sähkö- ja öljylämmityksen substituuttina maalämpö on helppo nähdä tulevaisuudessa. Tämänhetkiset laskelmat tulevat muuttumaan ajan myötä entistä edullisemmiksi, mikä luultavimmin toimii houkutusena kuluttajalle muuttaa lämmitysratkaisujaan. Teho- ja kustannuslaskelmat eivät sinänsä enää tarjoa yllätyksiä, mutta ainoat hidasteet tälle megatrendille voivat olla ympäristösäännökset ja veronkiristykset.

## 4. TUTKIMUS JA TAUSTAMAAILMA

### 4.1. Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen perusteoria rakentuu kirjallisuuskatsauksesta, eikä empiriaa siten esiinny. Lisäksi olen tutkinut merkittävästi erilaisia energiateollisuuden kehitykseen liittyviä artikkeleita. Näitä eri lähteitä käyttäen ja tulevaisuudentutkimuksen menetelmien avulla on hahmoteltu erilaisia tulevaisuudentutkimusajattelun Suomen energiatalouden jatkuvuutta. Erityisesti niin sanottu skenaariotekniikka on avainasemassa, mutta myös löyhästi sovellettua Delfoi-menetelmää käytetään. Työssä liikutaan pääasiassa teoreettisella ja spekulatiivisella tasolla empirian puuttuessa. Eri skenaarioiden rakentaminen perustuu luonnollisesti tulevaisuuden analysointiin, ja tarkoituksena on kuitenkin käyttää hyväksi myös erilaisia tilastoja energiamuuttujista, mutta myös rakentaa visioita taloudellisten ilmiöiden historiallisen kehityksen perusteella. Tulevaisuudentutkimukselle on tyypillistä se, että kaikkia mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä ei yksinkertaisesti ole mahdollista ottaa huomioon: tätä ajatusta luonnollisesti tukee jo mainittu *ceteris paribus* –lähestyminen. Tulevaisuutta ei voida ennustaa, se ei ole ennalta määrätty, ja voimme teoillamme sekä valinnoillamme vaikuttaa tulevaisuuteen (Amara 1981a, b). Tulevaisuudentutkimuksella ei ole luonnollisesti tarkoituksena rakentaa ainoastaan yhtä ainoaa tulevaisuutta vaan luoda erilaisia vaihtoehtoja, joilla on realistinen mahdollisuus toteutua niissä ennakoituissa puitteissa, jotka nykyhetki ja osaltaan menneisyys rajaavat.

Myös tulevaisuuden tutkimuksen oppimateriaalissa (TOPI, 2009) todetaan, että tulevaisuudentutkimus ei ole ennustamista, vaan että se perustuu tiedon analysoinnille ja yhdistämiselle. Objektivisuus koetaan tärkeäksi tekijäksi, vaikka myös tutkijan omat näkemykset ovat tärkeitä. Yksi perusrakennuspalikka prosessissa on ennakoiminen, johon kuuluu niin halu osallistua tulevaisuuden tekemiseen ja suunnitteluun kuin myös ymmärrys siitä, että tulevaisuus on lopulta omissa käsissämme.

Ennen tulevaisuuden verhon raottamista on kuitenkin tehtävä riittävä toimintaympäristön analyysi. Tässä työssä toimintaympäristöä pyritään analysoimaan

pääasiassa vahvassa historian valossa ja polttopiste tullaan säilyttämään kehityskulun askeleissa, jotta voidaan luoda realistiset ensiaskeleet tulevaisuuspoluille. Mutta jotta saisimme kokonaisvaltaisemman kuvan tarkastelemamme toimialan liikkeistä, otamme avuksi myös niin sanotun PESTEL-menetelmän, jonka avulla kykenemme kartoittamaan ympäristön tilaa eri instituutioiden näkökulmasta. Tämä viitekehys pitää sisällään poliittisen (political), taloudellisen (economical), sosiaalisen (social), teknologisen (technological), ekologisen (environmental) ja lainsäädännöllisen (legal) aspektin, ja ideana on saada uskottava työkalu analysoitaessa niitä toimintaympäristötekijöitä, joilla voi olla merkittäviä vaikutuksia tulevaisuuden muutoksissa. Tämän institutionaalisen viitekehysten avulla yritämme linkittää nykyisyyden ja tulevaisuuden moniulotteisesti, ja kullakin hahmotellulla tulevaisuuspolulla pyritään rakentamaan jokaisen parametrin suhteen realistinen päätelmä.

#### **4.1.1. Skenaariomenetelmä**

Skenaariomenetelmä on tunnetuin ja käytetyin tulevaisuudentutkimusmenetelmä. Skenaario itsessään määrittellään kuvaukseksi tietystä tulevaisuuden tilanteesta, jonka kehittymiseen ovat vaikuttaneet erityinen sarja johdonmukaisia tapahtumia. Godet (1997) jakaa skenaariot kahteen pääkategoriaan. Nämä eroavat toisistaan ajallisen lähtöpisteensä suhteen. Eksploraatiivisten eli tutkivien skenaarioiden lähtökohta on nykyhetkessä, josta edetään eri valittuja polkuja pitkin kohti tulevaisuutta. Menetelmän tukijalkana toimii menneisyydestä nykyhetkeen tapahtunut kehityskulku, jonka avulla pyritään seuraamaan mahdollisesti samankaltaisena jatkuvia kehityslinjoja tulevaisuudessa. Eksploraatiivisuus on tässä tutkielmassa keskeisessä asemassa. Toinen lähestymistapa on normatiiviset eli tavoitteelliset skenaariot. Tässä menetelmässä edetään vastaavasti päinvastaiseen suuntaan: lähtöpiste on tulevaisuudessa ja päätepiste nykyhetkessä. Normatiivisille skenaarioille on ominaista se, että hahmotellut tulevaisuuskuvat ovat joko tavoiteltuja tai pelättyjä, ja ne ovatkin siten usein yrityksien suunnitteluelimissä käytettyjä apuvälineitä, jotta muun muassa eri uhkakuvia kyettäisiin tunnistamaan.



Ennen tutkimuksen aloittamista on ymmärrettävä myös skenaarioiden laaja-alaisuus. Muun muassa Mannermaa (1999) jaottelee ulottuvuuden monosektoraalisiin ja multisektoraalisiin skenaarioihin. Edeltävässä on huomioitu ainoastaan yhden instituution, kuten esimerkiksi jonkin tieteenalan tai talussektorin tapahtumia, kun taas jälkimmäinen keskittyy useampaan kokonaisuuteen samanaikaisesti. Energiasektorin tulevaisuuspohdintoja tehdessä on mielekästä ottaa monitieteinen lähestymistapa, koska globaali markkinatalous on voimakkaasti riippuvainen energiatuotannosta. Multisektoraalisia skenaarioita pidetään yleisestikin tutkimusmenetelminä mielekkäämpinä, koska vaikuttavat tekijät tulevat usein oman toimialueen ulkopuolelta. Mitä monimutkaisempi tutkimuskenttä kuitenkin on, sitä enemmän se luo haasteita.

Skenaarioiden luominen prosessina perustuu huolelliseen suunnitteluun. Schoemaker (1995) listaa kymmenen askelta itse rakennusprosessissa. Kaikkia näitä ei ole suoraan käytetty tässä tutkielmassa, mutta joitain niistä osittain soveltaen on saatu kokonaisprosessi ehjäksi.

1. Tarkastelun aikaväli ja laajuus. Tämän työn skenaariot ulottuvat noin vuoteen 2050, ja laajuus rajataan käytännössä Suomen rajojen sisäpuolella tapahtuviin merkittävien talousilmiöihin, joskin vaikuttavat makrotaloudelliset sokit tulevat ulkopuolelta.
2. Merkittävät sidosryhmät. Energiatalouteen liittyvinä sidosryhminä käsitellään eri tuottajat ja tuotantomahdollisuudet sekä kuluttajaparametrina sähkön ja lämmön kulutus.
3. Perustrendit. Fossiilisten polttoaineiden kallistuminen on keskeinen trendi, ja toisaalta energiasektorin monimuotoistuminen enteilee tulevista megatrendeistä.
4. Merkittävät epävarmuustekijät. Tärkein epävarmuustekijä on energian riittävyys. Lisäksi energiateknologian ja talouskasvun kehitys katsotaan epävarmoiksi.
5. Alustavat skenaarioteemat. Abstraktiksi skenaarioteemaksi on valittu pessimistisyys energian riittävyyden suhteen.
6. Johdonmukaisuus ja vakuuttavuus. Energiatalouden historia antaa melko turvallisen lähtökohdan luoda tulevaisuuskuvia. Tosin laaja-alaiset skenaariot saattavat olla myös kiistanalaisia.

7. Oppimisskenaariot. Ulkoiset sokit tuovat tutkimuskohteeseen usein niin sanotun ensireaktion, jonka avulla taas tapahtumien ketjureaktiota on mahdollista ruveta hahmottamaan.
8. Tutkimustarpeet. On ymmärrettävä sokkien vaikutus makrotalouden instituutioihin ja sitä kautta energiatalouden kehityssuuntaan.
9. Kvantitatiiviset mallit. Tässä työssä ei ilmiöille ole varsinaisesti annettu lukuarvoja, joten syy-yhteyksiä yritetään ymmärtää enemmän teoreettisella tasolla.
10. Kehitys kohti päätöksentekoskenaarioita. Lähinnä yrityksen strategioita varten tarkoitettu työvaihe on jätetty tästä työstä tietoisesti pois.

Skenaariomenetelmän etuihin voidaan laskea se, että se on erityisen hyvä pitkän aikavälin ennakointiin. Kun skenaarioita laaditaan useita, mahdollistaa se myös paremmat valmiudet kohdata muuttuvaa ympäristöä. Lisäksi ajatusmallien rakentaminen on helpompaa, mitä enemmän työkaluja on käytössä. Kahn et al. (1967) toteavatkin, että skenaarioiden ideana on herättää kiinnostus useampaan mahdolliseen tulevaisuuskuvaan, jolloin muun muassa heikot signaalit tulevat todennäköisemmin esille. Hyviksi puoliksi katsotaan myös ymmärrettävyys. Skenaariot on usein esitetty selkokielellä, jolloin varsinaisen tekstin omaksuminen ei vaadi erityistaitoja.

Skenaariomenetelmää on tavallisesti käytetty pääasiassa yritysten strategiatyössä, mutta sen sovellusala on levinnyt vuosien saatossa laajalle. Siksi myös energiatalouden tulevaisuuden näkymissä skenaarioajattelulla voi olla merkittävä rooli. Erityisesti energian riittävyyden näkökulmasta katsottuna olisi kyseenalaista ummistaa silmät erilaisten energiaskenaarioiden edessä.

