

# Energiamarkkinaskenaariot vuosille 2020-2050

Loppuraportti





14.10.2016

1(36)

ZSTYMAF-1

---

**Laatijat**

Juha Känkänen  
Jaakko Jääskeläinen

**Tarkastanut**

Leena Sivill

**Jakelu**

Anni Mikkonen  
Miia Wallén  
Marja Kaitaniemi  
Paula Kohvakka

**Hyväksynyt**

Timo Laakso

---

## Suomen Tuulivoimayhdistys ry Energiamarkkinaskenaariot vuosille 2020-2050

M2				
M1				
Versio	Muutokset	Laatinut / pvm	Tarkastanut / pvm	Hyväksynyt / pvm



14.10.2016

2(36)  
ZSTYMAF-1

1	Johdanto .....	3
2	Metodologia .....	4
2.1	Sähkömarkkinan mallinnuksesta .....	4
2.2	ORDENA .....	4
2.3	Skenaariot .....	4
3	Oletukset .....	6
3.1	Sähkönkulutus .....	6
3.2	Kysyntäjousto ja sähkön varastointi .....	8
3.3	Lämmönkulutus ja energian loppukäyttö .....	8
3.4	Polttoaineiden hinnat .....	9
3.4.1	Kivihiili .....	9
3.4.2	Maakaasu .....	10
3.4.3	Biomassa .....	11
3.5	Päästöoikeuden hinta .....	13
3.6	Siirtolinjat .....	14
3.7	Investoinnit uuteen kapasiteettiin .....	16
3.7.1	Investointien käsittely mallinnuksessa .....	16
3.7.2	Ydinvoima .....	17
3.7.3	Fossiilinen lämpövoima .....	18
3.7.4	Biomassaan perustuva lämpövoima .....	18
3.7.5	Vesivoima .....	19
3.7.6	Tuulivoima .....	19
3.7.7	Aurinkovoima .....	19
3.7.8	Eri tuotantomuotojen kustannukset .....	19
3.7.9	Hiilidioksidivapaan tuotannon tasoitettut tuotantokustannukset .....	22
3.8	Liikenne, teollisuus, erillislämmitys ja muu kulutus .....	23
3.8.1	Yleistä .....	23
3.8.2	Liikenne .....	23
3.8.3	Teollisuus .....	24
3.8.4	Erillislämmitys .....	25
3.8.5	Muu kulutus .....	25
4	Tulokset .....	27
4.1	Sähkön hinnat .....	27
4.2	Energian loppukulutus .....	27
4.3	Kokonaiskustannukset .....	30
5	Yhteenvedo ja johtopäätökset .....	34
6	Lähteet .....	36



14.10.2016

3(36)  
ZSTYMAF-1

# 1 Johdanto

Suomen energia- ja ilmastostrategiaa ollaan päivittämässä vuoden 2016 loppuun mennessä. Strategia linjaa kokonaisvaltaisesti politiikkatoimia, joilla saavutetaan kansallisesti sekä EU-tasolla Suomelle asetettuja energia- ja ilmastotavoitteita ennen vuotta 2030. Koska energiaan liittyvät investoinnit ovat luonteeltaan pitkäkestoisia, nyt päätettävillä politiikkatoimilla on vaikutusta vielä vuoden 2030 jälkeenkin. EU on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 80–95 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä (Energiatiekartta 2050). Jotta tähän tavoitteeseen päästäisiin, sähkön- ja lämmöntuotannon pitää olla käytännössä hiilidioksidivapaita vuonna 2050. Pääasialliset ohjauskeinot tavoitteeseen pääsemiseksi ovat uusiutuvien energialähteiden kansalliset tukimekanismit ja päästökauppa.

Tässä selvityksessä tarkastellaan eri politiikkapolkuja, joilla 2050 tavoitteisiin päästään sekä niistä aiheutuvia kokonaiskustannuksia suomalaisille kuluttajille. Lisäksi tarkastellaan, millä edellytyksillä Sipilän hallitusohjelman mukaiseen 50 %:n uusiutuvan energian tavoitteeseen päästään (kärkihanke ”Hiilettömään, puhtaaseen ja uusiutuvaan energiaan kustannustehokkaasti”).

Selvityksen kaikki hinnat on esitetty vuoden 2016 euroissa, ellei muuta mainita.



## 2 Metodologia

### 2.1 Sähkömarkkinan mallinnuksesta

Selvityksessä mallinnetaan koko Suomen energiantuotanto ja loppukulutus vuoteen 2050 asti. Seuraava kuvaus keskittyy kuitenkin sähkömarkkinaan, koska suuri osa Suomen lämmönkulutuksesta on yhteydessä siihen CHP-tuotannon kautta. Liikenne, erillislämmitys ja teollisuuden energiankäyttö käsitellään erikseen kappaleessa 3.8.

Yleisimmin käytetty menetelmä sähkömarkkinan mallintamiseen on Least Cost Planning –menetelmä, jossa tulevaisuuden sähkön kysyntään pyritään vastaamaan investoimalla joko uuteen tuotanto- tai siirtolinjakapasiteettiin mahdollisimman pienin kokonaiskustannuksin määriteltyjen rajoitteiden puitteissa. Rajoitteet voivat liittyä mm. järjestelmän luotettavuuteen, kannattavuuteen, maantieteeseen tai päästöihin. Kustannuskomponentteja ovat investointikustannukset, polttoainekustannukset, käyttö- ja kunnossapitokustannukset, ulkoiset kustannukset (CO<sub>2</sub>) sekä kustannukset liittyen toimittamatta jääneeseen energiaan (yleensä ei oleellinen).

Mallinnus voidaan tehdä joko lähiajalle tuntitasolla tai pidemmälle aikavälille. Pitkän aikavälin mallit eivät ole varsinaisesti ennusteita, vaan niillä pyritään vastamaan what-if-tyyppisiin kysymyksiin skenaariopohjaisesti. Tässä työssä käytetään ÅF:n pitkän aikavälin Nord Pool –alueelle kehitettyä ORDENA-sähkömarkkinamallia yhdessä viiden määritellyn skenaarion kanssa.

### 2.2 ORDENA

ORDENA on ÅF:n kehittämä työkalu sähkömarkkinoiden mallinnukseen. Malli käyttää syötettyjä lähtöarvoja (polttoaineiden hinnat, sähkön kysyntä yms.) ja järjestää tuotannon järjestelmäoperaattorin tavoin muuttuvien tuotantokustannuksien mukaiseen järjestykseen halvimmasta kalleimpaan jokaiselle kysyntäblokille. Lisäksi kysynnän kasvaessa tai käytöstä poistojen lisääntyessä malli investoi optimaalisesti käyttäjän määrittämiin laitos- tai siirtolinjakandidaatteihin ylläpitäen kuitenkin määritellyn toimitusvarmuuden. Vesivoimatuotantoon liittyvän epävarmuuden käsittelyyn sovelletaan stokastista laskentaa hyödyntämällä useiden vuosikymmenien virtaamatietoja. Siirtolinjojen mallinnuksessa otetaan huomioon lisäksi Kirchhoffin lait. Kullekin maalle voidaan asettaa tavoitteita uusiutuvien osuuksiksi, jolloin malli laskee optimaalisen osuuden kullekin uusiutuvalle (bio, tuuli, aurinko) ottaen huomioon tuotantokustannukset nyt sekä niiden oletetun tulevaisuuden kehityksen. Tulostietona saadaan tässä tapauksessa myös uusiutuvien tukiin käytetty rahamäärä.

