

Uusiutuvien energiamuotojen tukeminen

Kimmo Ollikka

Tutkija

VATT

EU on asettanut kolme ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitetta vuodeksi 2020. Kasvihuonekaasujen päästöjä tulee vähentää 20 % vuoteen 1990 verrattuna, uusiutuvien energialähteiden (Renewable Energy Sources, RES) osuus energian loppukulutuksesta on oltava vähintään 20 % ja energian loppukulutusta on energiatehokkuutta parantamalla vähennettävä 20 %. EU:n uusiutuvien energiamuotojen tavoite on jaettu edelleen maakohtaisiksi tavoitteiksi. Suomessa uusiutuvien energialähteiden osuuden tulee vuoteen 2020 mennessä olla vähintään 38 % energian loppukulutuksesta.¹ Tavoite sisältää niin sähköntuotannon, lämmön- ja kylmäntuotannon kuin liikenteen loppukulutuksen.

Keskeisimpänä ilmastopolitiikan ohjauskeinona EU:ssa on vuodesta 2005 lähtien ollut energiantuotannon ja energiaintensiivisen teollisuuden kasvihuonekaasujen päästökauppa (EU ETS). Yltääkseen erityisesti uusiutuvia energiamuotoja koskeviin tavoitteisiin Suomi

ja moni muu EU-maa on lisäksi ryhtynyt voimakkaasti tukemaan uusiutuviin energiamuotoihin perustuvaa tuotantoa. Perinteinen uusiutuvan energian tukipolitiikka on sisältänyt investointi- ja verotukia sekä tutkimus- ja tuotekehityksen tukia. Viime vuosina uusiutuvia energiamuotoja on tuettu myös syöttötariffeilla tai hintapremioilla, uusiutuvan energian velvoite- ja/tai kaupattavien sertifikaattien järjestelmillä sekä tarjouskilpailuilla (Green ja Yatchew 2012, Haas ym. 2011).

Syöttötariffi on osoittautunut tehokkaaksi keinoksi lisätä nopeasti vihreän sähköntuotannon kapasiteettia esimerkiksi Saksassa, Espanjassa ja Tanskassa. Tosin arvioiden mukaan tätä ovat auttaneet varsin anteliaat ja siten yhteiskunnan kannalta kalliit tariffitasot. Iso-Britannian vihreiden sertifikaattien järjestelmä on koitunut suhteellisen kalliiksi, ja uusiutuvaa energiaa on tullut hitaasti markkinoille. Ruotsissa järjestelmä on onnistunut paremmin, mutta se on suosinut kypsiä teknologioita. Tosin Ruotsinkin järjestelmää on moitittu kalliiksi. Tarjouskilpailuista on toistaiseksi varsin vähän kokemuksia. Britannian tarjouskilpailuun pe-

¹ Vuonna 2011 osuus oli vajaat 32 %, ks. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> > Statistics > Energy > Other documents > SHARES 2011 results.

rustuva tukijärjestelmä epäonnistui, koska suuri osa voittaneista yrityksistä vetäytyi hankkeista joko ylioptimististen tarjousten tai hallinnollisen lupaprosessin ongelmien vuoksi (Green ja Yatchew 2012). Britannian järjestelmän lisäksi mm. Tanska on käyttänyt tarjouskilpailua merrällä sijaitsevan tuulivoiman tukimuotona ja tulevaisuudessa sen suosio saattaa lisääntyä.

Suomessa otettiin vuoden 2011 alusta käyttöön syöttötariffi. Uusille tuuli-, biokaasu- ja puupolttoainevoimaloille maksetaan syöttötariffin mukainen takuuhinta tuottamalleen sähkölle. Lisäksi jo käytössä olevalle metsähaketta polttavalle voimalaitoskapasiteetille maksetaan syöttötariffin suuruinen preemio, joka maksetaan laitoksille sähkön hinnan päälle.

Tässä artikkelissa tarkastelen aluksi, mitä syitä on tukea uusiutuvaa energiaa sähkön- ja lämmöntuotannossa, kun käytössä on jo Euroopan laajuinen päästökauppa. Sen jälkeen käyn lyhyesti läpi uusiutuvan energian tukimuotoja. Lisäksi tarkastelen, mitä vaikutuksia uusiutuvien energiamuotojen tuilla on ollut muutamissa EU-maissa. Lopuksi esitän alustavia tuloksia Suomen syöttötariffin vaikutuksista sekä pohdin ohjauskeinojen valintaa EU:n sekä Suomen ilmastopolitiikan kannalta.

1 Miksi uusiutuvaa energiaa tulee tukea?

EU:n päästökauppajärjestelmä (*EU Emissions Trading System, EU ETS*) on toistaiseksi laajin päästökauppajärjestelmä maailmassa ja EU:n keskeisin ilmastopolitiikan ohjauskeino. Useissa tutkimuksissa todetaan, että uusiutuvan energian tuet ovat sähkön- ja lämmöntuotannossa päällekkäistä ohjausta päästökaupan kanssa, eikä niille ole tarvetta (esim. Böhringer ja Rosendahl 2010). Uusiutuvan energian tuet

vain vääristävät pääasiallista ohjausmekanismeja, päästökauppaa. Kun uusiutuvaa energiaa tuetaan, sen osuus energiantuotannossa kasvaa syrjäyttäen samalla fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiantuotantoa. Samalla energiantuotannon päästöt ja siten päästöoikeuksien kysyntä päästöoikeuksien markkinoilla alenevat.

Kysynnän heikkeneminen alentaa vastavasti päästöoikeuksien hintaa. Tällöin päästöjä siirtyy energiasektorilta muille päästökaupan toimialoille, koska päästöoikeuksien kokonaismäärä päästökaupassa on kiinteä. Toisaalta halvempi päästöoikeus tarkoittaa sähkön- ja lämmöntuotannossa sitä, että fossiilisista polttoaineista ominaispäästöiltään haitallisempien, kuten kivihiiilen, suhteellinen etu paranee verrattuna puhtaampiin polttoaineisiin, kuten maakaasuun. Vaikka fossiilisten polttoaineiden kokonaisuus sähköntuotannossa laskee, jäljelle jäävä tuotanto on suhteellisesti likaisempaa verrattuna tilanteeseen, jossa uusiutuvaa energiaa ei tuettaisi. Uusiutuvan energian tukien myötä energiasektorilla vähennetään siis päästöjä enemmän ja kalliimmalla kuin ilman tukia. Toisaalta voidaan esittää argumentteja uusiutuvien energiamuotojen tukien puolesta (Lehmann ja Gawel 2011, Schmalensee 2011, Fischer ja Preonas 2010, Fischer ym. 2012). Tarkastelen seuraavaksi näitä hieman tarkemmin.

1.1 Teknologiseen muutokseen liittyvät markkinavääristymät

Tärkein syy täydentää ympäristöohjausta on teknologiseen kehitykseen ja innovointiin liittyvät positiiviset ulkoisvaikutukset. Ilman tukia EU ETS:n alaisuudessa olevat yritykset eivät ota huomioon kaikkia vaikutuksia, joita niiden

innovointitoiminta tai uuden teknologian käyttöönotto tuottaa muille yrityksille ja yhteiskunnalle. Yritykset huomioivat vain innovoinnin ja tuotekehityksen yksityiset tuotot, jolloin niitä tehdään yhteiskunnan kannalta liian vähän. Teknologiseen kehitykseen liittyy monenlaisia ulkoisvaikutuksia kehitysprosessin eri vaiheissa (Jaffe ym. 2005, Junginger ym. 2006).

Tutkimuksen ulkoisvaikutukset

Tutkimus, tuotekehitys ja innovointi tuottavat uutta tietoa, joka alentaa uusien teknologioiden investointi- ja käyttöönoton kustannuksia. Informaatioon liittyy julkishyödykkeelle ominaisia piirteitä. Laajalle levinneenä informaatio on vapaasti kaikkien käytettävissä. Ennen pitkää uusi tieto valuu muillekin kuin tuotekehitystä tekeväälle yritykselle, eikä innovoiva yritys saa kaikkea hyötyä käyttöönsä, vaikka se joutuu ilman yhteiskunnan tukipolitiikkaa kantamaan kaikki tutkimuksen ja tuotekehityksen kustannukset. Tiedon leviäminen muiden, muun muassa kilpalevien yritysten haltuun, heikentääkin yritysten halukkuutta innovointiin.

Käyttöönoton ulkoisvaikutukset

Uusi teknologia saattaa olla aluksi liian kallis kaupalliseen käyttöön. Teknologioiden kaupallistumiseen, käyttöönottoon ja leviämiseen liittyy kuitenkin paljon dynaamisia, kasvavia tuottoja (Jaffe ym. 2005). Uusien teknologioiden soveltuminen käytännön tuotannossa selvää vasta, kun niitä otetaan käyttöön markkinoilla. Tämä parantaa tuotesuunnittelua. Toisaalta uusien teknologioiden levitessä markkinoilla löydetään parhaat tavat niiden hyödyntämiseen ja kustannusten minimoimiseen. Mitä enemmän ja laajemmin uusi teknologia on käytössä, sitä paremmin myös uusi tieto leviää käyttäjien kes-

kuudessa. Verkostovaikutuksien myötä uuden teknologian käyttöönotto voi olla myös hyödyllisempää, mikäli markkinoilla on paljon samaa tai samankaltaista teknologiaa käyttäviä laitoksia. Lisäksi tuotannolla ja yksittäisellä teknologialla on skaalavaikutuksia. Esimerkiksi uusien tuulivoimaloiden suurempi koko alentaa niiden yksikkökustannuksia (Junginger ym. 2006). Oppimisen ja kustannusten alenemisen vuoksi yritykset kuitenkin viivästyttävät omia teknologiainvestointejaan oppiakseen muilta.

Epätäydellisen informaation ulkoisvaikutukset

Uuteen tietoon ja teknologioiden käyttöönoton ulkoisvaikutuksiin liittyy epätäydellisen informaation ongelma. Yrityksillä on usein parempi tietämys innovoinnin kustannuksista kuin yhteiskunnallisella säätelijällä, mikä vaikeuttaa oikeanlaisen ohjauksen asettamista. Uusiutuvan energian tuet ovat kuitenkin yhteiskunnallisesti järkeviä, mikäli innovointiin ja teknologioiden käyttöönottoon liittyy oppimista, mikä alentaa kustannuksia pitkällä aikavälillä.

Ohjauskeinoja suunniteltaessa on keskeistä tietää, mihin vaiheeseen teknologian kehitysprosessia oppimisen ulkoisvaikutukset liittyvät. Onko uusi teknologia vasta kehitysvaiheessa vai kenties lähellä kaupallista käyttöönottoa?