#### **4.1.2. Delfoi-menetelmä**

Delfoi-menetelmä on tulevaisuustutkimuksessa usein käytetty työkalu. Empiirisen luonteensa takia sille ei kuitenkaan ole annettu tässä työssä kovin suurta painoarvoa, koska työn tutkimusvaiheet ovat kohdennettu kirjalliseen lähdemateriaaliin. Lähinnä tarkoituksena on ollut soveltaa Delfoi-menetelmän ideologiaa, jotta saataisiin rakennettua vartenotettavia johtopäätöksiä esimerkiksi artikkeleita tutkien. Suomalainen Osmo Kuusi on kehittänyt Delfoi menetelmää vuorovaikutteisemmaksi,

ja hänen käyttämänsä menetelmää kutsutaankin argumentoivaksi Delfoiksi. Alkuaikoina menetelmää käytettiin ainoastaan teknologisen kehityksen ennakointiin, mutta muun muassa Myllylä (2002) toteaa sen levinneen esimerkiksi yhteiskunnallisten tavoitteiden tärkeysjärjestyksen määrittelyyn ja muihin abstraktimpiin teemoihin. Kaiken kaikkiaan Delfoi-menetelmää voi soveltaa hyvin monenlaisten instituutioiden tulevaisuusarvioinneissa.

Delfoi-menetelmä perustuu anonyymiin kyselylomakkeeseen, johon vastaa huolellisesti valittu asiantuntijapaneeli. Sen jäsenten valintaan vaikuttaa luonnollisesti tutkimusongelman aihepiiri ja luonne. Menetelmän paras mahdollinen onnistuminen edellyttää tarkkaa tutkimuskysymyksen määrittelyä. Anonymiteetin peruste on taas se, että kukaan ryhmän jäsenistä ei sosiaalisen paineen alaisena provosoidu vastaamaan omaa todellista näkemystään poikkeavasti. Saadut vastaukset analysoidaan, ja tuloksista voidaan joko tehdä lopullinen päätelmä tai sitten niistä saadaan ikään kuin välitietoja, joiden avulla voidaan järjestää uusi kyselykierros ja kehittää siten tutkimusta eteenpäin. Tätä tarkoitetaan tutkimuksen iteratiivisuudella. Itse kyselymenettely voidaan toteuttaa haastatteluina tai lähetettynä lomakkeena. Kuusi et al. (2001) toteavat kuitenkin, että on huomionarvoista mieltää näiden kahden vastausprosenttien eroavaisuus: haastatteluissa lukema on korkea, mutta lähetetyissä kyselyissä se jää usein noin 50 % tasolle.

Kriittisiksi tekijöiksi Delfoi-menetelmässä määritellään ensinnäkin asiantuntijaraadin valinnan onnistuminen. Tässä työssä on yritetty valita tietopohjaksi mahdollisimman laadukkaita ja luotettavia julkaisuja, jotta kehityksen jatkumisen voitaisiin katsoa tapahtuman mahdollisimman realistisin perustein. Anonymiteettikriteerit eivät luonnollisestikaan täyty, mutta toisaalta lähteet ovat valittu pääasiassa toisistaan riippumattomasti. Toiseksi, tutkimuksen tekijän perehtyneisyyteen suhtaudutaan kriittisesti. Tämän tutkimuksen motiivi on lähinnä ollut energiasektorin kiinnostavuus, mutta varsinaisen asiantuntijuuden voidaan katsoa olevan puutteellista, vaikkakin energiateemaan on perehdytty jo pitkään harrastusintressein. Kolmas kriittinen tekijä on vastausten analysoinnin tarkkuus ja siitä raportointi. Energia-ala tarjoaa monta temaattista suuntaa, joten lähdemateriaalin analysointi etenkin tulevaisuutta varten on ollut haasteellista. Näiden kriittisten näkökulmien löysä ote tukee erityisesti sitä

ajatusta, että tässä tutkimuksessa ainoastaan viitataan Delfoi-tekniikan olemassaoloon, eikä sitä pidetä keskeisenä työkaluna.

#### **4.1.3. Muita näkökulmia**

Edellä mainittujen menetelmien ohella hyödynnetään muun muassa toimintaympäristön analyysia ja heikkojen signaalien etsimistä. Heikko signaali määritellään tapahtumaksi, joka antaa mahdollisen sysäyksen suuremmalle muutokselle tulevaisuudessa. Mannermaa (1999) toteaa, että heikkojen signaalien havaitseminen on vaikeaa, mutta toisaalta ne ovat erittäin mielenkiintoisia tutkimuksen palikoina. Esimerkki heikosta signaalista voisi olla vaikkapa matkapuhelinyhtiö Nokian 1990-luvulla kehittämä tekstiviestipalvelu, jonka seurauksena informaation siirto puhelimitse on kehittynyt mammuttimaiseksi ilmiöksi. Muun muassa suomalainen tulevaisuuden tutkija Osmo Kuusi (1999) tarjoaa työkaluja tätä ilmiötä varten. Koska energiateollisuus on vahvasti sidoksissa huipputeknologiaan, on luonnollista, että esimerkiksi juuri heikkoja signaaleja haetaan teknologisen kehityksen piiristä. Heikkojen signaalien eräänlainen vastakohta ovat megatrendit, jotka voivat hyvin olla johdannaisia heikoista signaaleista. Mannermaan (1999) mukaan megatrendiksi mielletään laajasti levinnyt trendi, joka tavallisesti vahvistaa itse itseään ja jatkaa siten voimakasta kehitystään tulevaisuudessa. Näistä yksityiskohtiakin sisältävistä teemoista voidaan mielekkäällä tavalla rakentaa lähtökohtia myös skenaarioajattelun pohjaksi. Yleisesti ottaen onnistuakseen tehtävässään tutkijan on ymmärrettävä tulevaisuudentutkimuksen määritelmällinen aspekti laajemmassa mittakaavassa.

Tulevaisuudentutkimus itsessään on kokenut kehitysharppauksia menneisyyden uskomuksiin perustuvista ajoista nykyisyyteen ja tietoperusteiseen ajatteluun. Antiikin aikojen jälkeen ala on muuttunut tieteellisemmäksi, ja nimenomaan tiedonalana se on verrattain uusi. Malaska (2003) määrittää tulevaisuudentutkimuksen tieteelliseksi lähtökohdaksi Ossi K. Fletcherin kirjoitukset 1940-luvun lopulta, joissa on käytetty termiä futurologia. Tulevaisuudentutkimus on poikkitieteellinen ja tieteiden välinen tieteenala, jonka päätehtävänä on kartoittaa jonkin ilmiön mahdollisia tulevaisuuden

suuntauksia, tarjoten mahdollisia, vaihtoehtoisia ja todennäköisiä tulevaisuuksia (TOPI, 2009).

Tulevaisuudentutkimus ei siis ole suinkaan uusi keksintö, vaan sen juuret ovat Antiikin Kreikassa asti. Silloin niin kutsuttuina futuristeina toimivat oraakkelit, ennustajat, jotka olivat yhteiskunnan kehityksessä ja päätöksenteossa vahvasti mukana visioidensa myötä. Tulevaisuudentutkija Bell (1997b) kertoo kuinka esimerkiksi tunnettu filosofi Platon oli aikansa merkittäviä tulevaisuudenajattelijoita. Erityisesti hänen teoksensa Valtio on hyvä esimerkki utopistisesta ajatusmallista. Utopia, joka on toivottu tulevaisuudentila, oli selkeästi päämääränä tulevaisuuteen kohdistuvissa ennusteissa, ja siten jonkinlainen optimismi pystyttiin säilyttämään päätöksenteossa. Toisaalta ei-toivottuja skenaarioita apuna käyttäen on mahdollista saada vastainvoimaa hahmoteltaessa eri kehityspolkuja.

On tärkeää mieltää, että skenaarioita pohdittaessa ei puhdas tieto tai tiede ilmene ainoana merkittävänä vaikuttimena. Tärkeänä katalysaattorina toimii tutkijan itsensä ominaisuudet ja kyvyt. Tulevaisuudentutkimuksessa keskeisinä pääpiirteinä esiintyvät tutkijan omat arvot perustelluissa ja loogisissa lopputuloksissa. Bell (1997a, s. 73) määrittelee tulevaisuudentutkimuksen lähtökohdat seuraavasti: etsiä, löytää, keksiä, tutkia, arvioida ja ehdottaa mahdollisia, todennäköisiä ja haluttuja tulevaisuuksia. Jokainen tutkija on luonnollisesti omanlaisensa yksilö, ja johtopäätöksissä onkin usein nähtävissä vahvuuksien ja toisaalta heikkouksien muovaamia realiteetteja. Yksi on hyvä arvioimaan, toinen taitava keksimään ja kolmas tarkka tutkimaan. Siten tulevaisuudentutkimus on usein tiimityötä, jolloin eri näkökulmat ja vahvuudet saadaan synergisesti kietoutumaan optimaalisesti toisiinsa.

## 4.2. Taustamaailma

Eri tulevaisuuspolkujen muodostamisessa perustana olevat isot makrotaloudelliset sokit antavat koko skenaariotutkimukselle mielenkiintoisen ja merkityksellisen luonteen. On kuitenkin hyväksyttävä se tosiasia, että vaikka jokainen polku on realistinen, niin yhdenkin toteutuminen sellaisenaan on hyvin epävarmaa. Makrotaloudellisten muuttujien käyttö helpottaa kausaalisuuden ymmärtämistä ja siten eri tulevaisuusnäkökymien hahmottamista. Koska tulevaisuuden ennustaminen on hyvin ongelmallista, on tässä yhteydessä tärkeää kyetä pelkistämään kokonaisuuksia ja siten oppia tekemään johtopäätöksiä seuraavan aikaperiodin tapahtumista. Ceteris paribus –ajattelutapa tukee tätä oivallisesti.

Tulevaisuustutkimus on aina vahvasti tulkinnanvaraista. Erityisen hedelmällisen siitä tekee se, että kukin tutkimuksen lukija voi löytää uusia näkökulmia ja ottaa eri sivuaskeleita edetessään kohti omaa tulkintaansa. Jopa vastaväitteet ovat tervetulleita. Mielestäni tällaisten tutkimusten perimmäinen tarkoitus onkin rohkaista ajattelemaan myös vaihtoehtoisia polkuja, joilla on lupa sivuta voimakkaasti itse tutkimusta.

Joistakin lähtökohtaisista asioista on hyvä kuitenkin olla yhtä mieltä. Tällaisista oletuksista syntyy skenaarioiden taustamaailma. Fossiilisten polttoaineiden kallistuminen on jo hakattu kiveen, mutta on olemassa muitakin tärkeitä muuttujia, joiden kehittymisestä on suhteellisen helppoa muodostaa konsensus. Tavallisesti muutokset ovat olleet hitaita maailman historiassa riippumatta toimialasta tai instituutiosta, eikä muutoksen aloittavaa voimaa ole helppoa useinkaan havaita.

Tietyt populaation ominaisuuksiin liittyvät trendit pienessä kansantaloudessa, kuten Suomessa, ovat kuitenkin melko helposti arvioitavissa, jolloin voidaan muodostaa inhimillinen tukiranka eri skenaarioille. Eri instituutiot ovat löytäneet melko vakaan konsensuksen muun muassa väestön demografisten ominaisuuksien kehityksessä. Esimerkiksi ikääntymisen perusteella tehtävät oletukset voidaan katsoa verrattain vakaiksi hitaan muutosvauhtinsa takia.