### 2.3 Skenaariot

Selvityksessä tarkastellaan seuraavia skenaarioita:

- **Nykipolitiikka.** Toimii tarkastelun sisäisenä perusskenaariona. Sähkö- ja lämpösektorilla ei oleteta muutoksia nykyisiin tuotantotukiin tai polttoaineiden verotukseen.
- **Nopea kasvu.** Nykipolitiikkaa nopeampi globaali talouskasvu johtaa korkeampaan sähkön kysyntään sekä markkinapolttoaineiden (kivihiili, maakaasu) ja päästöoikeuden hintaan.
- **Hiilivapaa.** Selkeästi muita skenaarioita korkeampi päästöoikeuden hinta johtaa uusiutuvien nopeampaan lisääntymiseen ilman tukia. Sähkön kysyntä on yhteiskunnan



14.10.2016

5(36)  
ZSTYMAF-1

sähköistyessä korkeampi kuin Nykypolitiikassa. Ydinvoimaan ja uusiutuviin investoidaan markkinaehtoisesti.

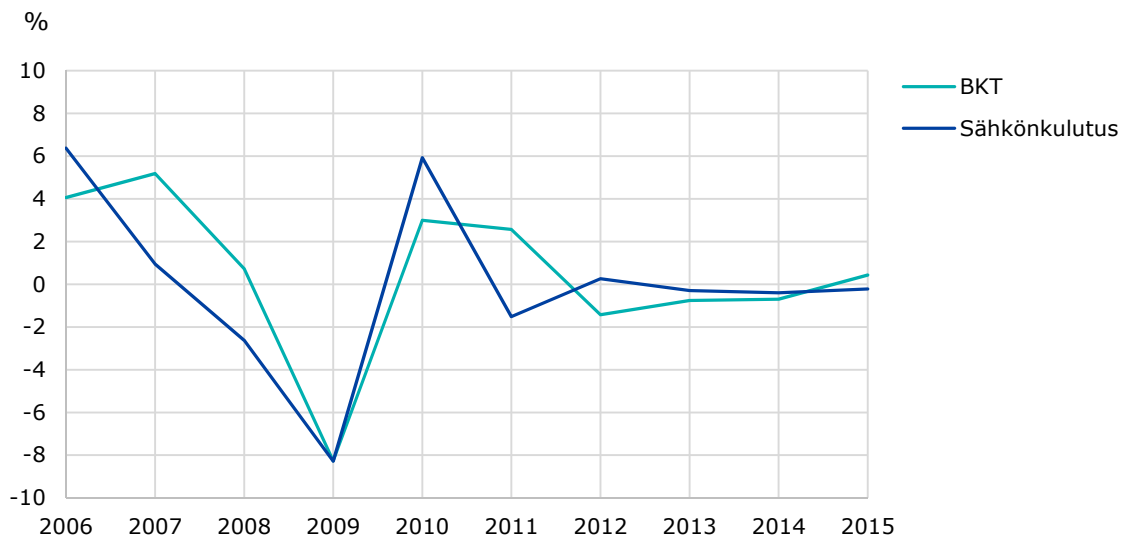
- **Uusiutuva.** Kuten Hiilivapaa, mutta uusiutuvia tuetaan teknologianeutraalisti. Päästöoikeuden hinta on kuten Nykypolitiikassa. Vuonna 2050 sallitaan sähkön tuonnin olevan korkeintaan samalla tasolla kuin nykyään.
- **Uusiutuva FI.** Kuten Uusiutuva, mutta tuotannossa pyritään täyteen kotimaisuuteen siten, että sähkön nettomääräistä tuontia ei sallita.



## 3 Oletukset

### 3.1 Sähkönkulutus

Suomessa lämpötilakorjatun sähkönkulutuksen muutos on historiallisesti seurannut reaalisen bruttokansantuotteen muutosta.



Kuva 3-1. BKT:n ja lämpötilakorjatun sähkönkulutuksen vuosimuutos Suomessa

Sähkönkulutusarviot eri skenaarioille perustuvat arvioituun BKT:n kasvuun sekä BKT:n ja sähkönkulutuksen sidokseen Suomessa ja koko Nord Poolin alueella. BKT-kulutus-sidoksen arvioidaan muuttuvan tulevaisuudessa johtuen palvelusektorin suuremmasta roolista taloudessa ja toisaalta yhteiskunnan sähköistymisestä (mm. sähköautot). Oletukset BKT:n kehityksestä Suomessa on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 3-1. Skenaarioiden reaaliset BKT:n kasvuoletukset Suomessa

	Nyky politiikka	Nopea kasvu	Hiilivapaa	Uusiutuva	Uusiutuva FI
2016–2021	1.3 %	1.6 %	1.3 %	1.3 %	1.3 %
2022–2030	1.9 %	2.4 %	1.9 %	1.9 %	1.9 %
2031–2050	2.1 %	2.3 %	2.1 %	2.1 %	2.1 %

Nyky politiikka-skenaariossa oletukset BKT:n kasvulle vuosina 2016–2021 perustuvat IMF:n arvioon huhtikuulta 2016 (IMF, 2016). Vuodesta 2031 eteenpäin kasvun oletetaan olevan pitkän ajan keskiarvon mukaista. Vuosina 2022–2030 kasvun oletetaan muuttuvan lineaarisesti vuoden 2021 arvosta (1.6 %) vuoteen 2031 (2.1 %).

Nopea kasvu -skenaariossa oletetaan vuodelle 2022 50 % suurempi kasvu kuin Nyky politiikassa (2.5 % vs. 1.7 %). Vuodesta 2031 eteenpäin kasvun oletetaan olevan 2.3 %. Vuosina 2016–2025 ja 2025–2030 kasvun oletetaan muuttuvan lineaarisesti.

Skenaarioille Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI oletetaan sama kasvu kuin Nyky politiikalle.

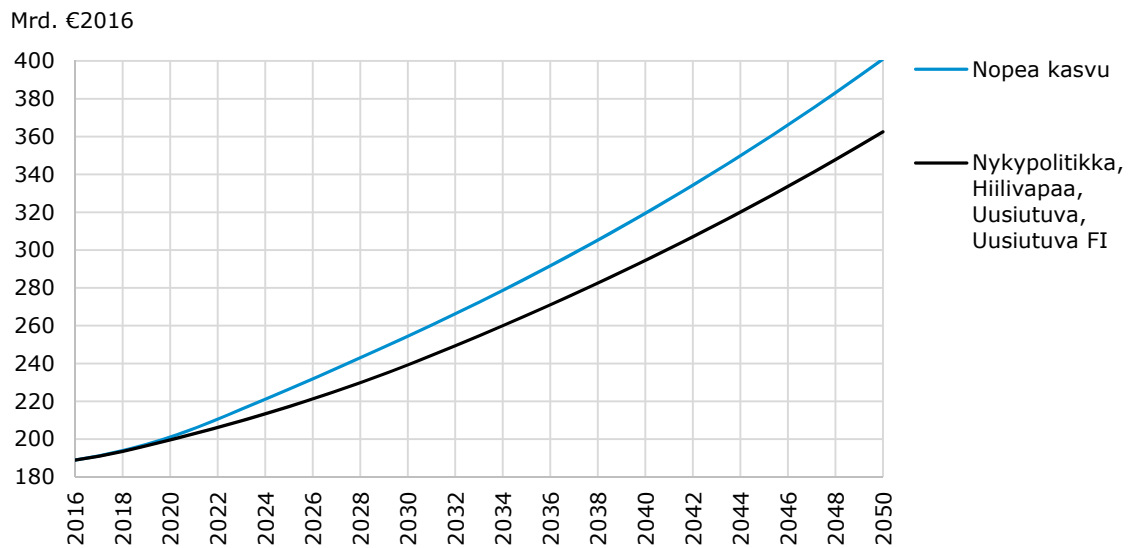
BKT:n reaalin kasvu Suomessa on esitetty seuraavassa kuvassa.