Tällä hetkellä sähköntuotannossa vesivoiman ja maalämmön elinkaaren aikaiset tuotantokustannukset ovat tavanomaisen tuotannon luokkaa. Bio- ja tuulivoima ovat ainakin suurelta osin tavanomaista tuotantoa kalliimpaa ja etenkin aurinkoenergia on kustannuksiltaan vielä varsin kallis tuotantomuoto (Fischedick ym. 2011). Lisäksi uusien teknologioiden käyttöönoton kustannuksiin ja etenkin kustannusten kehitykseen liittyy suurta epävarmuutta. Fischedick ym. ovat käyneet läpi lukuisan joukon tutkimuksia, joissa on estimoitu uusiutuvi-

en energiamuotojen teknologioiden oppimisvauhtia eli kustannusten suhteellista laskua kapasiteetin kaksinkertaistuksessa. Arviot oppimisvauhteista vaihtelevat runsaasti riippuen esimerkiksi siitä, mitä teknologiaa tarkastellaan, tarkastellaanko investointi- vai tuotantokustannuksia tai mistä maantieteellisestä alueesta on kyse. Muun muassa maalla sijaitseville tuulivoimaloille oppimisvauhti on saanut eri tutkimuksissa arvoja 4-32 %, aurinkovoimaloille 13-26 % ja biovoimaloille 0-45 %. Tuulivoiman oppimisvauhdit ovat keskimäärin hieman matalampia kuin esimerkiksi aurinkovoiman.

Oppimisvauhdit ovat yleisesti korkeammat kumulatiivisen T&K-panostuksen kuin kumulatiivisen tuotannon suhteen (Weiss ym. 2010). Lindmannin ja Söderholmin (2012) tuulivoimatutkimuksia tarkastelevan meta-analyysin perusteella maalla sijaitsevan tuulivoiman kustannukset ovat alentuneet keskimäärin 10 %, kun asennetun tuulivoimakapasiteetin määrä on kaksinkertaistunut. Niissä tutkimuksissa, joissa on pyritty erittelemään tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutus, teknologioiden leviämiseen liittyvä oppimisvauhti on kuitenkin alempi.

Oppimisvauhtia on myös arvioitu sekä alueelliseen kapasiteetin kasvun että useamman maan tai maailmanlaajuisen kapasiteetin kasvun suhteen. Ek ja Söderholm (2008) tarkastelivat maalla sijaitsevan tuulivoiman kustannuksia viidessä Euroopan maassa. Heidän arvioidensa perusteella tuulivoiman kotimainen oppimisvauhti oli 2 %, kun vastaava globaali (tässä tapauksessa vain viiden maan) oppimisvauhti oli 11 %. Toisin sanoen tuulivoimakapasiteetin kaksinkertaistuminen esimerkiksi Ruotsissa on alentanut kustannuksia Ruotsissa 2 %, kun kapasiteetin kaksinkertaistuminen

kaikissa tarkastelluissa maissa yhteensä on alentanut niitä 11 %.²

On myös muistettava, että arviot oppimisvauhteista perustuvat aineistoon menneestä kehityksestä, eikä tulevasta teknologisesta kehityksestä ole siten tietoa. Lisäksi on vaikea erotella, mitkä tekijät vaikuttavat kustannusten alenemiseen. Puhtaasti tiedon lisääntymisen ja kertymisen lisäksi kustannuksiin vaikuttavat mm. hinta- ja markkinamuutokset, energiateknologialle eksogeeniset teknologiset muutokset tai säätelyn uudistukset (Fischer ym. 2012).

1.2 Väärät tai epätäydelliset politiikkatoimet

Energia- ja ilmastopolitiikkaan liittyy paljon huonosti suunniteltuja tai riittämättömiä ohjauskeinoja. Eurooppalaiset sähkömarkkinat ovat vasta viime vuosina vapautuneet kilpailulle, ja säätelyn purkaminen etenee verkkaisesti useassa maassa (Weigt 2009). Alueelliset sähkömarkkinat ovat tyypillisesti keskittyneet muutamien suurten yritysten haltuun ja eri markkina-alueiden linkittäminen yhdeksi Euroopan laajuiseksi markkina-alueeksi siirtokapasiteettia rakentamalla tapahtuu hitaasti. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyy laajalti erilaisia tukia ja verohelpotuksia, jotka vääristävät markkinoiden toimintaa (OECD 2011). Nämä tekijät saattavat hidastaa uusien toimijoiden markkinoille tuloa ja teknologista muutosta.

Ilmastonmuutos on globaali ongelma ja kasvihuonekaasut leviävät kaikkialle ilmakehään päästölähteen sijainnista riippumatta.

Ks. myös Klaassen ym. (2005), Söderholm ja Klaassen (2007) sekä Ek ja Söderholm (2010). He ovat estimoineet tuulivoimapuistoihin liittyviä oppimisvauhteja Euroopan eri maissa melko samankaltaisella mallirakenteella.

Tämän vuoksi päästöjen vähentämisen tavoitteisiin tulisi löytää globaali ratkaisu, ja eri puolilla maapalloa käyttöön otettavien ohjauskeinojen tulisi olla yhteneviä tai vähintään linkitettyjä keskenään. Vaikka EU:n päästökaupan lisäksi monessa muussakin maassa on otettu tai ollaan ottamassa käyttöön omia päästökaupparjestelmiä³, ovat kansainväliset ilmastoneuvottelut olleet pitkään pysähdyksissä. Globaalia, kaikkia maita sitovaa ilmastositomusta ei ole saatu aikaiseksi.

EU:n kasvihuonekaasujen 20 % vähennystavoite vuoteen 2020 mennessä on poliittinen päätös, kuten muutkin niin sanotut EU:n 20/20/20-tavoitteet. Vaikka päästöoikeuden hinta olisikin kohtuullinen arvio päästövähennysten rajakustannuksista eurooppalaisissa teollisuuslaitoksissa (annetulla päästötavoitteella), se tuskin on päästöjen todellinen rajahaitta yhteiskunnalle. Fischer (2008) esittää, että julkinen puhtaan teknologian T&K-tuki on hyödyllistä, mikäli T&K-toiminnasta on merkittäviä positiivisia ulkoisvaikutuksia kuten oppimista ja mikäli päästömaksu ei kata kokonaisuudessaan saastuttamisen rajahaittaa. Innovaatioihin liittyvän ja teknologioiden käytönoton seurauksena leviävän uuden tietämyksen hyödyt jäävät saavuttamatta, mikäli ympäristöpolitiikka ei ole riittävän kireää. Lisäksi innovointi saattaa mahdollistaa tiukemman ympäristönsuojelun tason pidemmällä aikavälillä. Uusiutuviin energiamuotoihin liittyvä teknologiaohjaus voi vain täydentää riittämätöntä ympäristöohjausta, sillä ei voi korvata ympäristöohjausta.

1.3 Teknologinen lukkiutuminen

Sähköntuotanto ja -jakelu muodostavat yhdes- sä erittäin pääomaintensiivisen teollisuuden- alan. Investoinnit ovat kalliita ja pitkäikäisiä. Tällöin teknologiset uudistukset toteutuvat hitaasti ja ovat riippuvaisia aiemmin tehdyistä päätöksistä. Mikäli investointipäätökset osoit- tautuvat ajan myötä vääriksi, on niitä vaikea korjata nopeasti. Lisäksi pääomavaltaisilla toi- mialoilla on useasti tuotannon skaalaetuja, mikä saattaa heikentää kilpailua. Markkinoilla olevat yritykset pyrkivät estämään uusien toi- mijoiden tulon markkinoille ja ovat halutto- mampia ottamaan sellaista uutta teknologiaa käyttöön, joka parantaa uusien toimijoiden asemaa (Unruh 2000 ja 2002). Toisaalta myös uusiutuvien energiamuotojen teknologioihin saattaa liittyä teknologista lukkiutumista. Suo- rat vihreään sähköntuotantoon kohdistuvat tuet (syöttötariffit, vihreät sertifikaatit) saatta- vat suosia kypsiä teknologioita, eikä ohjausme- kanismi ole dynaamisesti tehokas (Kalkuhl ym. 2012).

1.4 Energian omavaraisuus ja vihreä kasvu

Energiapolitiikkaan liitetään myös muita poliit- tisiä tavoitteita, kuten energian omavaraisuus- tai työvoimapolitiittiset tavoitteet. Kotimaisten uusiutuvien luonnonvarojen (tuuli, aurinko, puu) käyttö parantaa energian omavaraisuutta, mikäli riippuvuus muualta tuotavien fossiilisten polttoaineiden käytöstä vähenee. Toisaalta esimerkiksi aurinko- ja tuulivoiman tuotannon määrät vaihtelevat huomattavasti vuoden- ja vuorokaudenajan mukaan ja ovat epävarmoja verrattuna konventionaalisten polttolaitosten tuotantoon. Jotta sähkön kysyntä voidaan joka

³ Ks. esim.: <http://www.ieta.org/worldscarbonmarkets>.

hetki tyydyttää, tarvitaan enemmän nopeasti käyttöön otettavaa säätövoimaa. Mikäli vesivoimaa ei ole riittävästi saatavilla, säätövoima tuotetaan fossiililla polttoaineilla. Lisääntynyt uusiutuvan energian kapasiteetti ei siis täysin poista omavaraisuuden ongelmaa (Schmalensee 2011).

Uusiutuvien energiamuotojen tukia perustellaan myös lisääntyvillä työpaikoilla ja ”vihreällä kasvulla”. Työvoimapolitiittisten argumenttien käyttö on kuitenkin perusteltua vain, mikäli vallitsee erityisen korkea työttömyys (Schmalensee 2011). Tukien myötä synnytyt työpaikat lisäävät talouden tehottomuutta, sillä tällöin muille, ilman tukiakin hyvin tuottaville aloille on vaikeampaa löytää työvoimaa tai muita resursseja. Lisäksi teknologia- ja energiapolitiittiset ohjauskeinot olisi syytä laatia pitkäaikaisiksi, jotta yritysten investointeihin liittyvä epävarmuus olisi mahdollisimman vähäistä. Talouteen ja työllisyyteen liittyvät syklit ovat huomattavasti lyhytikäisempiä, eikä energiapolitiittinen ohjaus ole sen tähden kovin hyvää työvoimapolitiikkaa. Toisaalta on myös havaittu, että Yhdysvalloissa korkea työttömyys on hidastanut osavaltioiden halua ottaa käyttöön uusiutuvan energioiden velvoitteita (Lyon ja Yin 2010).