Alla on eriteltyinä muutama Suomelle ominainen tekijä, jotka koskevat kutakin skenaariota, vaikka ulkopuolelta tulevat muutokset olisivatkin toisistaan voimakkaasti poikkeavia.

*Väestö:* kasvua tapahtuu maltillisesti, koska maahanmuutto on kiihtymään päin. Kantaväestön kasvu on hitaampaa, mikä tarkoittaa ikärakenteen muuttumista; väestö vanhenee.

*Ostovoima:* näyttää heikkenevän, koska talouden kasvun ennustetaan olevan korkeintaan hitaalla ja pitkällä uralla, mikä aiheuttaa maltillista tulojen kasvua. Muun muassa maailman voimakkaasta väestönkasvusta johtuva elintarvikkeiden kallistuminen huonontaa ostovoimaa entisestään. Myös suomalaisen väestön vanheneminen aiheuttaa mitä todennäköisimmin julkisten menojen kasvua, jolloin julkiseen talouden hoitoon kohdistuu yhä enemmän paineita.

*Kaupungistuminen:* jatkaa kiihtymistään taloudellisen rakennemuutoksen ohjaamana. Perustuotanto vähenee tasaisesti ja erityisosaamista vaativat alat kasvavat ollen symbioosissa kaupunkikeskittymien kanssa. Maaseutu jatkaa siten autioitumistaan.

## 5. ENERGIATALOUDEN TULEVAISUUS JA RISKIT

### 5.1. Fossiilisten polttoaineiden romahdus

*Mahdollinen tulevaisuuspolku: Eurooppa yhä yhtenäinen niin Unionin kuin rahaliitonkin osalta, mutta talous hitaalla kasvu-uralla. Poliittinen paine kohdistuu energiaongelman ratkaisuun. Fossiilisten polttoaineiden tuotanto romahtanut äkillisesti. Muutos odottamattoman nopea.*

Poliittinen maailma on edelleen ideologisesti globaali, mutta perinteisen energiaperustan mureneminen on aiheuttanut konkreettista lokalisoitumista eli historiallisesta näkökulmasta paluuta ajassa taaksepäin. Hubbertin öljyhuipputeoria on realisoitunut ennakoitua radikaalimmin, eikä paluuta fossiilisten polttoaineiden aikakauteen enää ole. Öljytuottajamaiden vajavainen tiedotuspolitiikka, kartellit ja tuotannollinen epäjärjestelmällisyys aiheutti verrattain nopean romahduksen öljyn tuotannossa, johon maailman kehityskulku ei ollut valmis. Tämä aiheutti talouteen voimakkaan sokin tuotantokustannuksellisista syistä ja etenkin pitkien välimatkojen Suomessa vaikutus oli kumulatiivinen. Energiansaanti, etenkin teollisuuden kustannusparametrina, oli osaltaan hyvin ratkaisevassa asemassa. Hyödykkeiden tuotantoprosessin yksi laajimmista kustannuksista, energiakustannukset, merkittävä reaalinous muutti prosesseja vähemmän kannattaviksi, jolloin hyödykkeiden hinnat nousivat, ja niiden kysyntä laski. Talous vaipui osittaiseen stagflaatioon, joka ei suinkaan ole uusi ilmiö maailman historiassa: 1970-luvun öljykriisin aikaan tuotantokustannukset räjähtivät käsiin, jolloin inflaatio kohosi voimakkaasti, mutta samalla tuotanto laski, mikä taas lisäsi työttömyyttä. Toisaalta, Suomen vahva palveluyhteiskunta tukee taloutta toisesta suunnasta.

Energiatalouden rooli on toisin sanoen vahvasti inflaatiota ohjaava, ja siten huoli energian riittävydestä ja sen hinnannousun maltillisuudesta oli aiheellinen. Euroopan keskuspankki joutui vaikean paikan eteen, ja sen oli pakko purkaa säilyneitä vakausrahoja, jotta riittävä tuotantotaso pystyttiin säilyttämään. Suomelle Euroopan unionin jäsenyys oli osittainen onni, koska Suomi tunnetusti elää vahvasti viennistään. Maan bruttokansantuotteesta yli kolmasosa päättyy muiden maiden kulutukseen:



esimerkiksi vuonna 2010 luku oli 38,9 % (Elinkeinoelämän keskusliitto, 2011), mikä tarkoittaa sitä, että paitsi vientituotteiden laatu, myös hinnat tulisivat olla kilpailukykyiset. Energiansaannista ja sen hintakehityksestä on tullut entistä kriittisempiä tekijöitä. Reaalisten hintojen riistäytyminen olisi ajanut Suomen vaikeaan taantumaan kilpailukyvyyn massiivisen heikkenemisen seurauksena, mutta koska koko Eurooppa on edelleen niin sanotusti samassa veneessä, niin Suomen suhteellinen taloudellisen aseman heikentyminen on ollut pelättyä pienempi. Materiaalisten tuotteiden ulkomaankauppa on kuitenkin kärsinyt voimakkaasti liikennekustannusten noususta, ja digitaalisessa muodossa tuotetut palvelut muodostavat viennistä valtavan osan. Kouluttautuminen ja osaamisen jalostaminen ovat siten entistä keskeisemmässä roolissa.

Biopolttoaineen tuotantoa on jouduttu lisäämään merkittävästi, ja valtio on joutunut helpottamaan verotuskäytäntöään siltä osin. Suomen on ollut verrattain helppo tehdä ratkaisuja kasviperäisen polttoaineen tuotannon lisäyksestä, koska se ei juuri vähentänyt Suomessa tuotettujen elintarvikkeiden määrää. Tästä huolimatta liikenteen rakenteet alkoivat elää murrosvaihetta. Sähköautojen markkinaosuus kasvoi merkittävästi ja on jatkanut voittokulkuaan tasaisesti. Kaupunkien sisäisen liikenteen painopiste siirtyi yhä kevyempään muotoon: yksityisautoilu vähentyi tuntuvasti ja tilalle tulivat perinteiset polkupyörät ja erilaiset sähkökäyttöiset skootterit ja pyörät. Kaupungit joutuivat investoimaan huomattavasti raideliikenteeseen julkisen liikenteen säilyvyyden vuoksi. Kaikissa suurimmissa suomalaiskaupungeissa toimii kevyt raitiotieverkko keskusta-alueella.

Sosiaalisesti yhteiskunta koki huomattavia muutoksia. Asutus levittäytyy pääasiassa raideliikenteen ympärille. Polttomoottoreihin perustuvan liikenteen kallistuminen kiihdytti kaupungistumista entisestään, koska ihmiset pyrkivät optimoimaan välimatkojaan eri instanssien välillä, jotta arki olisi mahdollisimman taloudellista. Maaseudulla kehitys on ottanut askeleen taaksepäin primitiivisempään suuntaan. Puuta käytetään jälleen yhä enemmän lämmitystarpeisiin. Maatalous kärsi kapasiteetin puutteesta, koska entisestään kallistuneen ruoan takia paine kotimaista elintarviketuotantoa kohti kasvoi.

Nord Poolin toiminta vahvistui entisestään pakon edessä, koska pohjoismaisen energiayhteistyön katsottiin olevan ehdottoman välttämätöntä, jotta riittävä ja edullinen energiansaanti pystyttäisiin turvaamaan. Hallitus joutui myös ajamaan läpi helpotuksia turpeen käytölle, jotta Nord Poolin tehokkuutta pystyttäisiin lisäämään. Vaikka Venäjän maakaasua vielä käytetään, on sen substituutiovaikutuksesta aiheutunut väistämätön hinnan nousu ajanut monet kotitaloudet palaamaan myös vanhanaikaisiin ratkaisuihin, ja valtio on pakon edessä runnonut merkittäviä verohelpotuksia edistääkseen maalämmön käyttöä.

Kiinan ja Intian ollessa maailman talousmahteja, niiden energiatarve ja toisaalta maksukyky on kannustanut Venäjää viemään maakaasuaan tuottavammille energiamaarkkinoille. Suomi on siten vähentänyt maakaasun kulutustaan. Ydinvoimaan jouduttiin kääntämään katseet ainakin vielä kerran. Loviisan ja Olkiluodon voimaloiden lupia jouduttiin jatkamaan, ja niiden huoltamiseen ja turvallisuuteen keskityttiin erityisellä huolellisuudella.

*Energialalous: Nord Pool vahva, mutta yleisesti sähkön hinta korkea. Lämpöenergia tuotetaan mahdollisimman paikallisesti; syrjäseuduilla puunkäyttöä jouduttu jälleen lisäämään. Liikenne osittain lamaantunut; julkinen, pääasiassa raideliikenne, toimiva.*

## **5.2. Euroopan disintegraatio**

*Mahdollinen tulevaisuuspolku: Euroopan rahaliitto hajonnut, ja Euroopan unionin rakenteita heikennetty. Ainoastaan EY-tuomioistuin katsotaan yhtä vahvaksi kuin ennenkin. Jokaisella Euroopan maalla oma rahapolitiikkansa: inflaatiot ja korot ja valuuttakurssit eroavat suuresti. Muutos osittain odotettu, mutta nopea.*

Poliittinen Eurooppa on hajonnut, ja jokainen valtio harjoittaa itsenäistä rahapolitiikkaa. Euroopan unionin yksi keskeisistä päätavoitteista oli inflaation kontrollointi, joka tapahtui käytännössä Euroopan keskuspankin implementoiman rahapolitiikan keinoin. Hallitsematonta inflaatiota pidetään yleisesti makrotalouden kannalta tuhoisana. Euroopan talousmyllerryksen pahin pelko 2010-luvulla, rahaliiton

mureneminen ja paluu vanhaan kansallisten keskuspankkien hallinnoimaan rakenteeseen, toteutui lopulta monen pettymykseksi. Euroopan tasaisen kehityksen ja yhteisen vaurastumisen aikakausi kaatui ainakin hetkellisesti. Tältä kantilta Eurooppa otti taka-askeleen, ja talouden indikaattorit, joista tärkeimpänä ehkäpä juuri inflaatio, kertoivat epävakammista ajoista.

Inflaation kehityksessä odotuksilla on suuri merkitys, ja Euroopan keskuspankin kontrollin poissa ollessa epävarmuus kansallisilla tasoilla lisääntyi. Hollandin (1984, s. 19) mukaan korkeampi tämän hetkinen inflaatio johtaa suurempaan epävarmuuteen tulevasta inflaatiosta. Suomi kärsi Euroopan hajoamisen jälkeen kohonneesta inflaatiosta, koska Euroopan tasolla vahvan talouden valuutan kysyntä kasvoi, ja tuotantokustannukset ovat edelleen kalliita. Ekonometrisin työkaluin mallinnettu inflaation ja odotuksien korrelaatio ei lupaa hyvää tulevaisuudellekaan (tarkennus liitteessä 2). Inflaation hallitsemista auttoi kuitenkin ennen 1990 –luvun lamaa tapahtuneet toimet ja niistä opitut läksyt. Hallitus oli valmiimpi jopa katastrofiin, joten maltillinen rahapolitiikka suitsi hintatason nousua mahdolliselta ylivuodolta.