14.10.2016

7(36)

ZSTYMAF-1



Kuva 3-2. BKT Suomessa

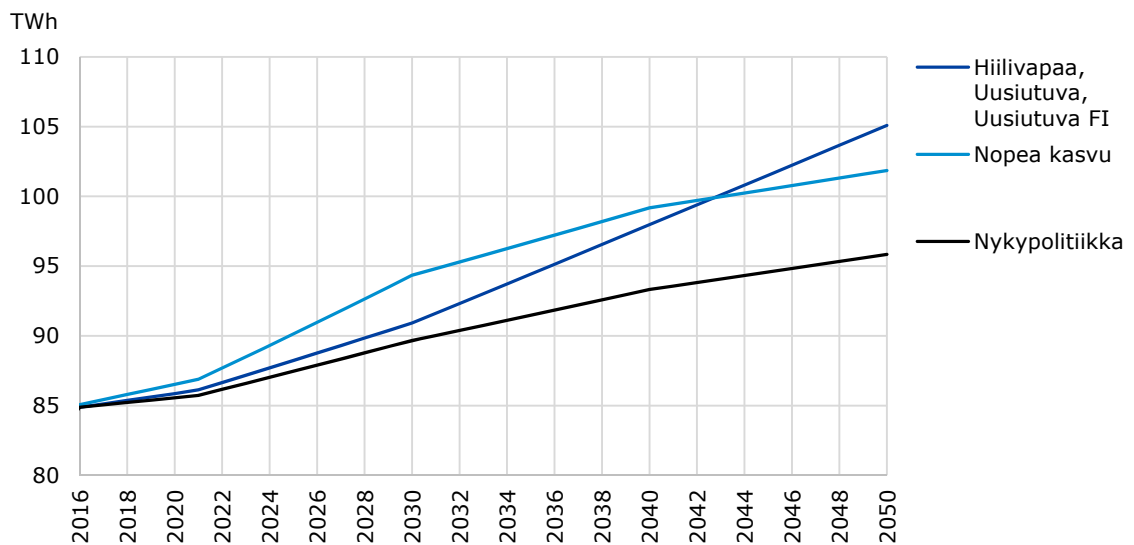
Nyky politiikka-skenaariossa vuosina 2016–2021 sähkönkulutuksen oletetaan kasvavan 0.2 % vuodessa, vuosina 2022–2030 0.5 %, vuosina 2031–2040 0.4 % ja vuosina 2041–2050 0.3 %. Sähkönkulutuksen kasvun oletetaan hidastuvan johtuen palvelusektorin kasvavasta osuudesta taloudessa.

Nopea kasvu -skenaariossa BKT:n muutoksesta aiheutuva lisäys sähkönkulutuksen kasvuun verrattuna Nyky politiikkaan arvioidaan olevan täysimääräinen vuosina 2016–2021, 75 % vuosina 2022–2030, 50 % vuosina 2031–2040 ja 25 % vuosina 2041–2050.

Muiden skenaarioiden sähkönkulutusennusteet pohjautuvat Nyky politiikka-skenaarioon. Paljon uusiutuvaa tuotantoa sisältävissä skenaarioissa kuitenkin osa fossiilisia polttoaineita käyttävästä kulutuksesta, lähinnä liikenne- ja teollisuussektorissa, korvautuu sähköllä. Skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI vuoden 2050 sähkönkulutuksen arvioidaan olevan noin 3 TWh suurempi kuin Nopea kasvu -skenaariossa.

Seuraavassa kuvassa on esitetty sähkönkulutus Suomessa eri skenaariossa. Skenaariot Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI oletetaan sähkönkulutuksen suhteen identtisiksi.





Kuva 3-3. Sähkönkulutus Suomessa

### 3.2 Kysyntäjousto ja sähkön varastointi

Lisääntyvä tuulivoimatuotanto Pohjoismaissa asettaa tulevaisuudessa haasteita toimitusvarmuudelle. Tämä voidaan ratkaista joko energian varastoinnilla, siirtämällä kulutusta (kysyntäjousto) tai lisäämällä järjestelmässä olevaa tuotantokapasiteettia.

Sähkön varastoinnin ei oleteta tarkastelujaksolla muodostuvan kustannustehokkaaksi kapasiteetin hallintakeinoksi Pohjoismaissa. Kysyntäjouston määräksi Suomessa vuonna 2020 oletetaan 400 MW (ÅF, 2016). Vuoteen 2050 mennessä tarvittava kysyntäjouston määrä on arvioitu niin, että sillä mallinnuksessa vältetään ”toimittamatta jäänyt energia” kulutushuipussa skenaariossa Nyky politiikka olettaen, että tuulivoiman tuotantoteho on 10 % nimellistehosta. Vuonna 2050 näin määritelty kysyntäjouston tarve on 7 % huippukulutuksesta (noin 1200 MW vuonna 2050). Näin oletetaan kaikissa skenaarioissa. Pelkästään teollisuuden kysyntäjouston potentiaaliksi on arvioitu noin 1300 MW (ÅF, 2016), joten tämän vaatimuksen voidaan arvioida olevan maltillinen. Jos muissa skenaarioissa toimitusvarmuus ei tällä kysyntäjoustomäärällä ole riittävä, malli lisää järjestelmään tuotantokapasiteettia ja laskee tästä aiheutuvan lisäkustannuksen (kappale 4.3).

### 3.3 Lämmönkulutus ja energian loppukäyttö

Kaikissa skenaarioissa oletetaan, että teollisuuden lämmönkulutus (prosessilämpö) säilyy muuttumattomana vuoteen 2050 asti. Kaukolämmön kysynnän arvioidaan kuitenkin laskevan uusien rakennusten kohonneiden eristysvaatimusten sekä ilmaston lämpenemisen vuoksi 7 % vuonna 2030 ja 20 % vuonna 2050 verrattuna lämpötilakorjattuun vuoden 2015 tasoon.

Skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI energian loppukulutus on skenaarioita Nyky politiikka ja Nopea kasvu alhaisempi. Skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI oletetaan sähköautojen osuuden kasvavan merkittävästi vuoteen 2050 mennessä. Tämä laskee energian loppukulutusta, koska kulutukseen lasketaan liikenteessä kulkuneuvoissa käytetyt polttoaineet kokonaisuudessaan moottorihyötysuhteiden ollessa noin 25 %, kun taas sähkömoottorin hyötysuhde on noin 90 %. Lisäksi näissä skenaarioissa oletetaan merkittävää

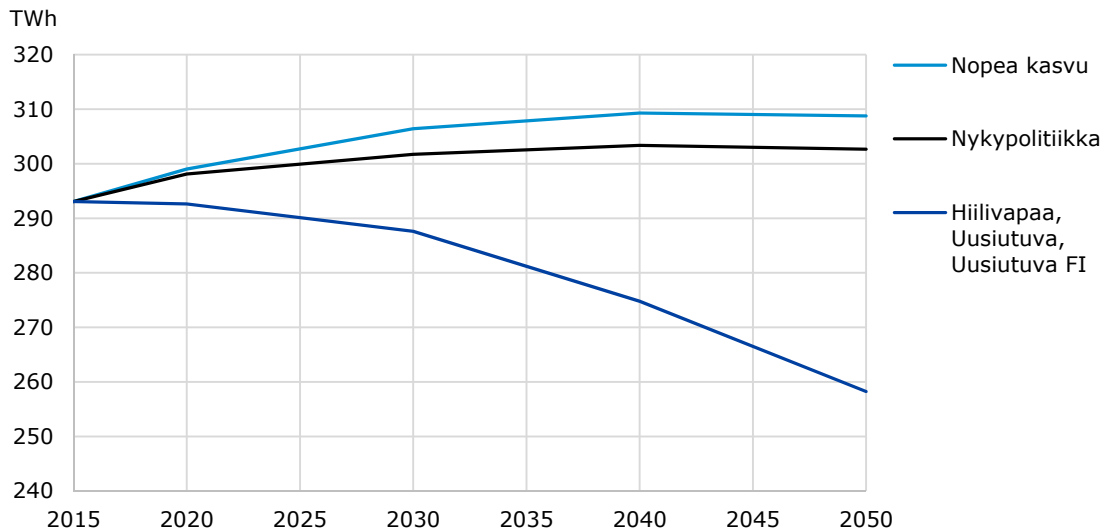


14.10.2016

9(36)  
ZSTYMAF-1

parannusta teollisuuden energiatehokkuudessa ja teollisuuden fossiilisten polttoaineiden käytön selvää vähenemistä.