2 Uusiutuvien energiamuotojen tuet

2.1 Ohjauskeinoja

Uusiutuvien energiamuotojen ohjauskeinojen paletti on varsin runsas. Tukimuotona voi olla investointi-, vero- tai T&K-tuet, syöttötariffijärjestelmä eri muodoissa tai uusiutuvan energian velvoitejärjestelmä, josta voidaan jalostaa

kaupattavien vihreiden sertifikaattien järjestelmä. Uusiutuvia energiamuotoja alettiin tukea öljykriisin seurauksena 1970-luvun alussa, jolloin monessa OECD-maassa otettiin käyttöön uusiutuvan energian T&K-ohjelmia. Tämän jälkeen 1980- ja 1990-luvuilla käytössä oli pääosin investointi- ja verotuet sekä tariffit. Uusiutuvien energiamuotojen velvoitteiden myötä kaupattavien sertifikaattien järjestelmät ovat lisääntyneet 2000-luvulla (IEA 2004). Nykyisin eri EU:n jäsenmailla on käytössään koko tukimuotojen kirjo. Erilaisten tukimuotojen lisäksi vaihtelua on syöttötariffien tasoissa ja kestoissa tai vaikkapa siinä, miten vihreiden sertifikaattien markkina on toteutettu (RES LEGAL 2012).

Syöttötariffi ja -premio

Syöttötariffijärjestelmässä RES-sähkön tuottajalle taataan markkinahintaa korkeampi hinta tuottamastaan sähköstä. Syöttötariffilla on erilaisia toteuttamistapoja: kiinteähintainen tariffi (esim. Saksa, Portugali ja Liettua), aikariippuvainen tariffi (esim. Espanjan vesi- ja biovoima, Unkari), indeksiin sidottu tariffi (esim. Latvia), muuttuva tariffi (esim. Bulgaria ja Tsekki) tai takuuhinta (esim. Suomi ja Tanska) (Kitzing ym. 2012).

Takuuhintajärjestelmässä sähkön tuottajalle taataan sähkölle minimihinta. Syöttötariffi on takuuhinnan ja sähkön hinnan välinen erotus silloin, kun sähkön markkinahinta alittaa takuuhinnan. Jos sähkön hinta on takuuhintaa korkeampi, ei syöttötariffia makseta. Kiinteähintainen tariffi pysyy samana sähkön hinnan muuttuessa. Tämä takaa tuottajalle varman tuoton ja pienentää investoinnin riskiä. Tariffin taso saattaa myös vaihdella muun muassa sähkön kysynnästä tai ajasta riippuen.

Hintapremiossa syöttötariffi koostuu normaalien sähkön markkinahinnan päälle maksettavasta osuudesta. Tuottajan saama hinta vaihtelee sähkön hinnan vaihdellessa, mutta tuotto on premion verran sähkön hintaa korkeampi. Premio voi olla kiinteä (Tanska, Espanja, Viro, Slovenia ja Suomen metsähake) tai vaihdella esimerkiksi vuorokauden ajan mukaan (Espanja) (Kitzing ym. 2012).

Oikea tariffitaso nostaa yritysten yksityiset tuotto-odotukset ja innovaatiotoiminnan tasolle, joka maksimoi innovoinnin yhteiskunnallisen hyödyn. Oikean tariffin määrittäminen on kuitenkin erittäin vaikea tehtävä. Ja vaikka tavoitteet uusiutuvalle energiantuotannolle olisi selkeästi asetettu, kuten EU:ssa vuodelle 2020, on epäsymmetrisen ja epävarman informaation vuoksi vaikea tietää sitä tariffitasoa, jolla tavoitte toteutuu. Liian matala tariffitaso ei houkuta yrityksiä kehittämään tai ottamaan uutta teknologiaa käyttöön, mutta toisaalta liian korkea tariffitaso ohjaa yli-investointeihin ja täten nostaa kuluttajien sähköstään maksamaa hintaa tarpeettomasti. Toisaalta korkea tariffitaso lisää kilpailua laitevalmistajien välillä, mikä oppimisen vuoksi laskee kustannuksia pidemmällä aikavälillä (Butler ja Neuhoff 2008).

Investointien tuotto-odotukset ovat erilaisia kypsillä, markkinoilla olevilla ja kustannusrakenteeltaan suhteellisen varmoilla ja toisaalta kehitysvaiheessa olevilla ja kustannuksiltaan epävarmoilla teknologioilla (Kildegaard 2008). Eri teknologioille onkin asetettu erisuuruisia tariffeja. Lisäksi syöttötariffia saatetaan maksaa yksittäiselle projektille vain tietyn ajan ja tariffien kestot vaihtelevat maittain. Tariffin myöntämisen ehtona saattaa olla myös jokin tietty kumulatiivinen kapasiteettiraja, jonka täyttymisen jälkeen syöttötariffia ei makseta uusille projekteille.

Euroopan eri maissa on ollut melko laaja skaala niin tariffin tason kuin tariffien kestonkin suhteen. Yleisenä sääntönä on ollut, että aurinkovoiman syöttötariffi on ollut kertaluokkaa suurempi kuin muiden teknologioiden (Jenner 2012). Tarkastelen myöhemmin kokemuksia syöttötariffijärjestelmästä Saksassa.

Uusiutuvien energiamuotojen velvoitejärjestelmä ja vihreät sertifikaatit

Uusiutuvien energiamuotojen velvoitejärjestelmä voi olla käytössä sellaisenaan tai siihen voi liittyä mahdollisuus käydä kauppaa, jolloin järjestelmää kutsutaan yleisesti kaupattavien vihreiden sertifikaattien järjestelmäksi. Velvoitejärjestelmässä joko sähkön tuottajalle, jälleenympärylle tai kuluttajalle annetaan velvoite tuottaa, välittää tai kuluttaa tietty osa sähköstään uusiutuville luonnonvaroilla tuotetulla niin sanotulla vihreällä sähköllä. Tämä voidaan todentaa eri tavoilla. Vihreiden sertifikaattien järjestelmässä vihreälle sähkölle myönnetään sertifikaatti. Velvoitteen omaavalla taholla tulee olla tietyn periodin aikana vähintään velvoitteen mukainen määrä sertifikaatteja hallussaan. Sertifikaateilla voidaan käydä kauppaa samalla tavoin kuin muillakin tavanomaisilla hyödykkeillä. Sertifikaatin hinta nousee, mikäli uusiutuvan energian velvoite uhkaa jäädä täyttymättä, mikä lisää tuottajien halukkuutta tuottaa lisää uusiutuvaa energiaa ja samalla sertifikaatteja markkinoille. Lyhyellä aikavälillä vihreiden sertifikaattien järjestelmä ohjaakin tuotantoa hyvin, mutta pidemmällä perspektiivillä hintatasoon liittyy epävarmuutta, mikä lisää tuottajien investointiriskiä. Sertifikaattijärjestelmä suosiikin kypsiä teknologioita, joiden investointikustannuksiin ei liity suurta epävarmuutta.

Muun muassa Iso-Britanniassa ja Ruotsissa on käytössä sertifikaattimarkkina. Erityisesti Britanniassa uusiutuvien energiamuotojen lisääntyminen ei kuitenkaan ole ollut yhtä voimakasta kuin esimerkiksi Saksassa, Espanjassa tai Tanskassa, joissa kaikissa on ollut käytössä syöttötariffi. Tälle on useita syitä. Syöttötariffijärjestelmässä tuottaja kohtaa vain määräriskin. Investointivaiheessa esimerkiksi tuulivoiman tuottaja on epävarma tuotannon määrästä, hinta sen sijaan on varma. Vihreiden sertifikaattien markkinoilla tuottaja kohtaa sekä määräättä hintariskin. Lisäksi eri maiden markkina-, maankäyttö- ja säätelyolosuhteet poikkeavat toisistaan.

Esimerkiksi tuulivoimaloista koituu meluja ja maisemahaittoja. Mikäli näitä negatiivisia ulkoisvaikutuksia ei kompensoida paikallisille asukkaille, voi paikallinen vastustus haitata ellei peräti kaataa hallinnollisia lupaprosesseja. Esimerkiksi Tanskassa ja Saksassa tuulivoimaloiden omistajina on suurelta osin paikallisia maanviljelijöitä, mikä lisää tuulivoiman hyväksyttävyyttä, koska tuotannosta kertyvät tuotot kompensoivat suoraan ulkoisvaikutuksen. Britanniassa ja Espanjassa tuulivoiman omistus on suurempien yritysten hallussa. Suhteessa asukaslukuun Britanniassa on Espanjaan verrattuna vähän pinta-alaa, mikä aiheuttaa suurempia ristiriitoja maankäytölle. Yhdistettynä heikkoon paikalliseen hyväksyttävyyteen, ristiriidat maankäytöstä vaikeuttavat tuulivoiman lupaprosesseja (Pollitt 2010).

Ruotsissa on ollut vuodesta 2003 lähtien käytössä vihreiden sertifikaattien järjestelmä (vuodesta 2012 lähtien yhdessä Norjan kanssa). Toisin kuin Britanniassa, uusiutuvaa energiaa on Ruotsissa saatu tehokkaasti markkinoille. Pitkälti tämä selittyy kuitenkin sillä, että markkinoiden likviditeetin varmistamiseksi järjestel-

mään otettiin mukaan jo olemassa olevaa tuotantokapasiteettia (sähkön- ja lämmöntuotannon CHP-voimalat ja pienvesivoima). Alkuvuosina lisääntynyt uusiutuvien energiamuotojen tuotanto olikin pääosin jo olemassa olevan ja kustannuksiltaan edullisimman kapasiteetin tuotantoa (Bergek ja Jacobsson 2010, Fridolfsson ja Tangerås 2012). Toisaalta etenkin uutta tuulivoimaa on rakennettu runsaasti. Tuulivoimakapasiteetti on sertifikaattijärjestelmän käyttöönoton myötä kymmenkertaistunut. Vuoden 2012 lopulla tuulivoimakapasiteettia oli Ruotsissa 3 745 MW. Uusille laitoksille myönnetään sertifikaatteja Ruotsissa korkeintaan 15 vuoden ajan. Toisin kuin esim. Britannian järjestelmässä, Ruotsissa uusiutuvan energian sertifikaatteja on tuotettu enemmän kuin uusiutuvan energian velvoite edellyttäisi. Sertifikaatit on säästetty myöhäisempää käyttöä varten (Pollitt 2010, Energimyndigheten 2012). Molemmissa maissa järjestelmää on moitittu kalliiksi (Bergek ja Jacobsson 2010, Pollitt 2010).

Tarjouskilpailut

Velvoite- tai tariffijärjestelmää voidaan täydentää kilpailutusmenettelyllä. Tarjouskilpailussa viranomaisen tarjoaa huutokaupassa tietylle määrälle uusiutuvan energian tuotantoa tukea. Tuottajat osallistuvat huutokauppaan, jossa ne esittävät projekteilleen haluamaansa tukitasoa. Viranomaisen myöntää tukea alimmasta tarjouksesta lähtien, kunnes tavoitteena ollut määrä uusiutuvan energian projekteja täyttyy. Voittaneiden projektien tariffitaso määräytyy viimeisen hyväksytyin tarjouksen mukaan tai muulla huutokauppasääntöjen määräämällä tavalla.