Suomen suurin etu hajoamisen hetkellä oli hallittavissa oleva velkataakka. Toisin kuin monella muulla, etenkin Etelä-Euroopan maalla, ovat Suomen finanssirakenteet hyvässä kunnossa, jolloin ostovoimaan ei kohdistunut ylitsepääsemättömiä paineita, vaan talouden notkahdus perustui ainoastaan korkeisiin kustannuksiin. Korkean teknologisen osaamisen säilyminen rakentui kansainvälisen kaupan tukirangaksi, ja tärkeät kauppakumppanit pysyivät kaupankäynnin ankkureina. Talous elää kuitenkin epävarmoja aikoja, ja Suomi hakee uudelleen roolia kansainvälisessä pelikentässä.

Sosiaalinen elämä muuttui sulkeutuneemmaksi. Valtioiden rajoille tuli enemmän valvontaa, ja maahanmuutto vaikeutui. Suomen on ollut kuitenkin pakko suhtautua työperäiseen maahanmuuttoon suopeasti. Positiivisena ilmiönä on ollut nähtävillä kantasuomalaisen väestön huomiointi, etenkin syrjäytyneiden osalta. Ihmiset kokivat, että kaikkien on osallistuttava talkoisiin, jotta entistä itsenäisempi valtio saadaan menestyksen uralle jälleen.

Pohjoismainen Nord Pool ei kärsinyt Euroopan hajoamisesta, koska Norja ei ensinkään kuulunut EU:hun, eikä Ruotsikaan ollut osa rahaliittoa. Yhteistyön perustat

luotiin käytännössä itsenäisesti, mikä toimi kivijalkana Euroopan romahduksessa. Energiayhteistyön ei kuitenkaan odoteta jatkuvan enää laajemmin Euroopan tasolle.

*Energiatalous: Nord Pool edelleen melko vahva, mutta laajempi yhteistyö jäissä. Sähkön hinta nousut odotetun maltillisesti. Lämpöenergian tuotanto jatkaa tutulla kehityspolulla: hidas muutos kohti kestävämpiä ratkaisuja kiihtyy tasaisesti. Ei radikaaleja sokkimuutoksia sähkön tai lämmön suhteen. Liikenne tasaisessa kasvussa parantuneen energiatehokkuuden ansiosta.*

### **5.3. Ilmastomuutos**

*Mahdollinen tulevaisuuspolku: Talouskriisien jälkeen Eurooppa onnistunut yhtenäistymään ja tiivistymään entisestään. Ilmastonmuutoksen seuraukset olleet kuitenkin odotettua rajumpia: talvet hyvin kylmiä ja kesät kuumia sekä vähäsateisia. Voimakkaista myrskyistä sekä tulvista kärsitään koko mantereella sekä syksyisin että keväisin. Muutos odotettu ja suhteellisen hidas.*

Poliittisesti Eurooppa on säilyttänyt yhtenäisen rakenteensa, ja taloudellinen ilmasto säilynyt melko lailla entisellään. Koko manner, Suomi mukaan luettuna, on jatkanut maltillisella talouskasvu-uralla. Perusteellisuus on yhä enenemässä määrin supistunut, mutta toisaalta erityisosaaminen ja elinvoimaiset palvelualat ovat säilyttäneet Eurooppalaisen kilpailukyvyn. Suomi on kasvanut malliesimerkiksi rakennemuutoksen joustavuudesta. Nokian kaltaiset mammuttiyritykset ovat vaihtuneet pienempiin ja ketterämpiin, hyvin hienosäätöistä erityisosaamista hallussaan pitäviin pk-yrityksiin, joiden vahvuutena on nimenomaan jatkuva sopeutuminen maailmanmarkkinoihin. Voimakas ilmastomuutos ohjaa myös talouden muutosta.

Koska Suomessa isot investoinnit etenkin yksityissektorilla ovat edelleen harvinaisia, on erilaisten tuotteiden ja ratkaisujen kehitystoiminta keskittynyt pieniin ja nopeisiin yksiköihin. Heikoksi signaaliksi mielletty yrittäjyyden lobbaus onnistui pitkällisen ja kärsivällisen prosessin seurauksena ja trendiksi kehittyi, että aina tuorein sukupolvi suhtautui yhä myönteisemmin yrittäjyyteen. Työelämän joustavuus on tuonut parhaat

puolensa esille, ja töissä viihtyminen on kasvanut niin, että sen vaikutus tuottavuuteen on eri tutkimuksissa osoittautunut kiistattomaksi. Verrattain edulliset palveluratkaisut ovat avanneet myös uusia, isompia ovia suomalaiselle viennille. Koulutuksesta on noussut Suomen näkyvin vientiartikkeli, jonka piiriin kuuluvat myös jotkut pienemmät erikoisalat, kuten lentokenttäturvallisuus. Voidaan puhua ilmiönä megatrendistä.

Sosiaalinen ilmapiiri ei ole kokenut suuria muutoksia. Suomalainen väestö on onnistuttu pitämään koulutettuna, eikä kaupungistumisen jatkuminen ole tuonut lisää merkittäviä ongelmia. Yksi merkittävä, vaikkakin pitkäkestoinen edistysaskel oli saada nuoret miehet palvelualoille. Nuorten miesten syrjäytymistä ei ole saatu kuitenkaan täysin kitkettyä, vaan ongelman kanssa painitaan edelleen. Yrittäjyyden lisääntyminen on pitänyt työttömyyden aisoissa, mutta juuri tietyn demografisen ryhmän syrjäytyminen ja äkisti työttömäksi jääneiden keski-ikäisten ihmisten olemassaolo asettaa poliittisia haasteita. Eläkkeelle siirtymisen rakenteita jouduttiin muuttamaan joustavammiksi samalla kun eläkeikärajaa nostettiin. Työelämän haasteisiin kuuluu edelleen ikäsyrjinnän torjuminen, joskin vähemmän raskasta työtä tehneet uuden sukupolven seniorit ovat terveempiä kuin edeltäjänsä ja siten ovat valmiimpia olemaan työelämässä. Eläkkeelle siirtymisen pehmentäminen on jatkuvasti tapetilla, ja entistä kehittyneempiä työelämänjoustoja haetaan edelleen.

Energiasektorilla on oltu valppaina. Maalämpö asumisessa on lisääntynyt tasaisesti, ja julkista liikennettä siirrettiin systemaattisesti raiteille. Lisäksi biopolttoaineiden tuotantoa kasvatettiin, jotta Suomen maantiekuljetus ei kärsisi liikaa. Sähkön tuotannon helpottuminen on lisännyt myös hybridautojen määrää liikenteessä. Toisin sanoen öljyn kysyntää onnistuttiin vähentämään suunnitellusti ja vaihtoehtoisia ratkaisuja rakennemuutoksen rinnalla onnistuttiin tekemään. Osansa oli valtiolla, joka ympäristön määrittämin veroratkaisuin kannusti muutoksiin.

Kaiken kaikkiaan energiatilanne Suomessa on kehittynyt verrattain positiiviseksi. Lisääntyneet sademäärät ja voimistuneet tuulet ovat edesauttaneet sähkön hinnan toivottua, maltillista kehitystä sen tuotannon lisääntyttyä. Tuulivoimaloiden lisääntyminen rannikoiden läheisyydessä on helpottanut isojen kaupunkien sähkönjakelua. Tosin, vaikka sähkölämmitys on vähentynyt dramaattisesti, ei sähkön

kysyntä ole laskenut samassa suhteessa: maalämmön lisääntyminen kasvatti sähkön kysyntää omalta osaltaan. Suomen viimeisiä henkäyksiä vetävät ydinvoimalat (pois lukien Olkiluoto 3, jolla toiminta-aikaa vielä riittää) toimivat edelleen energijärjestelmän tukirankana, mutta siirtymiseen ydinvoiman jälkeiseen aikaan on jo valmistauduttu. Turpeen käyttöä ei ole tarvinnut lisätä, joten Suomi ei ole joutunut kiusalliseen tilanteeseen EU –säästösten kanssa, mutta siitä huolimatta turpeen roolia kartoitetaan jatkuvasti, mikäli tulevaisuuden muutokset sitä joskus vaatisivat. Turvetta pidetään ikään kuin energiatalouden vakuutena.

*Energiatalous: Nord Pool laajentunut ja tehostunut. Sähkön reaalihintaa laskenut monipuolisen tuotannon ansiosta. Lämpöenergian tuotanto ottanut pienen kiihdytyksen paikalliseen suuntaan pientuotantolaitosten muodossa: tuuli- ja vesienenergia kannattavampia myös pienessä mittakaavassa. Liikenteen kehityksessä ei mainittavaa muutosta.*

#### **5.4. Ydinvoimasta luopuminen**

*Mahdollinen tulevaisuuspolku: Ydinvoimasta luovuttu Euroopassa kokonaan. Hiilivoimalat merkittävä energianlähde. Venäjän kaasuvarat yhä suuremmassa roolissa. Investoinnit lisääntyneet vaihtoehtoisiin energiamuotoihin. Muutos odotettu ja hidasta.*

Vihreä maailmankatsomus on vallannut poliittisen Euroopan. Koko manner on yhtenäisempi kuin koskaan, ja Saksa veturinaan on koko talousalue onnistunut vetämään itsensä kriisistä ja kohti uutta kestävämpää strategiaa. Johtoajatuksena on tehdä päätöksiä, joiden vastuut ja vaikutukset ulottuvat korkeintaan seuraavaan sukupolveen. Talouden hullut kvartaalivetoiset, pääoman mahdollisimman nopeaan tuottoon tähtäävät vuodet onnistuttiin jättämään historiaan, ja talouden kasvun rakenteita kyettiin pienin askelin tervehtyttämään. Uusiksi tärkeiksi arvoiksi on noussut kollektiivinen hyvinvointi ja työn inspiroivuus. Maksimaalista voitontavoittelua pidetään vanhanaikaisena, koska yltäkylläisessä Euroopassa hyödyn maksimointi ei enää ensisijaisesti perustu perinteiseen kulutukseen tai materiaan, ei välttämättä edes omistamiseen.

Talouskasvu on hyvin maltillista, mutta kestävä ja vastuullista. Hyödykkeiden olemus ja arvo ovat kokeneet renessanssin; kuluttajat haluavat vain välttämättömiä tuotteita, ja kerskakulutus on vähentynyt dramaattisesti muuttuneiden asenteiden seurauksena

Sosiaalisesti on palattu syklinä erään historiallisen ilmiön alkuun. Kaupungistumisen uusi aalto tunnetaan kollektivismina. Energiatarjonnan laskusta aiheutunut yleinen hintojen nousu on pakottanut ihmiset luomaan yhteisöllisiä ratkaisuja niin ruokahuollon kuin liikkumisenkin osalta. Lähi- ja kotiviljely on nostanut osakkeitaan ja uudenlainen, ikään kuin omatoiminen osuuskauppatoiminta on levinnyt koko maahan. Lähtökohtaisesti työn tai toimeliaisuuden ei tarvitse enää tuottaa voittoa, vaikka yritystoiminnasta puhutaankin. Voittoa tuottavat yritykset muodostavat oman, lähinnä vientiin suuntautuvan, sektorinsa. Työtä tehdään entistä enemmän joustavana etätyönä, koska yritykset ovat toimintaansa tehostaakseen karsineet rankasti muun muassa logistiikkakulujaan. Harvaan asutulla maaseudulla turvaudutaan yhä enemmän metsään. Yleisesti ottaen primitiivitarpeet pyritään tyydyttämään lähipalveluilla, ja siksi kotitalouksia koskettavat pieninnovaatiot tuovat uusia ajatusmalleja ja ratkaisuja markkinoille.