Seuraavassa kuvassa on esitetty energian loppukäyttö Suomessa. Skenaariot Uusiutuva ja Uusiutuva FI oletetaan identtisiiksi Hiilivapaan kanssa.



Kuva 3-4. Energian loppukulutus Suomessa

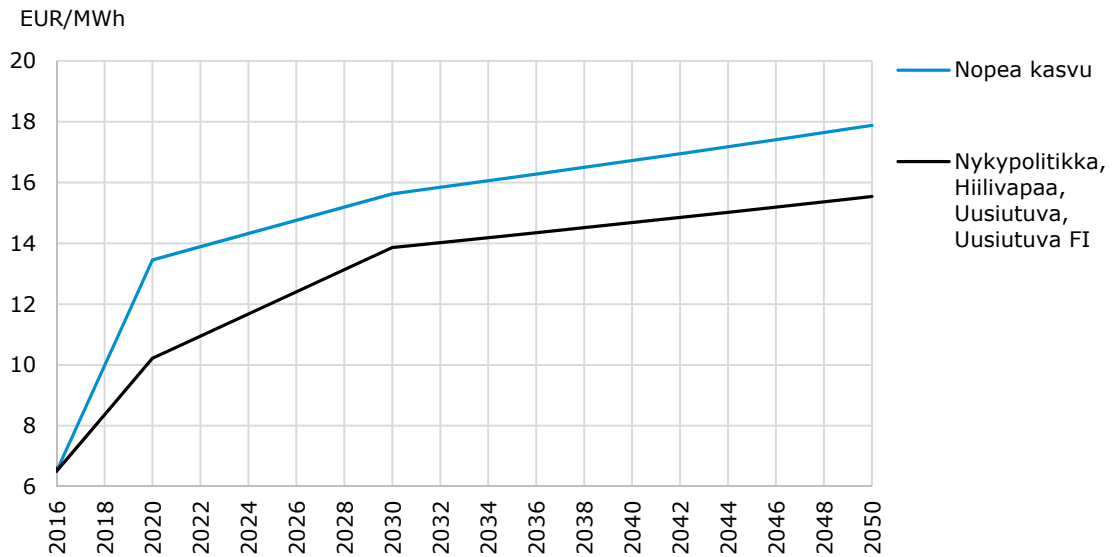
## 3.4 Polttoaineiden hinnat

### 3.4.1 Kivihiili

Nyky politiikka-skenaariossa käytetään IEA:n World Energy Outlook (WEO) 2015 skenaarion New Policies mukaisia hintoja kivihiilelle vuosille 2030 ja 2040. New Policies on WEO:n perusskenaario, jossa on mukana sekä jo päätetyt politiikkatoimet että varsin todennäköisesti lähiaikoina toteutettavat toimet. Viimeaikaisen markkinakehityksen johdosta vuoden 2020 hintoja on laskettu 20 % verrattuna IEA:n ennusteeseen. Vuoden 2050 kivihiilen hinta on ekstrapoloitu vuoden 2030 ja 2040 hinnoista.

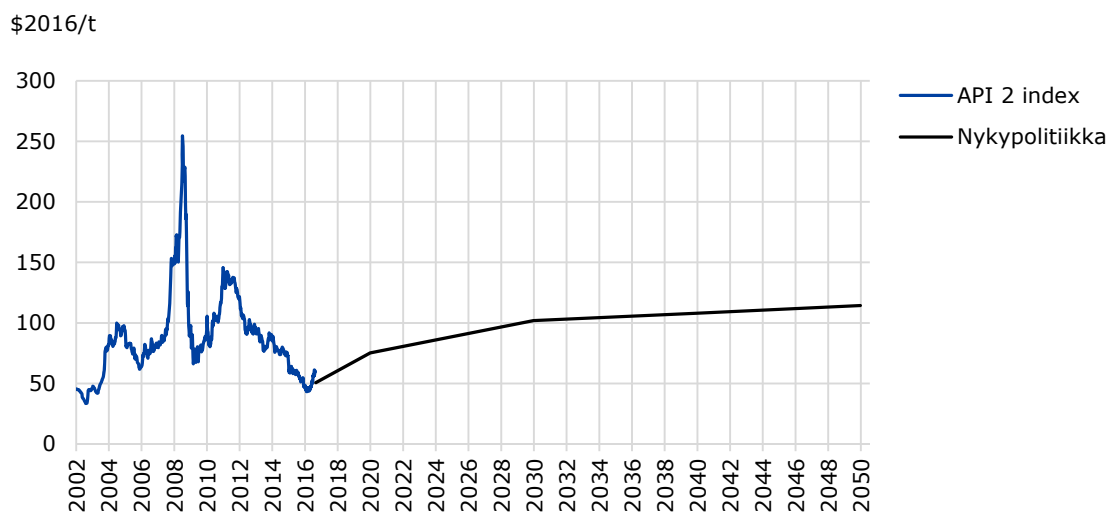
Nopea kasvu -skenaariorissa käytetään kivihiilelle IEA:n Current Policies -skenaarion mukaisia hintoja vuosille 2020, 2030 ja 2040. Vuoden 2050 hinta on ekstrapoloitu vuoden 2030 ja 2040 hinnoista.

Muiden skenaarioiden hinnat oletetaan samoiksi kuin Nyky politiikka-skenaariossa.



Kuva 3-5. Kivihiilen hinnat

IEA:n mukaan kivihiilen hinta siis nousee melko voimakkaasti lähivuosina johtuen vuonna 2014 alkaneen ylikapasiteetin purkautumisesta. Hinta asettuu kuitenkin tasolle, jolla se on keskimäärin ollut viimeisen viidentoista vuoden aikana. Tulevaisuudessa kivihiilimarkkinaan eniten epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä ovat kysynnän osalta Kiinan mahdollisista päästövähennystavoitteista johtuvat muutokset ja tarjonnan osalta Intian pyrkimykset omavaraisuuteen kivihiilen tuotannossa. Alla oleva kuva havainnollistaa historiallisia hintoja suhteessa Nykypolitiikka-skenaarioon (API 2 on hintaindeksi, joka kuvaa Luoteis-Eurooppaan tuodun kivihiilen hintaa) vuoden 2016 dollareissa.



Kuva 3-6. Kivihiilen historialliset ja Nykypolitiikka-skenaarion mukaiset hinnat

### 3.4.2 Maakaasu

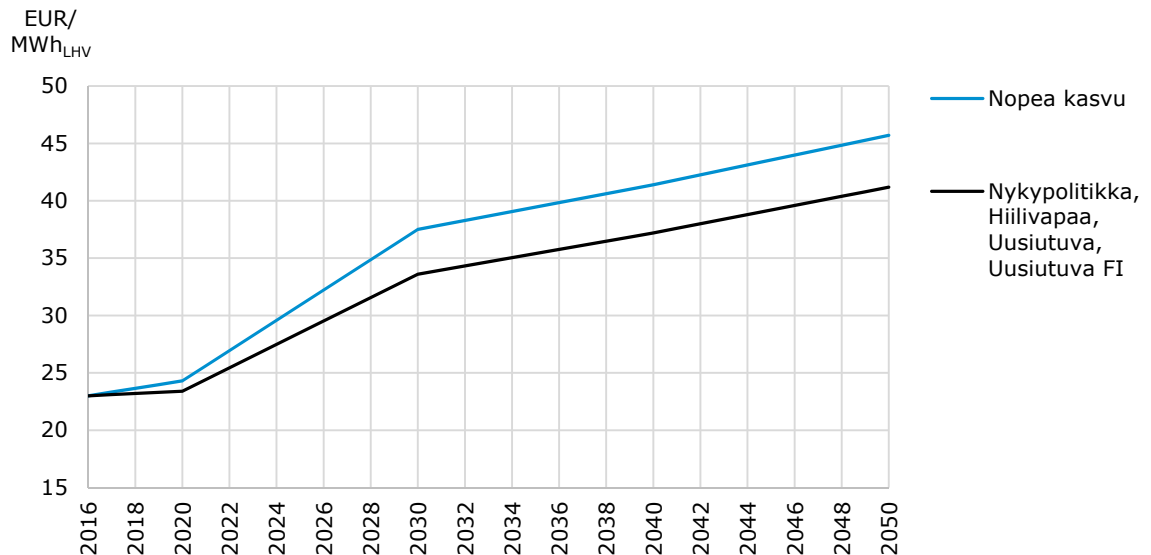
Nykypolitiikka-skenaariossa käytetään IEA:n New Policies -skenaarion ja Nopea kasvu -skenaariossa IEA:n Current Policies -skenaarion mukaisia maakaasun hintoja vuosille 2020,