Esimerkiksi Ranska ja Tanska ovat kilpailuttaneet tariffitasojaan ja Britanniassa on ollut oma kilpailutusohjelmansa (*the Non Fossil Fuel Obligation, NFFO*). NFFO:ssa oli kaikkiaan

viisi kierrosta vuosien 1990-98 välillä. Vaikka tarjouskilpailu onnistuikin tarjousten osalta, niin projektien toteutuksen osalta se epäonnistui pahoin. NFFO:n kaikilta kierroksilla hyväksytyjä tarjouksia annettiin 933, joista vain 380 oli toiminnassa joulukuussa 2011. Tarjottu kokonaiskapasiteetti oli 3 639 MW, joista vajaa 30 % oli toteutunut. Heikoiten ovat toteutuneet tuulivoimaprojektit (RESTAT 2011, Pollitt 2010, Mitchell ja Connor 2004).

Kilpailuttamisen suunnittelussa tulisi huomioida mm. eri teknologiat, alueellinen jakautuminen ja tariffijaksojen pituudet samalla muistaen, että onnistuneen tarjouskilpailun tulisi olla riittävän yksinkertainen ja osallistujien määrän tulisi olla tarpeeksi suuri, jotta kilpailu takaisi tehokkaan lopputuloksen. Hyvin suunniteltu kilpailutus poistaisi osittain tariffitasen määrittämiseen liittyvät ongelmat, sillä viranomaisen saa tietoa uusiutuvan energian tuottajien kustannuksista huutokaupassa tehtyjen huutojen seurauksena.

Ausubel ja Cramton (2011) ehdottavat seuraavaa kolmea periaatetta, kun suunnitellaan tarjouskilpailua esimerkiksi merellä sijaitsevan tuulivoiman rakennuspaikoista. Nämä ovat:

- 1) *Substituution lisääminen.* Kun tarjolla on useita paikkoja tuulivoiman rakentamiseen, huutokaupattavien yksiköiden tulisi olla vaihtoehtoisia toisilleen. Jos huutokaupattavat alueet tai paikat ovat toisiaan täydentäviä (komplementteja), ne tulisi kaupata yhtenä kokonaisuutena. Tämä yksinkertaistaa huutokaupan suunnittelua ja toteutusta.
- 2) *Hintakehityksen havaitseminen.* Kun huutokaupattavien yksiköiden arvoon liittyy epävarmuutta, tulisi huutokaupan suunnittelussa suosia sellaisia huutokaupatapoja, jotka tuottavat informaatiota

tiota hintojen kehityksestä huutokaupan kuluessa. Huutokauppaprosessin tulisi olla dynaaminen.

- 3) *Totuudenmukaisten tarjousten tekeminen houkuttelevaksi.* Mikäli huutokauppasäännöt kannustavat yrityksiä huutamaan totuudenmukaisesti, parantaa se huutokaupan tehokkuutta ja oikean hinnan paljastumista.

2.2 Ohjauskeinojen vaikutukset

Uusiutuvien energiamuotojen tuilla pyritään ensisijaisesti voimistamaan uusien teknologioiden leviämistä ja niiden kehittämistä. Poliitikatoimien onnistumista on kuitenkin erittäin vaikea mitata, koska toimenpiteiden kaikkia vaikutuksia on vaikea havaita ja määrittellä. Olosuhteiden muuttuessa myös teknologioiden odotetut hyödyt muuttuvat ja arviointien tulisi sisältää hyvin pitkiä aikaperiodeja (Jaffe ym. 2005). Joitain empiirisiä arviointeja on kuitenkin tehty.

Johnstone ym. (2010) tutkivat, miten erilaiset uusiutuvan energian politiikkatoimet, kuten T&K-tuet, investointituet, verotuet, syöttötariffit, vapaaehtoiset ohjelmat, velvoitteet ja kaupattavat sertifikaatit, ovat vaikuttaneet uusiutuviin energiamuotoihin liittyvään innovointiin. Yritysten innovaatio toimintaa kuvaamaan he käyttävät laajaa patenttitausta 25 OECD-maasta vuosilta 1978-2003. Aineiston alkuvuosina maiden aktiivisesti käyttöönottamien T&K-ohjelmien lisäksi patenttien määrää niissä teknologioissa, joille ohjelmat oli suunnattu. Myöhemmin käytössä olleiden ohjauskeinojen vaikutus on ollut erilaista eri teknologioille. Eriyisesti syöttötariffit ja uusiutuvan energian velvoitteet ovat vaikuttaneet kahden keskeisimmän teknologian, tuuli- ja aurinkovoiman, pa-

tenttimääriin eri tavalla. Kun uusiutuvan energian tuotannolle asetetaan velvoite, keskittyvät yritysten kehitystyö kustannuksiltaan edullisimpiin ja kypsempiin teknologioihin. Vihreän energian velvoitteet ovatkin lisänneet erityisesti tuulivoiman patenttihakemusten määrää. Syöttötariffijärjestelmän käytöllä sitä vastoin on ollut positiivinen ja tilastollisesti merkitsevä vaikutus korkeiden kustannusten teknologioiden, kuten aurinkovoiman, patenttihakemuksille. Muun muassa tuulivoiman patenttihakemuksiin syöttötariffeilla ei ole kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta. Myöskään sähkömarkkinoiden erilaisilla olosuhteilla (sähkön hinnalla tai kulutuksen kasvulla) ei ole ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta patenttiaktiivisuuteen. Sen sijaan vuonna 1997 hyväksytyllä Kioton pöytäkirjalla on ollut tilastollisesti merkitsevä ja merkittävä vaikutus patenttihakemusten määrän lisääntymiseen.

Popp ym. (2011) laajentavat Johnstonen ym. (2010) asetelmaa kysymällä, miten uusiutuviin energiamuotoihin liittyvän tietovarannon kasvu on, eri politiikkamuuttujien ohella, vaikuttanut yritysten haluun investoida uusiin teknologioihin. Tietovarannon kasvun mittarina on patenttihakemusten kumulatiivinen määrä 26 OECD-maassa vuosina 1991-2004 ja selitettävänä muuttujana on uusiutuvan energian teknologioiden kapasiteetin kasvu henkeä kohden. Tietovarannon kasvulla on ollut tilastollisesti merkitsevä vaikutus ainoastaan investoinneissa tuulivoimaan ja biomassavoimaloihin, ja niihinkin vaikutus on ollut vain vähäinen: 10 %:n kasvu tietovarannossa on lisännyt investointeja biomassavoimaloihin 2,6 % ja tuulivoimaan 0,6 %. Sen sijaan muiden teknologioiden investointeihin patenttimäärän kasvulla ei ole ollut merkitystä. Poliittikkamuuttujista suurin vaikutus investointihalukkuuden lisääntymi-

seen on ollut sillä, että yrityksen kotimaa on ratifioinut Kioton pöytäkirjan. Tämä on Poppin ym. mukaan ollut signaali yrityksille, että pöytäkirjan ratifioinut maa tulee ottamaan käyttöön erilaisia ilmastopolitiikan ja uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämiseen liittyviä ohjauskeinoja, mikä on lisännyt halukkuutta investointeihin. He eivät kuitenkaan havaitse, että muilla toimenpiteillä kuten esimerkiksi syöttötariffilla olisi itsessään ollut investointeja lisäävää vaikutusta. Tähän saattaa vaikuttaa aineiston päättyminen vuoteen 2004.

Söderholm ja Klaassen (2007) kuitenkin havaitsevat, että tuulivoiman syöttötariffilla on ollut teknologian leviämistä edistävä vaikutus. Toisaalta syöttötariffi on kannustanut rakentamaan tuulivoimaloita myös epäedullisille paikoille, eikä siten ole kannustanut kustannusten leikkaamiseen tehokkaasti.

Empiiristen arvioiden lisäksi mm. Fischer ja Newell (2008) tarkastelevat eri ympäristö- ja innovaatiopolitiikan ohjauskeinoja ja niiden yhdistelmiä kasvihuonekaasujen rajoittamiseksi ja uusiutuvan energian tukemiseksi teoreettisella mallilla, jonka he kalibroivat Yhdysvaltojen sähköntuotantosektorille. Mallissa erotetaan toisistaan tiedon kerääntymiseen vaikuttavat kaksi komponenttia: tutkimus- ja kehitystyö sekä uusien teknologioiden käyttöönotto. Tulosten perusteella päästömaksu on yksittäisenä instrumenttina selvästi tehokkain; samanaikaisesti se ohjaa tuottajia vähentämään päästöjään, kuluttajia vähentämään sähkönkulutustaan ja vihreän sähkön tuottajia lisäämään tuotantoaan ja investoimaan tutkimukseen. Fischer ja Newell toteavat kuitenkin, että päästömaksua on optimaalista täydentää T&K-tuella ja uusiutuvan energian tuotannon tuella. Näistä T&K-tuki on tehokkuuden ja kustannusten kannalta merkittävämpi. Huomioitavaa on, että empiiri-

Taulukko 1. Saksassa käytössä olevat syöttötariffin (FIT) tasot.

	FIT* (€/MWh)	Vuosialenema (%)
Tuulivoima maalla	48,7 - 89,3	1,5
Tuulivoima merellä	35,0 - 190,0	7**
Aurinkovoima	211,1 - 287,4	9***
Biomassa	60,0 - 143,0	2
Biokaasu, biomassa	60,0 - 250,0	2
Biokaasu, kaatopaikka	58,9 - 86,0	2
Biokaasu, jätevesi	58,9 - 67,9	2
Vesivoima	34,0 - 127,0	1
Geoterminen energia	250,0	5**

* Tariffin tasoon vaikuttavat teknologiasta riippuen mm. maksuaika, laitoksen koko, laitoksen ikä tai käytetty polttoaine. Lisäksi joillekin laitoksille maksetaan bonusta esimerkiksi systeempalveluista (tuulivoima) tai tietyn teknologian käytöstä (geoterminen energia).

** Vuodesta 2018 lähtien.

*** 7,5 % - 15 % asenmetusta kapasiteetista riippuen.

Lähde: RES LEGAL (2012).

sen simulaation mukainen optimaalinen uusiutuvan energian tuotantotuen taso on paljon matalampi kuin todellisuudessa käytössä olevien tukien taso. Oppimisella on siten vaikea perustella korkeita tuotantotukia suhteellisen kypsille teknologioille kuten tuulivoimalle.

2.3 Kokemuksia syöttötariffista - Saksa

Saksassa on käynnissä kenties länsimaiden merkittävin energiapolitiikan muutos, josta käytetään muuallekin Eurooppaan levinnyttä nimitystä Energiewende, energiakäännö. Päätös luopua ydinvoimasta vuoteen 2022 mennessä sekä 80 %:n tavoite uusiutuvien energiamuotojen osuudeksi sähkön kokonaiskulutuksesta vuoteen 2050 mennessä on ajanut Saksan sähkömarkkinat ennennäkemättömään muutokseen (Hakkarainen 2013). Saksan kehitystä seurataan muissakin maissa suurella mielenkiinnolla.