Öljyn hinnan nousu on ollut tutun tasaista, joten varsinaisia uusia liikenneratkaisuja ei ole lanseerattu, joskin muun muassa kaupungistumisen aiheuttama joukkoliikenteen suosion kasvu on pienentänyt öljyn kysyntää. Myös tasaisesti jatkunut maalämmön leviäminen on vähentänyt polttoöljyn kysyntää. Isojen autojen kysyntä on vähentynyt radikaalisti, ja liikenteessä onkin suurimmaksi osaksi pienikulutuksisia kaupunkiautoja. Erilaiset interaktiiviset kimpakyytipalvelut ovat kasvaneet räjähdysmäisesti kaupunkien välisillä matkoilla.

Suomalaiset ydinvoimalat puristettiin käyttöikänsä loppuun, eikä uusia enää rakenneta. Suomen vahvuutena on edelleen monipuolinen energian tuotanto, mutta energian tuontiin, etenkin Venäjältä johdettavaan kaasuun on jouduttu tukeutumaan enemmän. Tosin kaasun tuonnin osalta on jouduttu tekemään myös kriittistä riskianalyysia, koska Kiinan ja Intian kaltaiset energiarohmut ovat horjuttaneet energiatalouden globaaleja voimasuhteita. Nord Poolia vahvistettiin muun muassa

lisäämällä paikallista tuotantoa tarkoin suunnitelluin tuuli- ja vesivoimaloin. Siinä missä aiemmin kivijalkana toimi ydinvoima, nyt luotetaan yhä enemmän monipuolisuuteen: strategisesti lämpöenergia pyritään tuottamaan paikallisesti ja sähköenergia taas laajemmassa mittakaavassa.

*Energiatalous: Nord Pool siirtynyt odotetusti kolmannen sukupolven tuotantorakenteisiin: energialähteet yhä monipuolisempia ja älykkäämpiä. Sähkön hinta pysynyt maltillisena. Lämpöenergian tuotanto lähestulkoon täysin paikallista. Liikenteen kasvu hidastunut hieman.*

## **5.5. Verotuksen kohdentaminen ja sopimukset**

*Mahdollinen tulevaisuuspolku: Eurooppa edelleen yhtenäinen. Energiatalouden haittavaikutukset pakottaneet valtiot yhtenäistämään veropolitiikkaansa siten, että kestävä kehityksen energiaratkaisuja tuetaan verohelpotuksin ja toisaalta saastuttamista verotetaan rankasti. Ilmastopimukset elävät historiansa vahvinta aikaa: niin EU kuin muutkin merkittävät talousmahdit sitoutuneet voimakkaasti päästösopimukseen. Muutos odotettu epämääräisesti ja nopea.*

Poliittinen ilmapiiri tiivistyi hieman. Euroopan taloudellinen vakaus on ollut jo pitkään huteralla pohjalla, mutta yleinen uskomus kuitenkin on, että liittouma säilyy. Itse asiassa koko unioni on pienin askelin siirtynyt kohti liittovaltiomallia tavoitteenaan koko toiminnan synkronointi. Veronkiristysten uusin kehitysalto on muuttanut painopistettä rajusti kohti haitakkeita tai haitallisia ulkoisvaikutuksia. Asenne on koko Euroopan laajuinen, ja uudistukset koskevat paitsi saastuttavia energialähteitä, myös alkoholia, tupakkaa, sokeria ja energiajuomia. Siinä missä verotus luo kannustimia, niin kansainväliset ilmastopimukset asettavat rajoituksia, joten painetta on tullut vastakkaisista suunnista. Merkittävä kehitysaskel koko ihmiskunnalle oli se, että tuoreimmat ilmastopimukset onnistuivat sitouttamaan kaikki maailman talousmahdit saman tavoitteen äärelle. Päästökauppasopimuksia kiristettiin, koska aikaisemmillä, löysemmillä sopimuksilla ei tutkimusten mukaan ollut toivottuja vaikutuksia. Ensimmäistä kertaa saasteongelman suhtaudutaan sille



kuuluvalla vakavuudella. Julkinen sektori on ottanut enemmän vastuuta, ja yksityistämisen trendi on hiipunut.

Jo entisestään vaisua talouden kasvua jarruttivat energiaan kohdistuneet vaatimukset. Suomessa on yleistä näätä aiheuttanut jo ennestään korkean polttoaineveron kiristäminen. Yksityisautoilun suosio siten on vähentynyt, ja autoteollisuus on ollut jo pidempään kriisissä. Niin ikään kuljetusyrittäjät ovat nousseet barrikadeille, koska koko maan logistiikkaverkko on kärsinyt nousseista kustannuksista. Tämä näkyy ikävä kyllä myös kuluttajan kukkarossa ostovoiman heikentymisenä entisestään. Perustuotannon vienti on vähentynyt kiihtyvällä tahdilla kannattamattomuuden takia, ja ulkomaankauppa on siirtynyt yhä voimakkaammin digitaalisten palvelujen ja hyödykkeiden vientiin. Rakenteellinen työttömyys, etenkin ammatillisia kouluja käyneiden miesten keskuudessa on edelleen talouden huolena. Kotimaiset markkinat ovat kuitenkin verrattain terveet palvelusektorin ison roolin vuoksi.

Sosiaalisesti on ollut nähtävissä kiusallista eriarvoistumista. Kaupunkien keskusta-asuntojen hinnat ovat nousseet ympärysalueita nopeammin, ja keskustelu pysyvästä hintakuplasta on aiheellinen. Vaikka veronkiristyksien ajatuksena oli kansalaisten olojen parantaminen ja terveemmän ympäristön luominen, on sen haitallisena sivutuotteena ilmentynyt varallisuuserojen kasvu. Köyhimpien liikkuminen on rajoitetumpaa ja keskustassa asuvien rikkaiden suhteellinen varallisuus on kasvanut entisestään.

Suomen monipuolinen energiatuotanto lievensi veroremontin vaikutuksia. Paikallista lämpöenergian tuotantoa on jouduttu valtion toimesta tukemaan, jotta ihmiset eivät joutuisi liian eriarvoiseen asemaan asuinsijaintinsa vuoksi.

*Energiatalous: Nord Poolin toiminnassa ei suuria muutoksia; tuotanto keskittynyt entisestään hieman enemmän kestäviin ratkaisuihin. Sähkön hinta kallistunut huomattavasti. Lämmitysratkaisuissa jouduttu paikallisesti tukeutumaan primitiivisiin metodeihin. Liikenteen kasvu pysähtynyt, mahdollisesti jopa taantunut.*

## 6. PÄÄTELMIÄ

Suomen energiatalouden tulevaisuus vaikuttaa lupaavalta, vaikka pahimmat makrotaloudelliset uhkakuvat realisoituisivatkin. Kehitys on kulkenut jatkuvasti käsi kädessä tuotannollisten trendien kanssa, eikä suurempia resurssipullonkauloja ole esiintynyt. Energiaa on käytännössä aina ollut saatavilla kysynnän tarpeisiin. Historiallisessa valossa katsottuna on ollut hyvin järkevää käyttää monipuolista energiatuotantojärjestelmää hyväksi, ja nimenomaan tällainen vaihtoehtojen kirjo on edesauttanut talouden kasvun katkeamattoman jatkumisen. Näin on ollut mahdollista muun muassa tyydyttää harvaan asutun maan energiakysyntä. On tärkeä kuitenkin ymmärtää, että luonnollisesti metsän rooli on ollut toimia ikään kuin viimeisenä vakuutena erityisesti välttämättömän energian lähteenä. Kaikesta huolimatta mahdolliseen puhtaasti omavaraiseen energiayhteiskuntaan siirtyminen on kaikissa tapauksissa lähinnä utopiaa. Siihen on muutamia painavia syitä: ensiksikin vahvat energiainstituutiot, kuten Nord Pool, tuskin rapistuvat kovin nopealla tahdilla ja toiseksi, erityisesti sähkön tuottaminen harvaanasutussa ja voimakkaiden vuodenaikavaihteluiden maassa itsenäisesti on monimutkaista ja kallista.

Skenaarioiden rakentaminen on aina hankalaa, joskin mielenkiintoista. Tutkittavia kehityssignaaleja on lukematon määrä ja esimerkiksi erityisen tärkeiden heikkojen signaalien löytäminen perustuu enemmänkin todennäköisyyslaskentaan kuin realiteettien kartoittamiseen. Nopeasti muuttuva maailma saattaa asettaa huomaamattomia sudenkuoppia tutkimuksen tielle, jolloin tulevaisuuspolku voi harhautua kiusallisen paljon. Isojen sokkien analysointi tekee työstä aavistuksen selkeämpää, vaikka niistä seuranneet vaikutukset ovat toisaalta hyvin moniulotteiset. Jäsentäminen ja pelkistäminen ovat näin ollen tärkeitä työkaluja. Sokkien tapahtumanopeuden tunnistaminen on olennaisen tärkeää.

Öljyn loppumiseen on jo varauduttu ainakin asenteellisella tasolla, mikä auttaa valtavasti ennakoinnissa, mutta tämäkin ilmiö saattaa tuoda yllätyksiä. Äkillinen ja radikaali hinnan kasvu todennäköisesti myllertää maailman poliittisia ja talousrakenteita, jolloin paikalliset ratkaisut muuttuvat hyvin merkittäviksi. Euroopan hajoaminen voi olla energiataloudellisesti Suomelle jopa suotuisaa: ehjästä taloudesta johtuva oma vahva valuuttaa luultavasti muuttaa energian hintaa suhteessa

edullisemmaksi, koska tuotannolliset olosuhteet eivät mitä suurimmalla todennäköisyydellä muutu. Ilmastomuutoksen radikalisoitumisen seurauksien tulkinnat ovat ongelmallisemmat: tuuli- ja vesivoima hyötyvät, mutta toisaalta esimerkiksi vakavat hirmumyrskyt mutkistavat energian siirtoa. Aiheutuvat kustannukset mahdollisesti kompensoivat mahdolliset hyödyt. Voimakkaat sääilmiöt luultavasti toimivat omalta osaltaan uusien energiaratkaisujen innovaattoreina.