14.10.2016

2030 ja 2040. Vuoden 2050 hinta on ekstrapoloitu vuoden 2030 ja 2040 hinnoista. Maakaasun hinta Suomessa ja Baltiassa on vielä osittain indeksoitu mm. öljyn ja kivihiilen hintaan. Näiden hyödykkeiden viimeaikaisesta hintakehityksestä johtuen maakaasun hintaa on laskettu 10 % Nykypolitiikka-skenaariossa vuonna 2020 verrattuna IEA:n arviioon.

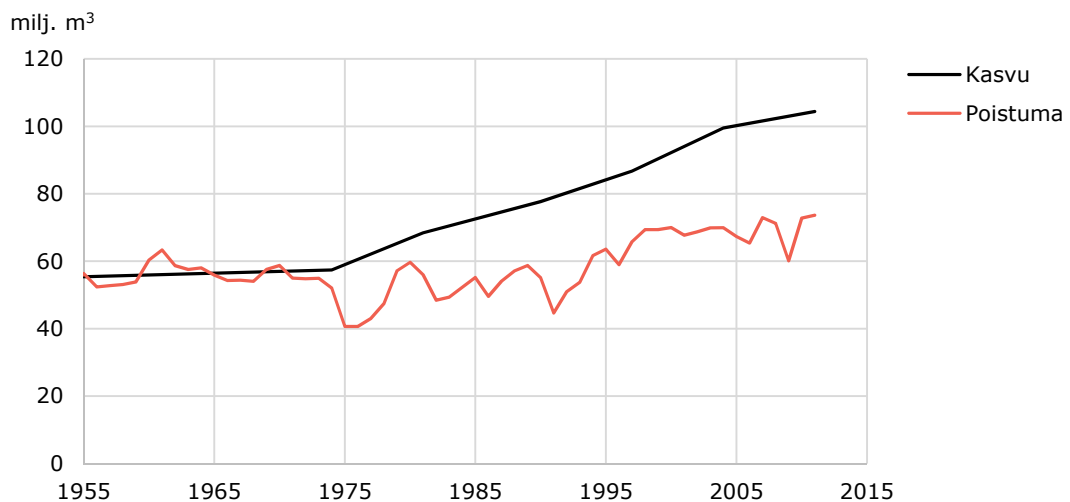
Muiden skenaarioiden hinnat oletetaan samoiksi kuin Nykypolitiikka-skenaariossa.



Kuva 3-7. Maakaasun hinnat

### 3.4.3 Biomassa

Metsät kasvavat Suomessa noin 104 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Viime vuosina puuntuotto on ollut noin 30 milj. m<sup>3</sup> enemmän kuin mitä sitä on poistunut hakkuissa tai luontaisesti.



Kuva 3-8. Metsien kasvu ja poistuma Suomessa

Vuosille 2010–2019 laaditun suurimman kestäväen hakkuumahdollisuus -arvion mukaan tukki- ja kuitupuuta voidaan hakata kestävästi 73 milj. m<sup>3</sup> ja energiapuuta 21 milj. m<sup>3</sup> vuodessa (Luke, 2014). Tukki- ja kuitupuuta hakataan nykyisellään noin 57 milj. m<sup>3</sup> vuodessa (erotus



14.10.2016

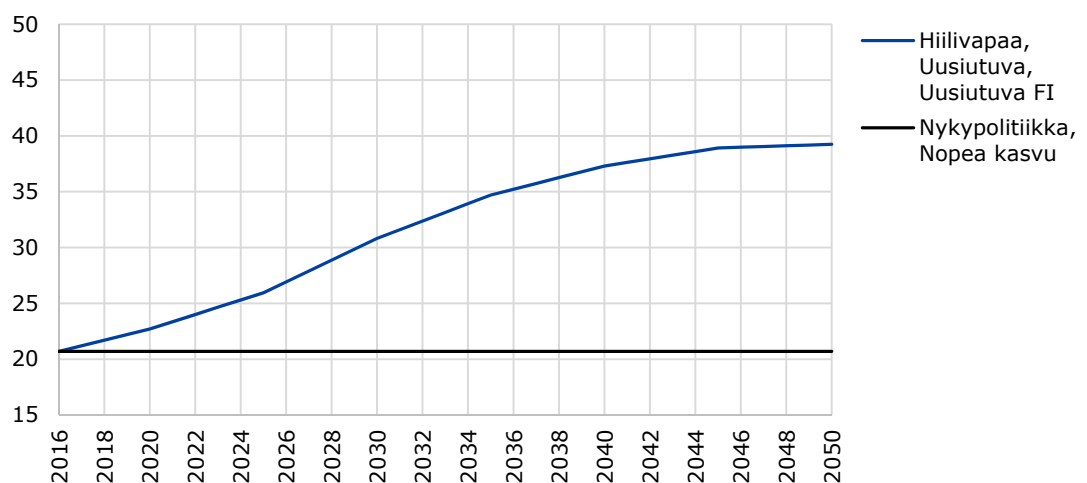
kokonaispoistuman ja hakkuiden välillä on luonnollista poistumaa sekä latvuksia yms.). Tehostamalla metsien hoitoa ja kasvua, suurinta kestävää hakkuumäärää voidaan vielä kasvattaa kokonaishakkuukertymän ollen tällöin noin 80 milj. m<sup>3</sup> vuoteen 2050 mennessä (Luke, 2016). Olettaen, että kantojen käyttöä ei rajoiteta, tällä hakkuumäärällä saatavan energiapuun määrä nousisi noin kolme miljoonaa kuutiota vuodessa ollen yhteensä noin 48 TWh ja tukkipuun siis noin 23 milj. m<sup>3</sup> (46 TWh) vuodessa.

Vuonna 2014 sähkön- ja lämmöntuotannossa (pl. erillislämmitys) käytettiin puupolttoaineita (pl. mustalipeä) noin 32 TWh ja mustalipeää käytettiin noin 39 TWh. Rakennusten erillislämmitykseen (halot, metsähake ja jätepuu) sekä liikennepolttoaineisiin käytettiin puupolttoaineita noin 24 TWh kokonaiskulutuksen ollessa noin 94 TWh. Puupolttoaineiden kokonaistaso, jota ennen energiapuun ei merkittävässä määrin kilpaile kuitupuun kanssa, voidaan näin ollen arvioida olevan noin 110 TWh (39+24+48) vuodessa vuonna 2030.

Jo tehtyjen metsäteollisuuden uusia tuotantolaitoksia koskevien investointipäätösten mukainen lisäys hakkuukertymään on noin 5 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Jos tästä määrästä puolet arvioitaisiin menevän energiakäyttöön ja kestävä hakkuukertymän ja hakatun määrän erotus poltettaisiin energiaksi, olisi käytettävissä oleva suurin kestävä puun määrä sähkön- ja lämmöntuotannossa noin 150 TWh (39+24+48+46-5x2/2<sup>1</sup>) vuodessa.

Skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu oletetaan puupolttoaineen (pl. mustalipeä ja pelletit) hintojen pysyvän vakiona koko laskenta-ajan. Muissa skenaarioissa käytetään IEA:n raportin Nordic Energy Technology Perspectives 2016 mukaisia kohoavia hintoja puupolttoaineelle (pl. pelletit) ja pelleteille. Hintojen kohoamisen aiheuttavat sekä lisääntyvät korjuukustannukset (energiapuun erilliskorjuu) että kilpailu kuitupuun kanssa. Jos mallinnuksessa skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu puupolttoaineen kysyntä (pl. mustalipeä ja pelletit) ylittää 48 TWh vuodessa, siirtyvät CHP-yksiköt käyttämään tuon rajan ylimenevältä osalta pellettejä. Näin tapahtuu myös muissa skenaarioissa, jos koko vuotuinen kestävä puunkäyttö ylitetään. Puupolttoaineiden hintojen kehitykset on esitetty alla olevissa kuvissa.

€2016/MWh

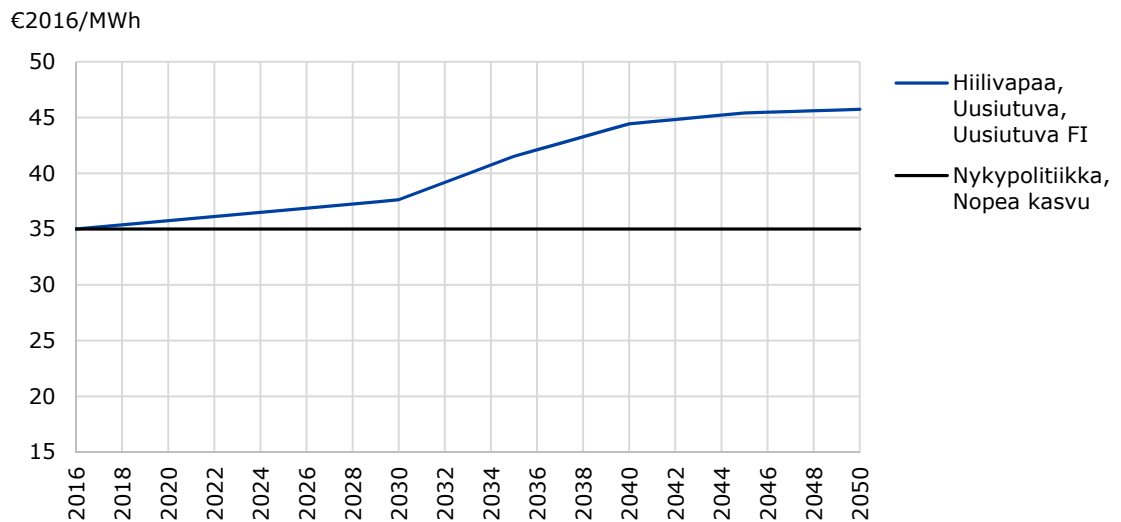


<sup>1</sup> kaavan ensimmäinen numero 2 kuvaa muuntosuhdetta TWh per milj. m<sup>3</sup> ja toinen osuutta puumäärästä joka uuden investoinnin tapauksessa on oletettu päätyvän sähkön- ja lämmöntuotantoon



14.10.2016

Kuva 3-9. Puupolttoaineiden hinnat (pl. mustalipeä ja pelletit)



Kuva 3-10. Pellettien hinnat

### 3.5 Päästöoikeuden hinta

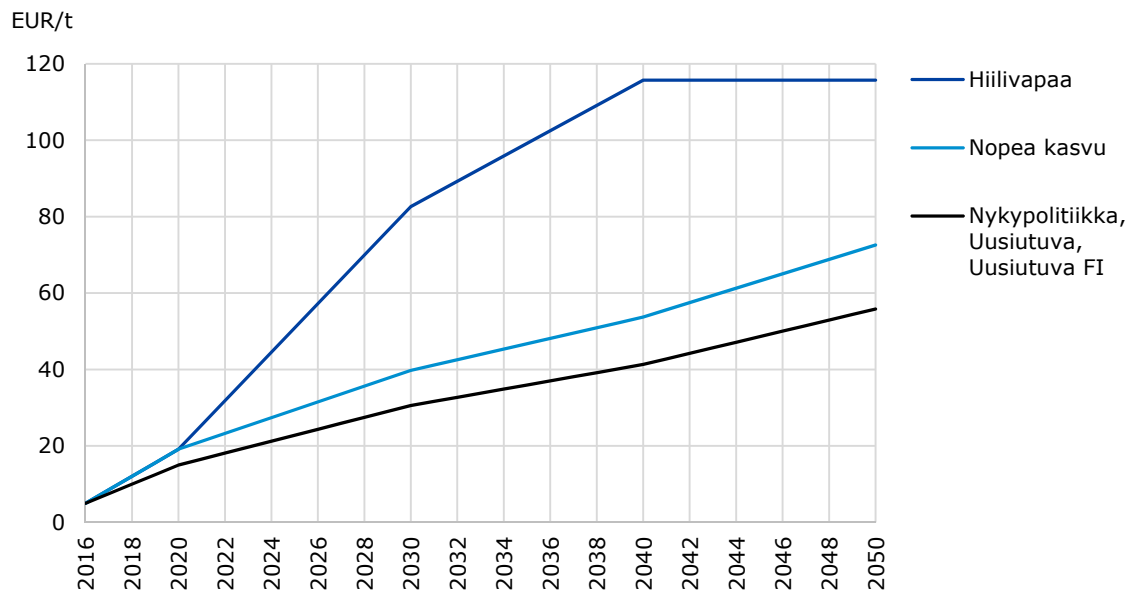
Päästökauppa tarjoaa teoriassa kustannustehokkaimman väylän kohti hiilidioksidivapaata energiantuotantoa. Sen avulla investoinnit kohdistuvat edullisimpaan hiilidioksidivapaaseen tuotantomuotoon tai päästöjen vähennyskohteeseen ja maantieteellisesti sinne, missä sitä on halvinta tuottaa tai päästöjä vähentää.

Skenaariossa Nykypolitiikka käytetään IEA:n New Policies -skenaarion mukaisia hintoja, joissa oletetaan, että vuonna 2019 EU:n päästökauppajärjestelmässä otetaan käyttöön ns. markkinavakausreservi, jonka avulla osa päästöoikeuksista poistetaan markkinalta niin, että siihen kertynyt päästöoikeuksien ylijäämä pienenee/poistuu. Nopea kasvu -skenaariorissa oletetaan 30 % korkeammat hinnat kuin Nykypolitiikassa. Hiilivapaa-skenaarioissa hyödynnetään IEA:n 450-skenaariota, joka olettaa, että päästökauppajärjestelmää vahvistetaan EU:n 2050 Tiekartan mukaisesti. Skenaariot Uusiutuva ja Uusiutuva FI ovat identtisiä Nykypolitiikan kanssa. Päästöoikeuden hintakehitys eri skenaarioissa on esitetty seuraavassa kuvassa.