Saksassa 1990-luvun alussa käyttöönotettu syöttötariffi velvoitti sähkön verkko-operaattoreita ottamaan vihreää sähköä verkkoonsa ja maksamaan tästä sähkön tuottajille 90 % sähkön jälleenmyyntihinnasta. Tämän lisäksi muun muassa tuulivoimalaitosten valmistajat saivat yleistä markkinakorkoa alhaisempaa lainaa (Klaassen ym. 2005). Sähkömarkkinoiden vapautumisen myötä tariffijärjestelmää uudistettiin vuosituhannen vaihteessa, koska sähkön hinta laski. Vuonna 2000 voimaan astuneen lain (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) mukaan uusiutuvalla energialle alettiin maksaa tasaista syöttötariffia, jonka kestoksi asetettiin 20 vuotta (Frondey ym. 2010). Taulukossa 1 on esitetty nykyisiä tariffitasoja. Ne vaihtelevat teknologiasta riippuen ja alenevat vuosittain. Tällä pyritään tukemaan eri kehitysvaiheessa olevia teknologioita ja huomioimaan oppimisen seurauksena tuleva kustannusten aleneminen.

Syöttötariffi on toiminut tehokkaasti, mikäli tarkastellaan esimerkiksi tuuli- tai aurinkosähkökapasiteetin (*solar photovoltaics*) kasvua Saksassa. Vuonna 1990 tuulivoimakapasiteettia (merellä ja maalla sijaitsevat tuulivoimalat) oli Saksassa yhteensä 55 MW ja aurinkovoimaa 0,6 MW. Vuonna 2012 tuulivoiman kapasiteetti oli jo 31 315 MW ja aurinkovoiman 32 643 MW (BMU 2013). Kapasiteetin kasvu on ollut huimaa etenkin viimeisen kymmenen vuoden aikana. Samalla on kuitenkin kasvanut syöttötariffina maksettu tuki. Syöttötariffien kokonaismaksut olivat vuonna 2000 reilu miljardi euroa ja vuoden 2013 uusiutuvien energiamuotojen tukien kokonaismaksujen arvioidaan kasvavan jo noin 20 miljardiin euroon, eikä maksuissa ole odotettavissa laskua tulevinakaan vuosina (Hakkarainen 2013, BDEW 2013). Verrattaessa syöttötariffia esimerkiksi Saksan julkisiin T&K-investointeihin, niin esimerkiksi vuonna 2007 uusiutuvien energiamuotoihin suunnatut julkiset T&K-investoinnit olivat noin 3 % syöttötariffien suuruudesta (Frondey ym. 2010).

Sähköverkkoa hallinnoivan operaattorin on Saksassa otettava vastaan kaikki uusiutuva energia ja maksettava siitä syöttötariffin mukainen korvaus. Uusiutuvan sähkön tuottaja ei tällöin ota huomioon verkon suunnitteluun, rakentamiseen tai kuormitukseen liittyviä kustannuksia. Tuuli- ja aurinkovoimakapasiteetin kasvaessa sähkömarkkina hajaantuu ja tuotannon ennustettavuus alenee, mikä saattaa aiheuttaa suurta epätasapainoa verkon kuormituksessa sääolosuhteiden ollessa odotettua parempia tai huonompia.

Saksassa tuulivoimakapasiteetti on keskitynyt maan pohjoisosiin ja aurinkovoimakapasiteetti kuten myös energiaa paljon kuluttava teollisuus maan eteläosiin. Lisäksi tuulivoimaa

on eniten tarjolla talvikuukausina ja aurinkovoimaa kesäkuukausina (BDEW, 2013). Talvella 2012 kulutuksen ja tuotannon yhtäaikaiset poikkeamat ennusteista, yhdessä ydinvoiman alasajon sekä maakaasun jakelun ongelmien kanssa ruuhkauttivat Saksan sähkön siirtokapasiteetin ja aiheuttivat häiriöitä sähköverkossa. Sekä Etelä-Saksan että Itävallan varavoimailaitokset jouduttiin ottamaan normaalia useammin käyttöön.⁴ Uusiutuvan energiamuotojen kapasiteetin ja tuotannon kasvun seurauksena myös muuta sähköntuotannon infrastruktuuria kuten varavoima- ja siirtokapasiteettia onkin uudistettava. Yhtenäinen syöttötariffi ei huomioi tuotannon epävarmuudesta aiheutuvia ylimääräisiä kustannuksia.

Vaikka ottaisikin huomioon uusiutuvien energiamuotojen tukien oppimiseen liittyvät vaikutukset, on Saksan syöttötariffijärjestelmä ollut sangen kallis tapa vähentää päästöjä. Marcantonini ja Ellerman (2013) ovat laskeneet uusiutuvien energiamuotojen päästövähennyskustannuksia Saksassa vuosilta 2006-2010 ottamalla suoria syöttötariffista koituneita suoria maksuja laajemmin huomioon eri kustannustekijöitä, kuten lisääntyneestä varavoiman käytöstä aiheutuneet kustannukset, mutta myös kustannussäästöjä tuottaneita tekijöitä, kuten polttoainesäästöt ja lisäkapasiteetin rakentamisen välttämisestä koituneet säästöt. Heidän arvionsa mukaan tuulivoimatuotannon päästövähennyskustannus oli vuosina 2006-2010 keskimäärin noin 43 €/tCO₂ ja vastaavasti aurinkovoiman noin 537 €/tCO₂. Vertailun vuoksi päästöoikeuden (EUA) hinta EU:n päästökaupan toisella kaudella (2008-2012) oli keskimää-

⁴ Bundesnetzagentur Press Release, 7.5.2013: Bundesnetzagentur publishes report on the situation in the electricity grid in winter 2011/2012.

rin noin 13 €/tCO₂ ja vuoden 2013 aikana EUA:n hinta on ollut enää reilu 4 €/tCO₂. Alati kasvaviin kustannuksiin on myös reagoitu. Sen lisäksi, että aurinkovoiman syöttötariffia on laskettu, asetettiin aurinkovoiman kokonaiskapasiteetille Saksassa vuonna 2012 katto. Kun kokonaiskapasiteetti kasvaa yli 52 gigawatin, ei uusille voimaloille makseta enää tukea.

Syöttötariffijärjestelmät etenkin Saksassa ja Tanskassa ovat edistäneet eurooppalaisten yritysten asemaa tuulivoimaloiden tuotannossa. Vuonna 2011 maailman kymmenestä suurimmasta tuulivoimalaitosten valmistajista neljä oli eurooppalaisia. Aurinkovoiman osalta eurooppalainen sähköpaneelituotanto on sen sijaan viime vuosina taipunut kilpailussa kiinalaisille valmistajille. Kiinalaisten ja taiwanilaisten tuottajien markkinaosuus oli 61 % vuonna 2011, kun se vuotta aiemmin oli 50 %. Samalla eurooppalaisia ja saksalaisia aurinkovoimayrityksiä on lopettanut, vaikka Saksaan on asennettu eniten aurinkosähköä tuottavaa kapasiteettia maailmassa (35,6 % kapasiteetista vuonna 2011). (REN21 2012.) Saksan syöttötariffi on siis ennen kaikkea hyödyttänyt aasialaista sähköpaneelien teknologiatuotantoa. Toisaalta voimakkaan kapasiteetin kasvun myötä uuden teknologian hinnat ovat kuitenkin laskeneet, mistä hyötyvät kaikki aurinkovoimaan investoivat maat.

3 Syöttötariffi Suomessa

Suomessa otettiin vuoden 2011 alusta käyttöön tuotantotukilain (1396/2010) mukainen syöttötariffi. Syöttötariffi kattaa tuulivoimaan, metsähakeeseen, biokaasuun ja puupolttoaineeseen perustuvan sähkön tuotannon, mikäli voimalaitos on uusi, eikä ei ole saanut muuta valtiontukea (tämä ei koske metsähakevoima-

loita). Syöttötariffia maksetaan tuotantolaitokselle korkeintaan 12 vuoden ajan.

Taulukossa 2 esitetään Suomen syöttötariffijärjestelmä yksinkertaistettuna. Perustuki (takuuhinta) tuuli-, biokaasu- ja puupolttoainvoimaloille on 83,5 €/MWh. Käytännössä voimaloiden sähköntuotannolle maksetaan tukena takuuhinnan ja sähkön keskimääräisen pörssihinnan välinen erotus kolmen kuukauden tariffijaksolta, mikäli keskimääräinen sähkön hinta on alle takuuhinnan. Tuulivoimatuotannossa takuuhinta on korotettu kolmelle ensimmäiselle vuodelle (105,3 €/MWh). Korotettua tukea maksetaan vain vuoden 2015 loppuun asti. Biokaasu- ja puupolttoainvoimaloille maksetaan perustuen lisäksi lämpöpremiota (50 €/MWh ja 20 €/MWh), mikäli ne tuottavat lämpöä hyötykäyttöön. Syöttötariffia maksetaan uusille voimalaitoksille, kunnes kapasiteettia on riittävästi: tuulivoimaa 2500 megavolttiampeerin (MVA), biokaasuvoimaloita 19 MVA:n sekä puupolttoainvoimaloita 150 MVA:n nimellistehoon asti.⁵ Tämän lisäksi puupolttoainvoimaloilla on 50 voimalan määrärajoite.

Metsähakevoimaloilla tuki toteutetaan hinnoitteluna, eli tariffi maksetaan sähkön hinnan päälle. Metsähakevoimaloiden ei tarvitse olla uusia laitoksia. Metsähakevoimaloille maksetaan lisäksi kaasutinpremiota, mikäli voimalaitoksessa on kaasutin, jossa metsähaketta kaasutetaan pölypolttokattilaan. Tariffitasot on sidottu EU:n päästöoikeuden hintaan ja 2013 lähtien myös turpeen veroon. Vuonna 2012 syöttötariffi oli matalien EUA:n hintojen vuok-

⁵ *Nimellisteho (yksikkö voltiampeeri, VA) koostuu vaihtovirtapiirissä päätötehosta (yksikkö watti, W) ja loistehosta (yksikkö vari, var). Nimellisteho ja päätöteho ovat yhtä suuria, mikäli virran ja jännitteen välillä ei ole vaihe-eroa.*

Taulukko 2. Syöttötariffi Suomessa.