Ydinvoimasta luopuminen on kaikkein järjestelmällisin ja hallituin prosessi. Sen aikajänne ulottuu ainakin 20 vuoden päähän, mihin mennessä vaihtoehtoiset ratkaisut on kartoitettu. Strategiat ovat globaaleja, jolloin jokaisen maan on hyvä mieltää roolinsa isossa pelikentässä. Suomen tilanne ei tältä osin näytä kovin pahalta: teollisuus ja kotitaloudet pystyvät adaptoitumaan tilanteeseen monipuolisen energiasektorin turvin, eikä erityisiä uhkia ydinvoiman loppumisen takia ole nähtävissä. Verotuksen ja tukien kohdentaminen on jälleen kompleksisempi teema. Muutoksen nopeus voi olla yllättävä, ja se voi koskettaa koko yhteiskuntaa. Verojen suunta on kiristävä ja tukien taas tiettyjä ratkaisuja helpottava. Trendinä on muuttua uusiutuvia energialähteitä edullisemmiksi, mikä on ongelmallista Suomelle, koska liikenteen rooli on iso. Muut sektorit kärsivät välillisesti kallistuneista logistiikkakustannuksista, mikä taas luultavasti huonontaa talouden tilaa.

Minkälaisia johtopäätöksiä yleisellä tasolla sitten saatiin? Siinä missä globaali markkinatalous sitoo sektoreita yhteen, on hyvinkin todennäköistä, että energiatalous hajoaa osiin ja lokalisoituu. Etenkin näin näyttäisi käyvän lämpöenergian tuotannossa. Lämmön siirtäminen on kallista ja niukat kollektiiviset resurssit riittävät tulevaisuudessa vain harvoille, toisin sanoen parhaiten maksaville. Suomi jää tässä yhtälössä altavastaajaksi. Massiiviset kasvavat kansantaloudet, Kiina etunenässä, luultavasti haukkaavat merkittävimmät perinteiset energiaresurssit, jolloin pienemmille maille jää mahdollisuudeksi kilpailla ketteryydellä ja uusilla innovaatioilla. Tällaisen kehityksen seurauksena paikalliset ratkaisut ovat odotettuja; itse energia tuotetaan lähellä, se on halpaa ja nopeasti saatavilla. Korkea teknologia ja osaamisen taso ovat mitä ilmeisimmin Suomen valttikortteja. Teknisten innovaatioiden ja luovan ympäristön tukeminen ovat avainasemassa.

Valtion rooli saattaa korostua, mikäli energiasektori hajoaa pienempiin osiin. Vastuuta on osattava ottaa lähempää. Siinä missä verotus luo kannustimia, on muidenkin keinojen vaikutukset otettava huomioon. Investointien kasvattaminen ja rohkeiden ideoiden toteuttaminen tulee olemaan elintärkeää. Kyse ei ole pelkästään energian turvaamisesta vaan tärkeän sektorin kilpailukyvyistä. Seuraavan sukupolven toimivat energiaratkaisut antavat mitä todennäköisimmin keksijöilleen mittavan edun globaalissa kilpailussa. Biopolttoaineet perusstrategianaan on Suomen selvästi hyödyllisintä keskittyä niin sanottuun pientuotantoon, jolla energiaratkaisut tuodaan mikrotasolle. Suunta on lupaava, eikä yksikään tulevaisuuspolku näytä tässä suhteessa erityisen pelottavalta. Sähkön tuotannossa Nord Poolin rooli tulee säilymään vahvana. Sen etuna on operoida niin eri instituutioiden kuin valtioidenkin rajojen yli, mikä turvaa sen jäseniä osaltaan merkittävien sokkien aiheuttamista seurauksista. Tuotantomahdollisuuksien moninaisuus sekä sähkön tehokas allokointi eri kuluttajille muodostavat turvallisen järjestelmän myös tulevaisuudessa.

Huoltakin kuitenkin esiintyy. Suomen pitkät välimatkat vaativat toimivat ja taloudelliset liikenneverkot, ja niiden suhteen vaihtoehtoja ei juuri ole vielä tarjolla vaan riippuvuus fossiilisista polttoaineista säilyy tiukasti rajoitteena. Voidaan olettaa, että kaupunkien sisäinen julkinen liikenne siirtyy tulevaisuudessa enemmän raiteiden päälle. Joka tapauksessa kussakin skenaariossa liikenteen organisointi katsotaan toistaiseksi enemmän tai vähemmän ongelmallisena. Mikäli liikenne kärsii kallistumisesta liikaa, voi globaalisen markkinatalouden mekanismit kärsiä radikaalistikin, ja edessä voi olla askel taaksepäin paikallisen toimimisen suuntaan. Energiatalouden paikallisuuden toivotaan omalta osaltaan ennemminkin tukevan globaalien talouden toimivuutta kuin rajoittavan sitä. Liikenne voi säilyä riskisektorina pitkään ja aiheuttaa siten ei-toivottuja esteitä.

Vaikka tutkimuksen kohteena olevat sähkö- ja lämpöenergia kulkevat suurelta osin käsi kädessä, on niiden eroavaisuudet syytä mieltää. Molempia rasittavat siirtämisongelmat, mutta kulutussähkön suhteen ongelma on pienempi. Sähkö- tai öljylämmitys eivät edusta tulevaisuutta, eikä niiden käyttö lämmitystarkoitukseen ole nykyhetkelläkään edullista. Siksi paikalliset lämmitysratkaisut ovat tulevaisuuden megatrendejä. Maa- ja vesilämpö, jotka pitkälti toimivat samalla periaatteella, tulevat olemaan erityisesti kotitalouksien valintoja. Mutta myös sähkön tuotanto kokee

renessanssin: pientuulivoimalat, kattoaurinkopaneelit, vesivirtageneraattorit ja muut tulevaisuuden menetelmät tulevat keventämään kansallista sähköjakelujärjestelmää, ja parhaassa tapauksessa niiden merkitys sähkömarkkinoilla voi olla merkittävä ylituotantotilanteessa nettomyyjänä. Tällaisia heikkoja signaaleja on jo nähtävissä.

## LÄHTEET:

- Amara, Roy. (1981a). The Futures Field. *Futurist*. Vol. 15, No. 1, s. 25-29.
- Amara, Roy. (1981b). How to tell Good Work from Bad. *Futurist*. Vol. 15, No. 2, s. 63-71.
- Asplund, D., Jyväskylän Teknoliakeskus Oy, Korppi-Tommola J., Jyväskylän yliopisto, Helynen S. (2005). Uusiutuvan energian lisämahdollisuudet vuoteen 2015. VTT Prosessit.
- Bell, W. (1997a). Foundations of future studies. Volume 2: Values, objectivity and good society. New Brunswick ja Lontoo, Transaction publishers.
- Boyle, G., Everett, B., Ramage, J. (2003). Energy Systems and Sustainability: Power for Sustainable Future, Oxford University press; The Open University, UK.
- Bretschger, L. (2006). Energy Prices, Growth, and the Channels in Between: Theory and Evidence. WIF - Institute of Economic Research. Working Paper 06/47.
- British petroleum. (2011). Statistical Review of World Energy. Viitattu 6.4.2012. [http://www.bp.com/assets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications/statistical\\_energy\\_review\\_2011/STAGING/local\\_assets/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2011.pdf](http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf).
- British petroleum. (2012). Oil: crude oil prices 1861-2010. Viitattu 12.3.2012. <http://www.bp.com/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>.
- Cantelon, P. , Williams, R. (1984). A documentary history of nuclear policies from the discovery of fission to the present 1939-1984.
- Chakravorty, U., Tse, K-P. (2000). Transition from fossil fuels to renewable energy: evidence from a dynamic simulation model with endogenous resource substitution. FEEM working paper No.89.99.
- De Carvalho, A. , Suni, P. (2002). Sota, raakaöljyn hinta ja maailman talouskehitys. *Suhdanne* 4/2002 s. 68-78.
- de Vries, B. J. M., van Vuuren, D.P., Hoogwijk, M. M. (2007). Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: An integrated approach. *Energy Policy*, 35, s. 2590-2610.
- Dhawan, R., Jeske, K. 2006. Energy Price Shocks and the Macroeconomy: The Role of Consumer Durables. Federal reserve bank of Atlanta. Working paper 2006-9.

- Elinkeinoelämän keskusliitto. (2012). Perustietoja Suomen taloudesta/Ulkomaankauppa. Viitattu 24.10.2012. [http://www.ek.fi/ek/fi/suhdanteet\\_ym/perustietoja\\_suomen\\_taloudesta/ulkomaankauppa.php](http://www.ek.fi/ek/fi/suhdanteet_ym/perustietoja_suomen_taloudesta/ulkomaankauppa.php).
- EMV, Energiamarkkinavirasto. (2012). Kalvokuvia sähkön hinnasta 1.1.2012. Viitattu 26.1.2012. <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=2806&pgid=67%20>.
- Energiateollisuus. (2012). Vesivoima sähkön tuottajana. Viitattu 22.10.2012. <http://www.energia.fi/energia-jaymparisto/energialahteet/vesivoima>.
- Energiataeollisuus. (2013). Energiavuosi 2012 – Sähkö. Viitattu 27.1.2013. <http://www.energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2012-sahko>.
- Energy Gov. (2008). Wind Energy Could Produce 20 Percent of U.S. Electricity By 2030. Viitattu 2.10.2012. <http://energy.gov/articles/wind-energy-could-produce-20-percent-us-electricity-2030>.
- European central bank. (2010). Energy markets and the euro area macroeconomy. Occasional Paper series. No 113, Jun 2010.
- European wind energy association. (2012). Viitattu 4.10.2012. [http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/statistics/Stats\\_2011.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/statistics/Stats_2011.pdf).
- Flyktman, M. (2005). Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020 mennessä. VTT Prosessit.
- Forsström, J. (2006). Ydinjätehuollon kustannusriskianalyysi. Esitutkimus. VTT working papers 64.
- Godet, M. (1997). Scenarios and strategies. A toolbox for problem solving. LIPS working papers. Paris.
- Helsingin energia. (2010). Ilmastouutisia: Maailman energiankulutus nousee 36 prosentilla 2035 mennessä. 19.11.2010. Viitattu 4.3.2012. [http://www.co2-raportti.fi/index.php?page=ilmastouutisia&news\\_id=2787](http://www.co2-raportti.fi/index.php?page=ilmastouutisia&news_id=2787).
- Hirvonen, R. (toim.). (2006). VTT. Energy visions 2030 for Finland – yhteenveto. Viitattu 5.4.2012. [http://www.vtt.fi/files/projects/energy\\_book\\_series/ev\\_2030\\_ttiivistelma.pdf](http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_ttiivistelma.pdf).
- Hirvonen, R., Sulamaa, P., Tamminen, E. (2003). Kilpailu sähkömarkkinoilla – Sähkömarkkinoiden keskeiset piirteet ja toiminta. ETLA. ISSN 0781-6847.
- Hoffrén, J. (2006). Öljyn aikakausi pian ohi. Futura 04/2006 s. 5-19.
- Holland, A. S. (1984). Does Higher Inflation Lead to More Uncertain Inflation. Federal reserve bank of st. Louis. Feb s.15-26.