14.10.2016

14(36)  
ZSTYMAF-1



Kuva 3-11. Päästöoikeuden hinnat

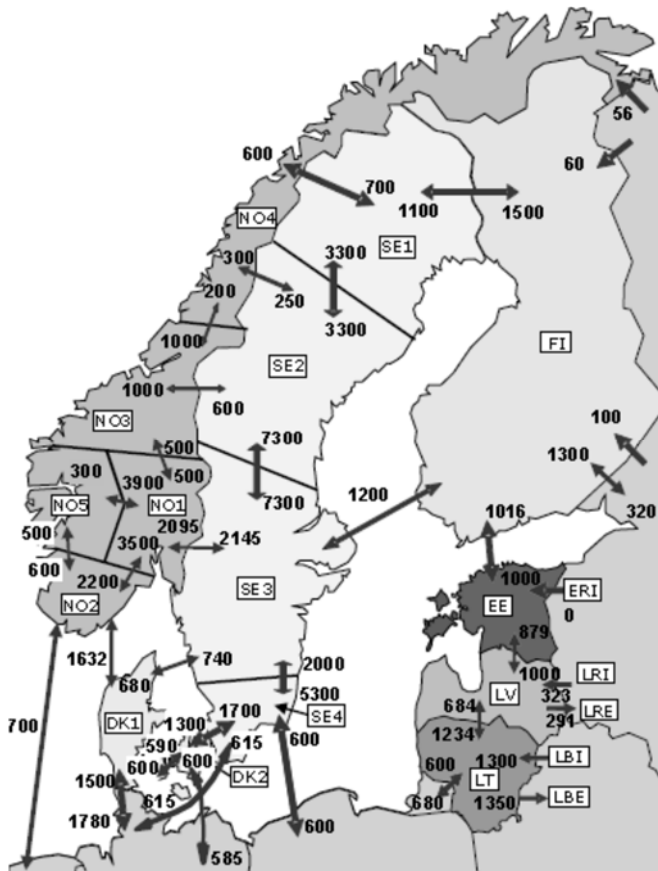
### 3.6 Siirtolinjat

ORDENA-malliin voidaan joko pakottaa siirtolinjainvestoinnit tai mallin voidaan antaa itse optimoida ne järjestelmän kokonaistaloudellisuus huomioiden. Ennen vuotta 2030 tiedossa olevat siirtolinjainvestoinnit on syötetty malliin ja tämän jälkeen mallin annetaan itse investoida uuteen siirtokapasiteettiin sekä Nord Poolin sisällä että Nord Poolin ja Keski-Euroopan välillä. Seuraavassa kuvassa on esitetty siirtokapasiteetti eri hinta-alueiden välillä joulukuussa 2014<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Tämän jälkeen mm. hinta-alueiden SE4 /LT ja PL/LT välille on rakennettu uudet siirtolinjat (700 MW ja 500 MW)



14.10.2016



Kuva 3-12. Siirtolinjojen kapasiteetit joulukuussa 2014

ENTSO-E<sup>3</sup>:n kymmenvuotissuunnitelmaan sekä eri maiden verkkoyhtiöiden julkaisemiin suunnitelmiin perustuvat siirtolinjainvestoinnit on esitetty seuraavissa taulukoissa.

Taulukko 3-2. Suunnitellut siirtolinjainvestoinnit Nord Poolin sisällä

Hinta-alueet	Kapasiteetti (MW)	Vuosi
SE3-SE4	1200	2017
NO2-NO5	1100	2020
NO3-NO4	900	2020
NO3-NO5	900	2020
NO4-SE2	900	2020
EE-LV	450	2020
NO1-SE3	1400	2021
SE1-SE2	800	2024
SE3-SE4	1200	2024
SE1-FI	800	2025
SE2-SE3	500	2025
NO4-FI	600	2026

<sup>3</sup> European Network of Transmission System Operators for Electricity





14.10.2016

16(36)  
ZSTYMAF-1

*Taulukko 3-3. Suunnitellut siirtolinjainvestoinnit Nord Poolin ja Keski-Euroopan välillä*

Hinta-alueet	Kapasiteetti (MW)	Vuosi
DK1-DE	1000	2018
NO2-DE	1400	2019
NO2-UK	1400	2021
SE4-DE	1400	2024
LT-PL	500	2024
SE4-DK2	600	2025
NO2-NL	700	2030

### 3.7 Investoinnit uuteen kapasiteettiin

#### 3.7.1 Investointien käsittely mallinnuksessa

Sähkömarkkinamalli käsittelee uusia investointeja kolmella tavalla; siihen voidaan syöttää (pakottaa) tiedossa olevia investointeja, sen voi antaa vapaasti valita markkinaehtoisesti tehtävät investoinnit syötettyjen kandidaattien joukosta tai uusiutuvien osalta voidaan syöttää tavoiteosuus tuotannosta, joka on saavutettava tiettyinä aikoina. Viimeisessä tapauksessa malli ottaa huomioon eri uusiutuvien potentiaalin ja kustannukset sekä laskee lisäksi tukiin tarvittavan rahamäärän. Seuraavassa taulukossa on esitetty oletukset investoinneille tuotantomuodoittain eri skenaarioissa.



Taulukko 3-4. Oletukset uudesta kapasiteetista (aurinkovoimalle vuosienenergiasta) Suomessa

Tuotantomuoto	Nykypolitiikka	Nopea kasvu	Hiilivapaa	Uusiutuva
Ydinvoima	- OL3 2018 - Hanhikivi 2024	- OL3 2018 - Hanhikivi 2024	- OL3 2018 - Hanhikivi markkineahtoinen	- OL3 2018
Kaasu (CCGT)	markkineahtoinen	markkineahtoinen	-	-
Kivihiili	-	-	-	-
Biomassa-CHP	- 2016-2030: max 250 MW / 5 v - 2031-2050: max 150 MW / 5 v	- 2016-2030: max 250 MW / 5 v - 2031-2050: max 150 MW / 5 v	- 2016-2030: max 250 MW / 5 v - 2031-2050: max 150 MW / 5 v	- 2016-2030: max 250 MW / 5 v - 2031-2050: max 150 MW / 5 v - Tuetaan jos ei synny markkineahtoisesti
Biomassa-lauhde	markkineahtoinen	markkineahtoinen	markkineahtoinen	Tuetaan jos ei synny markkineahtoisesti
Vesivoima	-	-	-	-
Tuulivoima	- Vuoden 2017 lopussa 2170 MW - 2020-2050 markkineahtoinen	- Vuoden 2017 lopussa 2170 MW - 2020-2050 markkineahtoinen	- Vuoden 2017 lopussa 2170 MW - 2020-2050 markkineahtoinen	- Vuoden 2017 lopussa 2170 MW - 2020-2050 tuetaan jos ei synny markkineahtoisesti
Aurinkovoima	- 2020 0.0 TWh - 2030 0.1 TWh - 2040 0.4 TWh - 2050 1.0 TWh	- 2020 0.0 TWh - 2030 0.1 TWh - 2040 0.4 TWh - 2050 1.0 TWh	- 2020 0.0 TWh - 2030 0.5 TWh - 2040 1.8 TWh - 2050 3.0 TWh	- 2020 0.0 TWh - 2030 0.5 TWh - 2040 1.8 TWh - 2050 3.0 TWh

Skenaario Uusiutuva FI on yllä olevilta oletuksiltaan samankaltainen skenaarion Uusiutuva kanssa. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi yllä olevan taulukon oletuksia tuotantomuodoittain.

### 3.7.2 Ydinvoima

Skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu Suomen yksiköiden valmistumisajankohdat noudattavat viimeisimpiä virallisia arvioita. Skenaariossa Hiilivapaa OL3 on kuten Nykypolitiikassa, Hanhikiveen sen sijaan investoidaan vain, jos se on kannattavaa. Skenaarioissa Uusiutuva ja Uusiutuva FI Hanhikiveen ei investoida.

Skenaariossa Nykypolitiikka Ruotsin yksiköiden oletetaan poistuvan käytöstä viimeaikaisimman suunnitelman mukaisesti; Oskarshamn 1 vuonna 2017, Ringhals 1 2020 ja Ringhals 2 2019. Skenaariossa Nopea kasvu Oskarshamn 1 oletetaan käyvän teknisen käyttöikänsä loppuun vuoteen 2022 asti ja Forsmark 1 suoritetaan 114 MW:n tehonkorotus vuonna 2017.