	Perustuki (€/MWh)	Lisätuki (€/MWh)	Ehto lisätuelle	Tuen maksamisen rajoitus
Tuulivoima	83,5	+ 21,8	2015 loppuun asti, enintään 3 vuoden ajan	Yhteisteho 2500 MVA
Biokaasu	83,5	+ 50	Lämpöpreemio	Yhteisteho 19 MVA
Puupolttoaine	83,5	+ 20	Lämpöpreemio	Yhteisteho 150 MVA / 50 generaattoria
Metsähake				
- 2011 - 2012	0 - 18	-	-	-
- 2013 - 2014	0 - 13,13	+ 0 - 6,48	Kaasutinpreemio	-
- 2015 -	0 - 11,31	+ 0 - 8,30	Kaasutinpreemio	-

Lähde: Energiamarckkinavirasto.

si 18 €/MWh, mutta esimerkiksi 2011 kolmannella tariffijaksolla (1.7.–30.9.2011) 15,09 €/MWh. Tällä hetkellä metsähakevoimaloiden syöttötariffi on 13,13 €/MWh ja kaasutinpreemio 5,47 €/MWh (EMV 2013).⁶

Mikäli uusiutuvan energian hankkeet eivät kuulu syöttötariffin piiriin, uusiutuvien energiamuotojen investoinneille voi saada tukea myös monesta muusta kohteesta. Työ- ja elinkeinoministeriö hallinnoi hankekohtaista energiatukea ja valmistelee demonstraatiotukea merituulivoimalle ja maaseutuvirasto jakaa tukea maatilojen lämpökeskuksille ja biokaasulaitoksille. Lisäksi maa- ja metsätalousministeriö jakaa energiapuun korjuu- ja haketustukea (kemera-tuki), joten metsähakkeen polttoa tuetaan sekä polttoaineen tarjonnan että kysynnän (syöttötariffi) lisäämiseksi.⁷ Lisäksi vanhat syöttötariffijärjestelmän ulkopuoliset tuuli-, biokaasu- ja puupolttoainevoimalat saivat vuo-

den 2011 loppuun asti kiinteää tukea tuotannolle.

Vuodelle 2011 syöttötariffia maksettiin kaikkiaan reilu 11 miljoonaa euroa, joka kohdentui 28 metsähakevoimalalle ja viidelle uudelle tuulivoimalalle (Taulukko 3). Näiden lisäksi maksettiin vanhan järjestelmän mukaista kiinteää tukea yhteensä 8,5 miljoonaa euroa. Vuoden 2012 osalta syöttötariffina maksettiin kaikkiaan noin 48 miljoonaa euroa: 46 metsähakelaitokselle maksettiin 39 milj. € ja 10 tuulivoimalaitokselle 8,8 milj. €.

Taulukkoon 3 on myös laskettu hyvin karkeasti syöttötariffijärjestelmän tuottamia päästövähennyksiä.⁸ Sähkön korkean kysynnän aikana tuulivoimatuotanto syrjäyttää hiililauhdetta ja matalan kysynnän aikana mahdollisesti jotain halvempaa ja ominaispäästöiltään

⁶ Syöttötariffin laskukaava: <http://www.energiamarckkinavirasto.fi> > Tuotantotuki > Syöttötariffin määrittäminen ja markkinahinnat.

⁷ Pienpuun energiatukijärjestelmän (PETU) on tarkoitus korvata kemera-tuet Euroopan komission hyväksymisen myötä.

⁸ Tukipolitiikan tuottamien päästövähennysten arviointi on melko hankalaa. Katso esim. Lindroos ym. (2012), jotka arvioivat päästövähennysten lisäksi myös muun muassa tukipolitiikan suoria työllisyysvaikutuksia.

Taulukko 3. Syöttötariffi vuosina 2011-2012.

Vuosi	Voimalaitostyyppi	Nimellis-			Tuki (milj. €)	Päästövähennys* (1000 x tCO2)	Päästövähennys- kustannus (€/tCO2)
		Laitoksia	teho (MVA)	Tuotanto (GWh)			
2011	Metsähakevoimalaitos, ei-kaasutinpremio	28	2463	549,8	10,2	147,9 - 489,3	20,9 - 69,2
	Tuulivoimalaitos	5	18	15,4	1,0	4,1 - 13,7	72,5 - 240,0
	2011 yhteensä	33	2481	565,2	11,2	152,0 - 503,0	
2012	Metsähakevoimalaitos, ei-kaasutinpremio	46	3376	2061,4	39,0	554,5 - 1834,7	21,2 - 70,3
	Tuulivoimalaitos	10	102	137,3	8,8	36,9 - 122,2	72,4 - 239,6
	2012 yhteensä	56	3478	2198,7	47,8	591,4 - 1956,8	

* Päästövähennyksiä laskettaessa on ominaispäästökertoimen alarajana käytetty vuosien 2000 - 2008 sähköntuotannon keskimääräistä ominaispäästökeroa 269 tCO2/GWh ja ylärajana lauhdevoiman ominaispäästökeroa 890 tCO2/GWh (Saari ym. 2010).

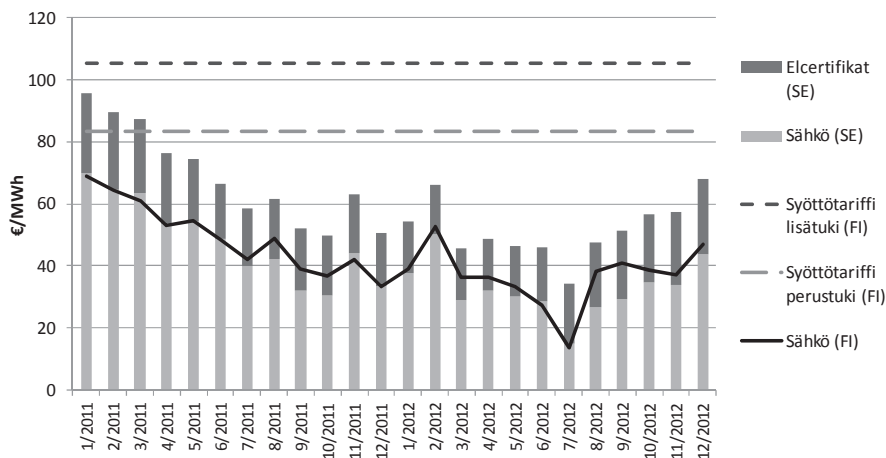
Lähde: Energiamarckinaviraston SATU-järjestelmä.

alempaa (esim. CHP-voimaloiden) sähköntuotantoa tai tuontisähköä. Keskimäärin Suomessa vuosina 2000-2008 sähkön kokonaistuotannon ominaispäästökero on ollut 269 gCO2/kWh ja sähkön erillistuotannossa lämpövoiman (käytännössä hiililauhteen) ominaispäästökero on ollut 890 gCO2/kWh (Saari ym. 2010). Näillä arvioilla syöttötariffijärjestelmän päästövähennyskustannus on tuulivoimaloille ollut luokkaa 70-240 €/tCO2. Metsähake syrjäyttää pääsääntöisesti CHP-voimaloissa muita polttoaineita. Esimerkiksi Lindroos ym. (2012) käyttävät laskelmissaan metsähakkeelle ominaispäästökertoimia 272-329 gCO2/kWh. Metsähakevoimaloille tukijärjestelmän päästövähennyskustannus onkin ollut lähempänä arvion ylärajaa 70 €/tCO2. Arviot ylittävät reilusti EU:n päästöoikeuden hinnan, joka oli vuonna

2011 keskimäärin 13,2 €/tCO2 ja vuonna 2012 keskimäärin 7,5 €/tCO2.

Mitä arvioita voi esittää tulevasta kehityksestä? Tuulivoiman osalta Suomea voi verrata naapurimaahan Ruotsiin. Pohjoismaisen Nord Pool -sähköpörssin systeemihinta on molemmissa maissa sama, vaikka siirtokapasiteetin ruuhkautuessa aluehinnat eroavatkin jonkin verran toisistaan. Maiden tuuliosuhteetkin ovat suhteellisen samankaltaiset (European Wind Atlas 2013). Tulevina vuosina tuulivoiman kapasiteetin voi odottaa kasvavan Suomessa länsinaapurimme kehityksen kaltaisesti. Suomessa tuulivoimalla tuotettiin vuonna 2012 noin 492 GWh sähköä. Uutta tuulivoimakapasiteettia on syöttötariffin piiriin tullut kahden ensimmäisen vuoden aikana noin 102 MVA:n edestä. Tämä on vielä kaukana kokonaisrajoitteesta 2500 MVA, mutta uusia tuulivoimapro-

Kuvio 1. Tuulivoiman syöttötariffi Suomessa (FI), Ruotsin (SE) uusiutuvan energian sertifikaatin (elcertifikat) hinnat sekä sähkön keskimääräiset aluehinnat kuukausittain vuosina 2011–2012.



Lähteet: Nord Pool Spot (<http://www.nordpoolspot.com>), SKM (2013).

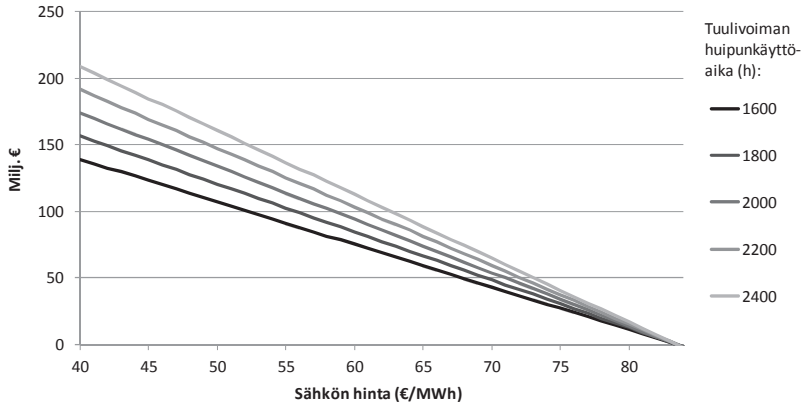
jekteja on runsain mitoin valmisteilla. Kaikkiaan Suomessa oli vuoden 2012 lopulla 163 tuulivoimalaa, joiden kokonaiskapasiteetti oli 288 MW. Kaikkiaan suunnitteilla oli liki 9000 MW edestä uutta tuulivoimaa, joista rakennusvaiheessa noin 140 MW ja esimerkiksi ympäristövaikutusten arviointimenettelyn läpikäyneiden projektien kokonaiskapasiteetti oli liki 1450 MW, josta noin 870 MW merituulivoimaa.⁹ (STY 2013.) Tuulivoiman käyttöönottoa on kuitenkin vaikeuttanut lupaprosessien monimutkaisuus, päällekkäisyys ja hitaus (Tarasti 2012). Todennäköisesti kun tavoitekapasiteetti

täyttyy, laimenee samalla tuulivoimaprojektien lisärakentaminen.