- International Atomic Energy Agency, IAEA (2008). Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the period up to 2030 Reference Data Series No. 1, 2008 Edition. International Atomic Energy Agency (IAEA).
- International Energy Agency, IEA. (2007). Energy Policies of IEA Countries. Finland 2007 Review.
- IEA. (2008). World Energy Outlook. (2008). Executive Summary. International Agency, OECD/IEA, Paris. Viitattu 15.3. 2012. <http://iea.org/textbase/nppdf/free/2008/weo2008.pdf>.
- IEA. (2010). World Energy Outlook. (2010). Executive Summary. International Energy Agency, OECD/IEA, Paris. Viitattu 14.3.2012. <http://iea.org/textbase/nppdf/free/2010/weo2010.pdf>.
- IEA. (2012). Key world energy statistics 2012. Viitattu 5.1.2013. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/kwes.pdf>.
- Ilmatieteen laitos. (2012). Suomen ilmasto. Viitattu 28.9.2012a. [http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa\\_2.html](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa_2.html).
- Ilmatieteen laitos. (2012). Auringon säteily ja pilvisuus. Viitattu 28.9.2012b. [http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa\\_3.html](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa_3.html).
- Jalava, J. (2003). Electrifying and Digitalizing the Finnish Manufacturing Industry: Historical Notes on Diffusion and Productivity. ETLA, Keskustelunaiheita – Discussion Papers. 2003.
- Johansson, T. B., McCormick, K., Neij, L., Turkenburg, W. (2004). The Potentials of Renewable Energy: Thematic Background Paper. Thematic Paper prepared for the International Conference of Renewable Energies, Bonn. Viitattu 26.9.2012 [http://www.iiiee.lu.se/C1256B88002B16EB/\\$webAll/02DAE4E6199783A9C1256E29004E1250?OpenDocument](http://www.iiiee.lu.se/C1256B88002B16EB/$webAll/02DAE4E6199783A9C1256E29004E1250?OpenDocument).
- Kahn H., Wiener A.J. (1967). The Year 2000. A framework for speculation on the next thirty-three years. The MacMillan Company. London.
- Ketonen, J. (2012). Määlämpö lämpöenergian tuottajana. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- Krugman, P. (2008). The Oil Nonbubble. The New York Times. Viitattu 10.10.2012. <http://www.nytimes.com/2008/05/12/opinion/12krugman.html?ref=paulkrugman&r=0>.
- Kuopion yliopisto. (2005). Puun polton pienhiukkaspäästöt, loppuraportti. Monistesarja.



- Kuusi, O. (1999). Teknologisen kehityksen heikot signaalit. Futura, 2/99. Viitattu 25.10.2012. <http://elektra.helsinki.fi/se/f/0785-5494/18/2/teknolog.pdf>.
- Kuusi, O., Linturi, H. (2001). Delfoi asiantuntijamenetelmänä. Viitattu 12.9.2012. [www.internetix.fi/kaivos/Delfoi-artikkeli.pdf](http://www.internetix.fi/kaivos/Delfoi-artikkeli.pdf).
- Lahikainen, J. (2011). Maalämmön kannattavuuslaskelma. Insinööriyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- Lahtinen, P., Jokinen, M., Leino P. (2005). Turpeen energiakäytön asema Suomen energijärjestelmässä. Kauppa- ja teollisuusministeriö. ISBN 951-739-880-8.
- Lamponen, J. (2008). Tuulivoiman erityispiirteitä kantaverkkoliittymän ja verkon dynamiikan kannalta. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- Laurikka H., Mirowska, K., Niermeijer P., Nykänen, J., Roglieri, M., Tynjälä, T., & Voogt, M. (2006). Päästökauppa ja ympäristöhyödykkeiden markkinat. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Leijala U. (2010). Aurinko- ja maalämpöjärjestelmien käyttömahdollisuudet suomalaisissa pientaloissa, pro-gradu tutkielma, Jyväskylän Yliopisto.
- Lumijärvi, A. (2005). Energiaverotus ja suomalaisen paperi- ja massateollisuuden kilpailukyky 1990-luvulla – liiketaloudellinen näkökulma. Lisensiaattitutkimus, Jyväskylän yliopisto, 2005.
- Makhijani, A. (2007). Carbon-Free and Nuclear-free: A Roadmap for U.S. Energy Policy, RDR Books and IEER Press, s. 31.
- Malaska, P. (2003). Tulevaisuustietoisuus ja tulevaisuuteen tunkeutuminen. 2.painos, Tampere, Tammer-Paino Oy.
- Mannermaa, M. (1999). Tulevaisuuden hallinta: skenaariot strategiatyöskentelyssä. Porvoo, WSOY.
- Martin, J., D., Ramsey, J., D. (2009). The Economics of Wind Energy: A Survey and Status Report.
- McFarland, J., R., Reilly, J., M., Herzog, H., J. (2004). Representing energy technologies in top-down economic models using bottom-up information. Energy Economics 26 s. 685-707. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988304000374>.
- Menanteau, P., Finon, D., Lamy, M-L. (2003). Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. Viitattu 7.11.2.12. Energy policy. Vol.31, Issue 8, Jun 2003, s.799-812. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421502001337>.

- Mouawad, J. (2008). Hints of a Shift at OPEC About a Rise in Oil Output. Viitattu 8.11.2012. The New York Times 10.5.2008. <http://www.nytimes.com/2008/05/10/business/worldbusiness/10oil.html?fta=y>
- Myllylä, Y. (2002). Delfoi-menetelmä on tulevaisuuden tutkimuksen väline. *Impakti* 1/2002, s. 12-13.
- Määttä, K. (1996). Ympäristöverot: Ympäristön vai verotulojen tähden? Teoksessa Kanninen, Vesa – Määttä, Kalle (toim.): *Näkökulmia oikeustaloustieteeseen*, s.289-315. Gaudeamus 1996.
- Määttä, K. (2000). *Energiaveropolitiikka*. Kauppakaari. Helsinki.
- Quasching V. (2005). *Understanding renewable energy systems*, Earthscan, London.
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*. MacMillan and co. London.
- Pohjola, Matti. (2008). *Taloustieteen oppikirja*. WSOY.
- Reynés, F., Okullo, S., Hofkes, M. (2010). *How Does Economic Theory Explain the Hubbert Peak Oil Model?* Instituut voor Milieuvraagstukken. USAEE-IAEE Working paper 10-052.
- Roberts, P. (2004). *Kun öljy loppuu*. Mariner Books.
- Rosen, H. S. (1995). *Public Finance*, 4th edition. Irwin. Homewood, I11.
- Sandholm, E. (2010). *Turpeen käytön tulevaisuus suomessa*. Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Schoemaker, P.J.H. (1995). *Scenario planning: A tool for strategic thinking*. Sloan management review. Winter 1995. s. 25-40.
- Soini, S. (2007). *Ilmastonmuutos ja siihen varautuminen Espoossa*. Espoon ympäristökeskus, monistesarja 2/2007.
- SOLPROS AY (2001). *Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa, ja sen potentiaali ilmastonmuutoksen torjunnassa*. Tekes-projekti 594/480/00, SOLPROS AY. Viitattu 28.9.2012. [http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport\\_final.PDF](http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF).
- Stern, D. (2010). *The Role of Energy in Economic Growth*. United States Association of Energy Economics/International Association of Energy Economics. USAEE-IAEE WP 10-055. Working paper.
- Suomen tuulivoimayhdistys ry, STY. (2012). *Tuulivoimatieto/tuet Suomessa*. Viitattu 9.10.2012. [http://www.tuulivoimatieto.fi/tuet\\_suomessa](http://www.tuulivoimatieto.fi/tuet_suomessa).
- Tilastokeskus. (2010). *Energiatilasto – vuosikirja 2011*. Viitattu 5.1.2012. [http://tilastokeskus.fi/til/ekul/2010/ekul\\_2010\\_2011-12-13\\_kuv\\_006\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/ekul/2010/ekul_2010_2011-12-13_kuv_006_fi.html).

- Tilastokeskus. (2011). Sähkön ja lämmön tuotanto 2010. Viitattu 1.10.2012.  
[http://www.stat.fi/til/salatuo/2010/salatuo\\_2010\\_2011-10-06\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/salatuo/2010/salatuo_2010_2011-10-06_tie_001_fi.html).
- Tilastokeskus. (2012). Energian käyttö ja lähteet 1917-2007. Viitattu 19.3.2012.  
<http://www.stat.fi/tup/suomi90/maaliskuu.html>.
- TOPI. (2009). Tulevaisuudentutkimuksen oppimateriaali. Viitattu 18.1.2012.  
<http://www.tulevaisuus.fi/topi/>.
- Turkenburg, W. C. (2000). Renewable energy technologies (kpl 7): World Energy Assessment (WEA). UNDP, New York.
- Tuulivoima Suomessa ja maailmalla. (2011). Hannele Holttinen, VTT. Viitattu 9.10.2012.  
[http://www.vtt.fi/files/news/2011/Tuulivoima\\_mediaaamiainen\\_esitys.pdf](http://www.vtt.fi/files/news/2011/Tuulivoima_mediaaamiainen_esitys.pdf).
- Työ- ja Elinkeinoministeriö. (2008). Loviisa 1 ja 2; käyttöluvan uusinta. Viitattu 16.10.2012. <http://www.tem.fi/index.phtml?s=1813>.
- VTT. (2003). Energy visions for Finland 2030 – yhteenveto. Viitattu 19.9.2012.  
[http://www.vtt.fi/files/projects/energy\\_book\\_series/ev\\_2030\\_tiiviste\\_lma.pdf](http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_tiiviste_lma.pdf).
- VTT. (2011). Tuulivoiman tuotantotilastot – vuosiraportti 2010. Viitattu 7.3.2012.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W178.pdf>.
- Vuorinen et al. (1983). Ydintietoa energiasta. Hyvinkää: Hyvinkään Kirjapaino. ISBN 951-95634-4-x.
- World Wildlife Foundation, WWF. (2007). WWF Suomen kanta tuulivoimasta Suomessa. Viitattu 9.10.2012.  
[http://www2.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/tuulivoimakannanotto\\_wwfsuomi\\_05032007.pdf](http://www2.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/tuulivoimakannanotto_wwfsuomi_05032007.pdf).
- Ying F. , Jin-Hua X. (2011). What has driven oil prices since 2000? A structural change perspective. Energy Economics 33/2011, s. 1082-1094.

## LIITTEET:

### Liite 1

Öljyn tuotantoa on pääasiassa mallinnettu kahdella eri metodilla: tekniseen näkökulmaan perustuvalla Hubbertin teorialla ja taloudellisiin laskelmiin perustuvalla Hotellingin teorialla. Reynés et al. (2010) ovat tutkimuksessaan hahmotelleet tekniset rajoitteet siten, että ne voidaan tulkita myös kustannusrajoitteina.