Kapasiteetin kasvun perusteella tuulivoima on ollut Ruotsissa houkutteleva investointikohte. Suunnitteilla olevien tuulivoimaprojektien perusteella se on sitä myös Suomessa. Kuviossa 1 on esitetty Ruotsin ja Suomen tuulivoimasähkön tuottajahintoja 2011–2012. Ruotsissa tuulivoimatuottajalle maksetaan sähköstä pörssihinnan ja uusiutuvan energian sertifikaatin (elcertifikat) yhteenlaskettu hinta. Ruotsin vihreän sertifikaatin hinta on tällä hetkellä noin 20 €/MWh, kun se korkeimmillaan on ollut kesällä 2008 noin 45 €/MWh ja alimmillaan keväällä 2012 noin 16 €/MWh (SKM 2013). Sähkön keskimääräinen pörssihinta on kymmenen viime vuoden ajan vaihdellut 40 €/MWh ympärillä. Suomessa uudet tuulivoimalaitokset ovat saaneet toistaiseksi 105,3 €/MWh takuuhinnan sähköntuotannolle, mutta jatkossa

⁹ Jos vertaa yksittäisten tuulivoimaloiden Energiamarckinaviraston SATU-järjestelmän nimellistehoja (MVA) ja Suomen tuulivoimayhdistyksen hankerekisterin maksimitehoja (MW), niin laitosten tehokerroin on luokkaa 0,8-0,9. Näillä tehokertoimilla nimellistehollinen kokonaiskapasiteetti 2500 MVA vastaa teholukemia 2000-2250 MW.

Kuvio 2. Tuulivoiman vuotuiset syöttötariffimaksut Suomessa syöttötariffin perustuella 83,5 €/MWh ja kokonaiskapasiteetilla 2000 MW, kun sähkön hinta ja tuulivoiman keskimääräinen huipunkäyttöaika muuttuvat.



tuulivoiman tariffi on 83,5 €/MWh. Tämäkin on Ruotsin toteutunutta tukihintaa korkeampi. Ruotsin alemmaa hintaa tosin kompensoi kolme vuotta pidempi tukiaika, mutta tuottoon liittyy hintariskin myötä suurempi epävarmuus.

Mitkä ovat syöttötariffijärjestelmän kustannukset Suomessa tuulivoiman osalta, mikäli kaikki 2500 MVA tulee tuotantoon? Kuviossa 2 on esitetty tuulivoiman vuosittaiset tariffikustannukset eri tuulivoiman huipunkäyttöajoilla (sähköntuotanto (Wh) asennettua kapasiteettia (W) kohden) ja sähkön pörssihinnoilla, kun syöttötariffin suuruudeksi on oletettu perustuki 83,5 €/MWh ja tuulivoiman kokonaiskapasiteetiksi 2000 MW. Vuosina 2004-2012 Suomen tuulivoimaloiden huipunkäyttöaika oli keskimäärin noin 1900 tuntia. Uusilla laitoksilla on keskimäärin korkeammat huipunkäyttöajat kuin vanhoilla, sillä tuulivoimaloiden laitoskoko, korkeus ja tuotantovarmuus kasvavat teknologisen kehityksen myötä. (Turkia ja Holttinen 2013.) Vuosien 2011-2012 keskimääräisellä sähkön hinnalla 43 €/MWh ja 1700

tunnin huipunkäyttöajalla vuosikustannus olisi noin 140 miljoonaa euroa. Mutta jos laitosten keskimääräinen huipunkäyttöaika nousee yli 2400 tunnin ja sähkön hinta on keskimäärin 40 €/MWh, ovat tariffijärjestelmän tuulivoimalle suunnatut kustannukset yhteensä jo yli 200 miljoonaa euroa vuodessa. Kustannukset laskevat sähkön hinnan noustessa.

Syöttötariffijärjestelmään on hyväksytty kaikkiaan 50 metsähaketta poltettavaa laitosta, joiden yhteenlaskettu nimellisteho on energiainfrastruktuurin voimalaitosrekisterin mukaan noin 3000 MW.¹⁰ Nämä ovat vanhoja laitoksia. Turvetta, metsäpolttoainetta tai teollisuuden puujätettä joko pää- tai varapoltoaineena käyttäviä voimalaitoksia on voimalaitosrekisterissä syöttötariffijärjestelmään hyväksytyjen laitosten lisäksi 33 kappaletta (maksimiteho yhteensä noin 950 MW). Suurin osa niistä

¹⁰ Syöttötariffin SATU-järjestelmän mukaan metsähakevoimalaitosten maksimiteho on yhteensä noin 3700 MVA.

laitoksista, joiden polttoprosessissa on suhteellisen helppoa polttaa metsähaketta, on siis jo syöttötariffin piirissä. Kokonaisuudessaan metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa on kahden viimeisen vuoden aikana lisääntynyt noin 10 % vuosivauhdilla (Metla 2012 ja 2013). Syöttötariffijärjestelmän kustannuksia laskettaessa tulisi kuitenkin selvittää tarkemmin, missä määrin syöttötariffi on lisännyt metsähakkeen polttoa ja olisiko matalammalla tariffin tasolla päästy samaan tulokseen. Tämä jää hyväksi jatkotutkimusaiheeksi. Mikäli uutta laitospaikkaita ei rakenneta ja sähkön hinta ei laske, voidaan arvioida, että metsähakevoimaloille maksettu vuosittainen tuki tulee säilymään nykyisellä tasolla (noin 40-50 miljoonaa euroa). Tosin korkeampi päästöoikeuden hinta ja turpeen vero, jota korotetaan vuoden 2015 alusta lukien, laskevat tariffimaksuja.

Vaikeampaa on kuitenkin ennustaa, missä määrin syöttötariffi kannustaa uusien laitosten kuten biokaasu- ja puupolttoainevoimalaitosten investointeihin. Energiamarkkinaviraston syöttötariffijärjestelmään on hyväksytty toistaiseksi vain yksi 1,55 MVA:n biokaasuvoimalaitos (lämpöpremio) mutta ei yhtään puupolttoainevoimalaitosta (tilanne kesällä 2013). Arvioidut vuosittaiset syöttötariffimaksut tälle biokaasuvoimalaitokselle ovat noin 0,8 miljoonaa euroa. Syöttötariffin kokonaiskustannuksia on vaikea ennakoita uusien laitosten osalta.

Syöttötariffia varten varattiin valtion budjetista vuosiksi 2011-2014 vuosikohtaisesti yhteensä 55, 98, 125 ja 152 miljoonaa euroa. Vuodelle 2020 arvio on 200 miljoonaa euroa. Toistaiseksi budjettirahoitus on riittänyt reilusti. Tarve kuitenkin lähenee varausta ja saattaa jopa ylittää ennakoitun budjettivarauksen, mikäli esimerkiksi kaikki se tuulivoimatuotanto

tulee markkinoille, joka on tällä hetkellä suunnitteilla.

4 Johtopäätöksiä

EU:n päästökaupan tarkoituksena on säädellä ilmastomuutosta aiheuttavien kasvihuonekaasujen päästöjä. Koska päästökaupan ei kuitenkaan uskota ohjaavan teknologiaprosessia kohden vähäpäästöistä energiantuotantoa riittävän tehokkaasti, on EU:ssa asetettu päästövähennystavoitteiden rinnalle energiatehokkuus- ja uusiutuvien energiamuotojen tuotannon tavoitteet. Päästökauppasektorin sisällä on luovuttu maakohtaisista tavoitteista, sillä EU ETS:n päästökatto on koko EU:n yhteinen. Uusiutuvan energian tavoitteet ovat kuitenkin maakohtaisia ja ohjaukeinoit niiden saavuttamiseksi ovat kansallisesti päätettävissä, joskin ne vaativat Euroopan komission hyväksynnän. Maat ovat ottaneet käyttöönsä kirjavan joukon erilaisia ohjaukeinoja. Samalla erilliset teknologia-tavoitteet ja käytössä olevat uusiutuvan energian tuotantotuet laimentavat päästökaupan ohjaukeikutusta. Nykyisenkaltaisista päällekkäisistä ilmastopoliittisista tavoitteista tulisikin tulevaisuudessa luopua.

Optimaalinen ilmastopoliittikka sisäistää saasteista aiheutuvan ulkoisvaikutuksen talouteen ja pyrkii suuntaamaan teknologista muutosta pitkällä aikavälillä tuottavuudeltaan parhaimpiin teknologioihin. Yhtenäinen hinta kasvihuonekaasuille joko veron tai päästökauppajärjestelmän kautta toteuttaa ensimmäisen tavoitteen. Käytännössä ympäristösääntelyn asettamiseen ja toteuttamiseen liittyy runsaasti haasteita, mutta periaatteessa EU:n päästökauppajärjestelmä on kaikkine ongelmienkin askel kohti oikeaa sääntelyä. Sen sijaan paljon enemmän ongelmia liittyy teknologiapolitiik-

kaan. Teknologiapoliitiikan suunnittelu on haasteellista, sillä tietoa ohjauskeinojen vaikutuksista on vähän tarjolla. Lisäksi ongelmana ovat globaalin edun kanssa ristiriidassa olevat kansalliset edut sekä ristiriitaiset poliittiset tavoitteet. Sen tähden ei tilkkutäkkimäinen uusiutuvien energiamuotojen politiikka Euroopassa ole kovin suuri yllätys. Sähkömarkkinoiden integroitua, myös energia- ja ilmastopoliitiikan tulisi olla Euroopassa helpommin enustettavaa ja ohjauskeinojen yhtenäisempiä. Tämä edesauttaisi tuotannon tehokasta kohdentumista Euroopassa.

Teknologiaohjauksen tarkoituksena on yltäältä nopeuttaa valmiiden teknologioiden leviämistä markkinoille ja toisaalta houkuttaa yrityksiä lisäämään innovointiponnistuksia. Oikeat ohjauskeinot näiden tavoitteiden toteuttamiseksi ovat erilaisia. Teknologioiden leviämistä ja siten kustannusten alenemista oppimisen kautta edistävät ohjauskeinot voidaan räätälöidä teknologiakohtaisiksi. Syöttötariffijärjestelmä voi olla tässä hyvä ja tehokas. Samalla on kuitenkin varottava haaskaamasta yhteiskunnan varoja liian anteliailla tuilla. Tarjouskilpailun kaltainen, kilpailullinen mekanismi oikein suunniteltuna ohjaisi oikean tukita-son valintaa.

Yritykset ovat halukkaita investoimaan tutkimukseen ja tuotekehitykseen, mikäli uudelle teknologialle on odotettavissa tuottavat markkinat. Vihreän energian kysyntä on seurausta poliittisesta päätöksenteosta. Havaintojen perusteella yksi keskeisimmistä vihreän energiateknologian patenttihakemusten määrään ja yritysten innovointihalukkuuteen vaikuttavista tekijöistä on ollut Kioton pöytäkirjan hyväksyminen tai sen ratifioiminen. Tämä on kasvattanut odotuksia puhtaan teknologian kysynnästä. Yksittäisten ohjauskeinojen vaikutusta on ollut

vaikeampaa identifioida. Tehtyjen arvioiden mukaan T&K-tuet laskevat kustannuksia tehokkaammin kuin suorat tuotannon tuet (esim. syöttötariffi). Innovaatiopoliittikkaan liittykin tulevaisuuden suurimmat haasteet. Sen tulisi kasvattaa odotusarvoa innovoinnin tuotoista, mutta samalla ohjauskeinojen tulisi olla teknologianeutraaleja. Tulevaisuuden menestysteknologioita on vaikeaa, ellei mahdotonta ennustaa.

Suomen syöttötariffi on toistaiseksi kannustanut investoimaan uusiin tuulivoimaloihin sekä jo käytössä olevia voimaloita lisäämään metsähakkeen polttoa. Uusien laitosten tariffi on toteutettu 12 vuoden ajalle takuuhintana, mikä tukee uusien laitosten investointeja. Metsähakelaitosten syöttötariffi on sähkön hinnan päälle maksettava preemio. Se parantaa uusiutuvien polttoaineiden kilpailukykyä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin ja auttaa Suomea saavuttamaan uusiutuvan energian tavoitteet. Metsähakevoimaloiden syöttöpreemiota on kuitenkin vaikea perustella oikeanlaisena innovaatio- tai ympäristöpolitiikkana, mikäli tuettavat voimalat ovat vanhoja ja mukana EU:n päästökaupassa. Preemio ei juurikaan kannusta uusiin teknologisiin innovaatioihin, eivätkä päästöt EU:n tasolla alene; päästöt vain siirtyvät päästökaupan sisällä toimialalta toiselle.

Päästövähennysten kannalta uusiutuvan energian tuet ovat olleet kalliita niin Suomessa kuin muissakin Euroopan maissa. Tulevaisuuden energiajärjestelmien muutokset vaativat kuitenkin jatkossa suuria tutkimusponnistuksia. Avainkysymys on, mihin tutkimusresursseja kannattaa Suomessa kohdentaa ja miten yrityksiä houkutellaan innovoimaan uutta vihreää teknologiaa. Yksi vähäiselle huomiolle jäänyt mahdollisuus on maiden väliset yhteisprojektit tai yhteiset ohjauskeinot. Yritysten kannusta-

minen maiden välisiä rajoja ylittäviin yhteishankkeisiin parantaisi tiedon leviämistä ja resurssien parempaa kohdentumista. □

Kirjallisuus

- Ausubel, L.M. ja Cramton, P. (2011), *Auction Design for Wind Rights*, Report to Bureau of Ocean Energy Management, Regulation and Enforcement.
- Bergek, A. ja Jacobsson, S. (2010), "Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine? Lessons from Sweden 2003–2008", *Energy Policy* 38: 1255–1271.
- BDEW (2013), "Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken", Energie-Info, BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
- BMU (2013), *Development of renewable energy sources in Germany in 2012 - Graphics and tables*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Butler, L. ja Neuhoff, K. (2008), "Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development", *Renewable Energy* 33: 1854–1867.
- Böhringer, C. ja Rosendahl, K.E. (2010), "Green promotes the dirtiest: on the interaction between black and green quotas in energy markets", *Journal of Regulatory Economics* 37: 316–325.
- Ek, K. ja Söderholm, P. (2008), "Technology Diffusion and Innovation in the European Wind Power Sector: The Impact of Energy and R&D Policies", Paper presented at the International Energy Workshop (IEW), Paris. 30 June–2 July, 2008.
- Ek, K. ja Söderholm, P. (2010), "Technology learning in the presence of public R&D: The case of European wind power", *Ecological Economics* 69: 2356–2362.
- EMV (2013), *Syöttötariffin määräytyminen*, Energiamarkkinavirasto 11.4.2013, http://www.emvi.fi/files/Syottotariffin_maaraytyminen_04_2013.pdf (viitattu 10.7.2013).
- Energimyndigheten (2012), *The electricity certificate system 2012*, Swedish Energy Agency.
- European Wind Atlas (2013), *European wind resources*, <http://www.windatlas.dk/europe/EuropeanWindResource.html> (viitattu 10.7.2013).
- Fischedick, M., Schaeffer, R., Adedoyin, A., Akai, M., Bruckner, T., Clarke, L., Krey, V., Savolainen, I., Teske, S., Üрге-Vorsatz, D. ja Wright, R., (2011), "Mitigation Potential and Costs", teoksessa Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S. ja von Stechow, C. (toim.), *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Fischer, C. (2008), "Emissions pricing, spillovers, and public investment in environmentally friendly technologies", *Energy Economics* 30: 487–502.
- Fischer, C. ja Newell, R.G. (2008), "Environmental and technology policies for climate mitigation", *Journal of Environmental Economics and Management* 55: 142–162.
- Fischer, C. ja Preonas, L. (2010), "Combining Policies for Renewable Energy: Is the Whole Less than the Sum of Its Parts?" Resources for the Future Discussion Paper 10-19.
- Fischer, C., Torvanger, A., Shrivastava, M.K., Sterner, T. ja Stigson, P. (2012), "How should support for climate-friendly technologies be designed?", *Ambio* 41: 33–45.
- Fridolfsson, S.-O. ja Tangerås, T. (2012), "A Reexamination of Renewable Electricity Policy in Sweden", IFN Working Paper No. 921.
- Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C.M. ja Vance, C. (2010), "Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience", *Energy Policy* 38: 4048–4056.

- Green, R. ja Yatchew, A. (2012), "Support Schemes of Renewable Energy: An Economic Analysis", *Economics of Energy and Environmental Policy* 1: 83-98.
- Haas, R., Panzer, C., Resch, G., Ragwitz, M., Reece, G. ja Held, A. (2011), "A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1003-1034.
- Hakkarainen, P. (2013), "Energiäkäännö – mistä Saksan energiapolitiikan mullistuksessa on kyse?" *Impulsseja*, Kalevi Sorsa Säätiö, toukokuu 2013.
- IEA (2004), *Renewable Energy—Market and Policy Trends in IEA Countries*, OECD/IEA, Paris.
- Jaffe, A.B., Newell, R.G. ja Stavins, R.N. (2005), "A tale of two market failures: Technology and environmental policy", *Ecological Economics* 54: 164-174.
- Jenner, S. (2012). "Did Feed-in Tariffs work? An Econometric Assessment", Mimeo, <http://ssrn.com/abstract=2121261> (viitattu 10.7.2013).
- Johnstone, N., Hascic, I. ja Popp, D. (2010), "Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts", *Environmental and Resource Economics* 45: 133-155.
- Junginger, M., de Visser, E., Hjort-Gregersen, K., Koornneef, J., Raven, R., Faaij, A. ja Turkenburg, W. (2006), "Technological learning in bio-energy systems", *Energy Policy* 34: 4024-4041.
- Kalkuhl, M., Edenhofer, O. ja Lessmann, K. (2012), "Learning or lockin: Optimal technology policies to support mitigation", *Resource and Energy Economics* 34: 1-23.
- Klaassen, G., Miketa, A., Larsen, K. ja Sundqvist, T. (2005), "The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and the United Kingdom", *Ecological Economics* 54: 227-240.
- Kildegrad, A. (2008), "Green certificate markets, the risk of overinvestment, and the role of long-term contracts", *Energy Policy* 36: 3413-3421.
- Kitzing, L., Mitchell, C. ja Morthorst, P.E. (2012). "Renewable energy policies in Europe: Converging or diverging?" *Energy Policy* 51: 192-201.
- Lehmann, P. ja Gawel, E. (2011), "Why should support schemes for renewable electricity complement the EU emissions trading scheme?" UFZ-Diskussionspapiere, No. 5/2011.
- Lindman, Å. ja Söderholm, P. (2012), "Wind power learning rates: A conceptual review and metaanalysis", *Energy Economics* 34: 754-761.
- Lindroos, T.J., Monni, S., Honkatukia, J., Soimakallio, S. ja Savolainen, I. (2012), *Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen*, VTT Technology 11, Espoo.
- Lyon, T.P. ja Yin, H. (2010), "Why Do States Adopt Renewable Portfolio Standards?: An Empirical Investigation", *The Energy Journal* 31: 133-157.
- Marcantonini, C. ja Ellerman, D.A. (2013). "The Cost of Abating CO2 Emissions by Renewable Energy Incentives in Germany", MIT CEEPR Working Paper 2013-005.
- Metla (2012), "Puun energiakäyttö 2011", *Metsätaloustiedote* 16/2012, 25.4.2012.
- Metla (2013), "Puun energiakäyttö 2012", *Metsätaloustiedote* 15/2013, 18.4.2013.
- Mitchell, C. ja Connor, P. (2004), "Renewable energy policy in the UK 1990-2003", *Energy Policy* 32: 1935-1947.
- OECD (2011), *Inventory of estimated budgetary support and tax expenditures for fossil fuels*, OECD.
- Pollitt, M.G. (2010), "UK Renewable Energy Policy since Privatisation", EPRG Working Paper 1002, Cambridge Working Paper in Economics 1007.
- Popp, D., Hascic, I. ja Medhi, N. (2011), "Technology and the diffusion of renewable energy", *Energy Economics* 33: 648-662.
- REN21 (2012), "Renewables. Global status report, 2012 update", Technical report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris.

- RES LEGAL (2012), “RES LEGAL Europe, Renewable energy policy database and support”, <http://www.reslegal.eu/> (viitattu 10.7.2013).
- RESTAT (2011), National Renewables Statistics 2011, Renewables Obligations, RESTATS, the Renewable Energy STATisticS database. Department of Energy and Climate Change, UK, <https://restats.decc.gov.uk/> (viitattu 10.7.2013).
- Saari, A., Jokisalo, J., Keto, M., Alanne, K., Niemi, R., Lund, P. ja Paatero, J. (2010), *Kestävä energia – loppuraportti*, TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitoksen julkaisuja B TKK-R-B24, Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Schmalensee, R. (2011), “Evaluating Policies to Increase the Generation of Electricity from Renewable Energy”, MIT CEEPR Working Paper 2011-008.
- SKM (2013). ”Svensk Kraftmäkling, Elcertifikat marknadspriser”, <http://www.skm.se/> (viitattu 10.7.2013).
- STY (2013), *Teollinen tuulivoima: Tuulivoimalaitokset Suomessa ja Tuulivoimahankkeet*, Suomen tuulivoimayhdistys ry, <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/> (viitattu 10.7.2013).
- Söderholm, P. ja Klaassen, G. (2007), “Wind Power in Europe: A Simultaneous Innovation–Diffusion Model”, *Environmental and Resource Economics* 36: 163–190.
- Tarasti, L. (2012), *Tuulivoimaa edistämään*, Työ- ja elinkeinoministeriö.
- Turkia, V. ja Holttinen (2013), *Tuulivoiman tuotantotilastot - Vuosiraportti 2011*, VTT Technology 74.
- Unruh, G.C. (2000), “Understanding carbon lock-in”, *Energy Policy* 28: 817-830.
- Unruh, G.C. (2002), “Escaping carbon lockin”, *Energy Policy* 30: 317-325.
- Weigt, H. (2009), “A Review of Liberalization and Modeling of Electricity Markets”, Electricity Markets Working Papers, WP-EM-34, Dresden University of Technology.
- Weiss, M., Junginger, M., Patel, M.K. ja Blok, K. (2010). ”A review of experience curve analyses for energy demand technologies”, *Technological Forecasting and Social Change* 77: 411–428.