Hubbertin teoria yksinkertaistaa öljyn tuotannon kehityksen, ja siitä on saatu paljon myös sitä tukevaa empiiristä aineistoa, mutta siinä katsotaan olevan myös puutteita. Etenkin taloudelliset parametrit on usein sivuutettu, eikä globaalien tuotannon kokonaiskuvaa ole onnistuttu hahmottamaan riittävän tarkasti. Öljytuotannon taloudellisen näkökulman taustalla on uusklassinen Hotellingin teoria ehtyvistä luonnonvaroista. Sen mukaan optimaalinen resurssin talteenotto maksimoi intertemporaalisen hyvinvoinnin tason (Reynés et al. 2010, s. 3). Huolimatta mallin monipuolisuudesta sillä on myös muutama haittapuoli: laskennallisen monimutkaisuuden takia on vahvaa empiiristä aineistoa vaikea saada. Suurin kritiikki on kuitenkin tullut siitä, että se olettaa täydellisen informaation agenttien keskuudessa, mitä ei erityisesti öljyteollisuuden kohdalla voi mitenkään pitää realistisena.

Hubbertin teoria on niin sanottu elinkaarimalli, ja se rakentuu öljyn tuotannon empiirisestä aineistosta, joka on saatu menneeltä ajalta. Matemaattisesti se voidaan esittää

$$Y_t^{Cum} = \frac{Y_{\infty}^{Cum}}{1 + X_{t_0} e^{-(t-t_0)'}}$$

missä  $Y$  on tuotettu öljyn määrä,  $t$  on tutkittu ajan hetki,  $t_0$  on laskelman lähtöhetki,  $Y_t^{Cum}$  on kumulatiivinen öljyn tuotanto,  $Y_{\infty}^{Cum}$  on totaalinen öljyn tuotanto (kaikki hyödynnettävät reservit),  $X_{t_0} = (Y_t^{Cum} - Y_{t_0}^{Cum}) / Y_{t_0}^{Cum}$  on jäljellä olevat reservit ajan hetkellä  $t_0$  ilmoitettuna prosenttiosuutena kumulatiivisesta tuotannosta.

Logistisen funktion ominaisuuksiensa takia yhtälöstä piirretty kuvio muodostuu alaspäin avautuvan paraabelin kaltaiseksi. Malli luottaa niihin yleisiin ajatuksiin, että öljyn tuotanto määritellään pääasiassa teknisten parametrien perusteella. Yhtälöstä muodostuvan kuvion voidaan katsoa peilaavan laskettujen luonnonvarojen fyysistä olomuotoa. Kaikkine puutteinensakin mallin on katsottu olevan hyvä taustateoria ehtyvien luonnonvarojen käytölle, etenkin öljyn tapauksessa.

Öljyn tuotannon taloudelliset insentiivit kuitenkin tekevät eri malleista mahdollisesti realistisempia. Tuottaja valitsee tuotannon tason, joka ei pelkästään riipu prosessin teknisistä

ominaisuuksista vaan kannattavuudesta, joka taas määräytyy pääasiassa kolmen taloudellisen tekijän ohjaamina: öljyn hinta, sen pumppaaminen ja korkotaso. Mitä työläämpää öljyn pumppaaminen tietyllä öljykentällä on, sitä kalliimmaksi sen yksikkökustannukset nousevat, jolloin teknisillä rajoitteilla on suora yhteys taloudellisiin rajoitteisiin. Korkeammat kustannukset vähentävät investointeja, joka taas pienentää kannattavuutta annetulla öljyn hinnalla. Tuotanto laskee.

Reynés et al. (2010) havainnollistavat tutkimustaan esimerkillä. Yhdysvaltojen öljyntuottajaosavaltiot tuottivat 3,5 miljardia öljybarrelia vuonna 1970. Kahden seuraavan vuoden kumulatiivinen tuotantomäärä oli 6,9 miljardia barrelia ja vastaavasti kumulatiivinen tuotanto vuosien 1971 ja 2007 välillä oli 73,9 miljardia barrelia. Lukemista on huomattavissa se tosiasia, että huippuvuoden jälkeen kumulatiivinen tuotanto oli aina huippuvuotta korkeammalla tasolla, jolloin tuottajat olisivat teoriassa voineet nostaa jatkuvasti tuotantoaan. Sitä ei kuitenkaan tapahtunut, koska tuotanto kohtasi teknisiä rajoitteita, kuten öljyn paineen lasku, joka vaikeutti öljyn pinnalle pumppaamista. Korkeampi tuotannon taso olisi vaatinut korkeamman eli kalliimman teknologian käyttöä, mikä taas olisi tarkoittanut kannattavuuden laskua annetuilla öljyhinnoilla. Kasvava tuotanto olisi johtanut tappiolliseen toimintaan kasvavien rajakustannusten noustessa rajatuottojen yläpuolelle.

## *Liite 2*

Ennustettaessa rahan arvon alenemisen vauhtia eli inflaatiota huomio on tarkennettu tietoisesti ekonometrisesta mallista saatujen arvojen variansseja kohtaan. Yksi tapa määrittää, onko epävarmuus inflaatiosta muuttunut ajan mittaan, on testata onko mallin jäännöstermi heteroskedastinen eli poikkeaaako se vakioarvosta (Holland, s.18). Jäännöstermi kuvastaa niitä mallin tuntemattomista tekijöistä johtuvia muutoksia, jotka kuitenkin ilmenevät lopputuloksessa. Varianssin vakioisuutta voidaan testata myös tarkastelemalla inflaatioennusteiden virheitä eri aikaperiodien välillä. Odotetulla inflaatiolla ja energiahintojen suhteellisella nousulla on tässä oma kytköksensä. Jos huomioidaan mahdollisuus, että kuluttajat ennakoivat energian hinnannousulla olevan vaikutusta inflaatioasteeseen, ei itse inflaatio vaikuta virheellisten ennusteiden variansseihin (Holland, s.19). Mikäli tuloksista voidaan analysoinnin jälkeen olettaa, että odotettu inflaatio ei varsinaisesti korreloi tämän hetken inflaation kanssa, on talous stabiilissa tilassa, jolloin myös energian hintaan ei kohdistu merkittäviä nousupaineita, mikä taas tuotannollisesta näkökulmasta katsoen tarkoittaa maltillista kustannuskehitystä.

### *Liite 3*

Suomen energiaveroista säädetään kahdessa laissa: ensinnäkin laissa sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta säädetään sähkön kulutusta sekä polttoaineiden käyttöä lämmöntuotannossa koskevista veroista. Toiseksi laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta sisältää säädökset liikennepolttoaineiden verotusta koskien (Lumijärvi, s. 18.) Anekdoottina mainittakoon, että muun muassa maalämpöä ja aurinkoenergiaa ei suoranaisesti veroteta Suomessa vielä vuoden 2012 alussa, joten verotus ei kata energiatuotannon sektoria aukottoman kokonaisvaltaisesti. Toisaalta näiden energiamuotojen rooli yhteiskunnassa katsotaan toistaiseksi niin vähäiseksi, että resursseja niiden mahdollisen verotuksen tarkasteluun ei ole katsottu tarpeellisiksi. Lisäksi jos katsoo asiaa niin sanotusta haittanäkökulmasta, voisi verotuksen implementointi tyrehtyttää mahdollisia hedelmällisiä kehitysprojekteja, joita energiateollisuus joka tapauksessa tarvitsee johdonmukaisen energiakehityksen tueksi. Lumijärvi (2005, s. 18) toteaaakin, että energiaverojen voitaisiin määrittellä kattavan yleisesti kaikki valmisteverot, jotka kohdistuvat energialähteisiin tai energiatuotteisiin.

Energiaveroilla on valtion yhteiskunnallisesta näkökulmasta selkeät tavoitteet. Perinteisiksi muodostuneissa keskusteluissa teemoina esiintyvät taloudelliset sekä ympäristötavoitteet. Keskeiseksi näkökulmaksi koetaan tavoiteperusteinen ryhmittely luokiteltaessa energiaveroja. Energiaverot voidaan jakaa tavoitteidensa perusteella yleisellä tasolla fiskaalisiin ja ohjaaviin energiaveroihin (Määttä, 2000, s.40-44).

Fiskaalisten verojen pääperiaatteena on kerätä tuloja valtiolle, mutta niiden merkittävänä haasteena on riski vaikuttaa liikaa markkinoiden toimintaan. Tällaista markkinoiden toiminnan vääristymistä voidaan pitää energiaverotuksen merkittävänä haittavaikutuksena, jota tulisi kaikin toimin periaatteellisesti välttää. Ramsey'n säännön mukaan tulisikin verottaa ensisijaisesti sellaisia hyödykkeitä, joiden kysynnän ja tarjonnan hintajoustot olisivat mahdollisimman alhaiset (Rosen, 330-332). Hintajoustojen staattisuus takaa valtiolle mahdollisimman suuret verotuotot, mutta samalla niiden aiheuttamat tehokkuustappiot ovat mahdollisimman pienet. Ramseylainen näkökulma energiaverotukseen korostaa kahta asiaa: ensimmäinen on juuri se, että energian kysyntä ei todennäköisesti laskisi vaikka veroa korotettaisiin, jolloin valtion tuotot eivät myöskään laskisi, ainakaan lyhyellä aikavälillä. Toisaalta markkinoiden oletetaan olevan häiriöttömät ja klassisen mallin mukaisesti toimivan täydellisesti, jolloin mikä tahansa markkinoihin puuttuva interventio vähentäisi niiden tehokkuutta.

Fiskaalisten tavoitteiden rinnalla on olemassa ohjaavat tavoitteet. Tällöin muutetaan näkökulmaa ja siirrytään kannustavuuteen, jolloin yritetään ohjata kuluttajia tekemään yhteiskunnalle ja ympäristölle suotuisia kulutus päätöksiä. Tällä on luonnollisesti vaikutusta

markkinoiden toimintaan, ja erityisesti ympäristötekijät ovat tällöin keskeisessä asemassa. Ympäristöpolitiikka onkin noussut tärkeimmäksi ohjaavia energiaverotustavoitteita määritteleväksi tekijäksi, joskin muitakin prioriteetteja nousee esille keskusteluissa. Tällaisia ovat esimerkiksi työllisyys- ja aluepoliittiset perustelut.

Ohjaavuus konkretisoituu selvimmin ajateltaessa ulkoisvaikutuksia (t. ulkoiskustannuksia), joita muun muassa juuri energiateollisuus aiheuttaa. Näillä tarkoitetaan niitä haittoja, joita aiheutuu yhteiskunnalle yksittäisen agentin toiminnasta. Ympäristöhaitat kuuluvat vahvasti näihin kuormittaviin ilmiöihin, joiden kustannukset eivät ole huomioitu markkinoiden hinnoittelussa, ja tällöin ne koituvat enemmän tai vähemmän koko yhteiskunnan maksettaviksi. Energiaveroja onkin ajateltu yhä enemmän nimenomaan haittaveroina, joilla olisi mahdollista sisäistää ulkoiset kustannukset osaksi markkinajärjestelmää. Tällaista ohjaava näkökulmaa painottavaa energiaveropolitiikkaa kutsutaan pigoulaiseksi energiaveropolitiikaksi ajatuksen kehittäjänä tunnetun A.C. Pigoun (1920) mukaan. Huomionarvoista on, että tällaisia tieteellisiä ajatuksia lanseerattiin jo 1920-luvulla, ja vaikka muun muassa teollisuuden osuus oli vain murto-osa tämänhetkisestä, oli ulkoisvaikutusten haitallisuuteen oivallettu jo näkökulmia.