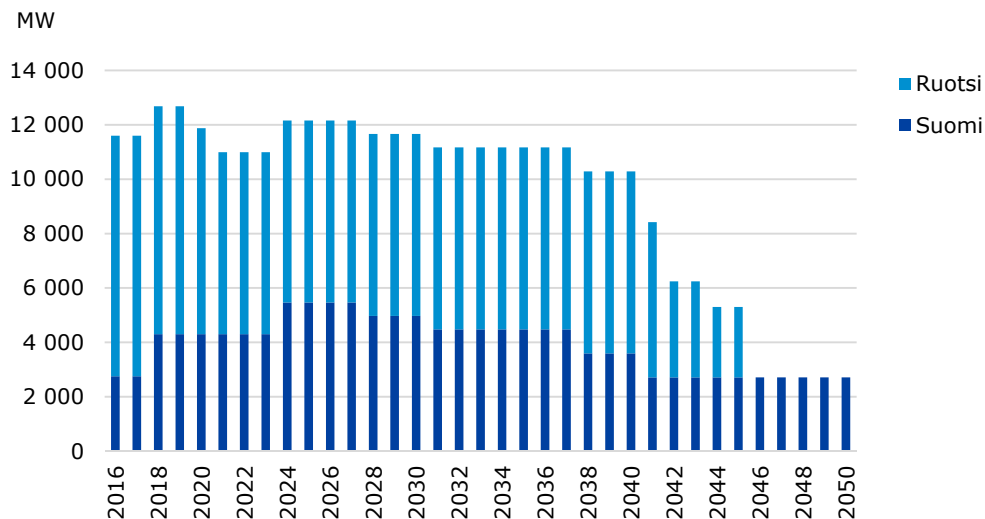
Ruotsin nykyinen hallitus yhdessä opposition kanssa linjasivat kesäkuussa 2016, että yhteensä kymmenen uutta reaktoria voidaan rakentaa olemassa olevilla voimalaitospaikoille, mutta



14.10.2016

ydinvoimaa ei jatkossakaan tueta. Mallinnuksessa asetetaan Ruotsin hinta-alueelle SE3 uusi ydinvoimakandidaatti, johon investoidaan, jos se on kannattavaa.

Seuraavassa kuvassa on esitetty Suomen ja Ruotsin ydinvoimakapasiteetit skenaariossa Nykypolitiikka perustuen nykyisiin ja suunniteltuihin yksiköihin (pl. Ruotsin kandidaattilaitos).



Kuva 3-13. Ydinvoimakapasiteetin kehitys Suomessa ja Ruotsissa skenaariossa Nykypolitiikka

### 3.7.3 Fossiilinen lämpövoima

Uusi kivihiiheen perustuva kapasiteetti nähdään poliittisesti mahdottomaksi koko Nord Poolin alueella tarkastelujaksolla.

Vastauksena mahdolliseen kapasiteettivajeeseen tulevaisuudessa skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu malliin asetetaan jokaiselle hinta-alueelle CCGT-kandidaatti (lauhde) lukuun ottamatta Ruotsia ja Norjaa, joissa sitä ei nähdä poliittisesti mahdolliseksi. Muissa skenaarioissa ei CCGT-kandidaattia ole.

Hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (CCS) ei nähdä potentiaalisena hiilidioksidipäästöjen vähentämiskeinona Suomessa. Syitä tähän ovat referenssitoteutusten määrä, korkea investointikustannus ja se, että Suomen maankamara ei mahdollista talteen otetun hiilidioksidin pysyvää varastointia.

### 3.7.4 Biomassaan perustuva lämpövoima

Suomessa biomassaan perustuvaa CHP-tuotantoa syntyy vain sen verran kuin mitä fossiilista CHP-tuotantoa poistuu markkinalta tai sitä ei kustannussyistä ajeta. Tämä määrä on arvioitu olevan noin 250 MW viiden vuoden aikana vuoteen 2030 asti ja sen jälkeen 150 MW per viisi vuotta. Tähän kapasiteettiin investoidaan kaikissa skenaarioissa markkinaehtoisesti lukuun ottamatta skenaarioita Uusiutuva ja Uusiutuva FI, joissa se kilpailee tuesta tuulivoiman kanssa niin, että hiilidioksidivapauden tavoite vuonna 2050 saavutetaan.

CHP-tuotannon lisäksi malliin asetetaan biomassalauhdekandidaatti, jonka kapasiteettia ei rajoiteta. Skenaarioissa Uusiutuva ja Uusiutuva FI tämä kilpailee tuesta tuulen kanssa.



### 3.7.5 Vesivoima

Uutta potentiaalia vesivoimalle koko Nord Poolin alueella katsotaan olevan vain Norjassa. Kokonaispotentiaali vuoteen 2050 asti on 4900 MW, josta 1700 MW on varastoaltaallista (IEA, 2016). Mallinnuksessa koko tämä potentiaali otetaan käyttöön kaikissa skenaarioissa.

### 3.7.6 Tuulivoima

Vuoteen 2020 asti arvioitu kapasiteetti pakotetaan malliin kaikissa skenaarioissa. Lisäksi vuoden 2020 jälkeen Ruotsiin uutta kapasiteettia arvioidaan elcert-järjestelmän laajennuksen takia syntyvän 6100 MW ennen vuotta 2030. Muissa maissa (sekä Ruotsissa 2030 jälkeen) uutta kapasiteettia syntyy kaikissa skenaarioissa vain markkinaehtoisesti lukuun ottamatta skenaarioita Uusiutuva ja Uusiutuva FI, joissa tuulivoima kilpailee tuesta biomassan kanssa. Seuraavassa taulukossa on esitetty tuulivoiman kapasiteetti maittain vuoden 2015 lopussa, arvio kapasiteetista vuoden 2020 lopussa sekä olemassa olevan kapasiteetin huipunkäyttöaika ja arvioitu uuden kapasiteetin huipunkäyttöaika.

Taulukko 3-5. Tuulivoimakapasiteetti ja huipunkäyttöajat koko Nord Poolin alueella

	Suomi	Ruotsi	Norja	Tanska	Baltia
Kapasiteetti 2015 lopussa (MW)	1005	6025	890	5060	810
Huipunkäyttöaika 2015 (h/a)	2500	2700	2600	2600	2150
Kapasiteetti 2020 lopussa (MW)	2170	7650	1900	6600	870
Uuden kapasiteetin huipunkäyttöaika (h/a)	3000	3150	3170	3200	3000

Kapasiteetin lisäys Suomessa vuoteen 2020 asti perustuu oletukseen, että nykyinen tuotantotavoite 6 TWh vuonna 2020 saadaan täyteen eikä uutta kapasiteettia ennen sitä synny. Ruotsissa lisäys perustuu Vindkraftsbranschenin arvioon helmikuulta 2016 (Vindkraftsbranschen, 2016). Norjassa kapasiteetin lisäys perustuu Fosen-projektiin, joka valmistuu vuoden 2020 loppuun mennessä ja joka hieman enemmän kuin tuplaa koko tuulivoimakapasiteetin Norjassa. Tanskassa lisäys perustuu viralliseen 18 TWh:n tuotantotavoitteeseen vuonna 2020. Baltiassa ei uutta kapasiteettia odoteta muualle kuin Liettuaan, jossa tuetusta kapasiteetista on 60 MW rakentamatta. Tämän lisäksi Viroon on uusia projekteja suunnitteilla, mutta ne korvaavat olemassa olevaa kapasiteettia. Tämä lisäys näkyy Baltian maiden hieman kohonneena huipunkäyttöaikana verrattuna tilastoihin.

Suurten tuulivoimaloiden luvitus on Suomessa suhteellisesti helpompaa kuin muissa Pohjoismaissa. Tästä syystä ero uuden kapasiteetin huipunkäyttöajoissa Suomen ja muiden Pohjoismaiden välillä on melko pieni, vaikka tuuliolosuhteet muissa maissa ovatkin suotuisimmat.

### 3.7.7 Aurinkovoima

Aurinkovoiman arvioidaan tarkastelujaksolla olevan kannattavaa vain silloin, kun se korvaa verkosta ostettavaa sähköä. Tästä johtuen kapasiteetin lisäys on rajallista – kuitenkin niin, että skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI kapasiteetin lisäys oletetaan hieman suuremmaksi kuin skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu.

### 3.7.8 Eri tuotantomuotojen kustannukset

Alla olevassa taulukossa on esitetty mallinnuksessa käytetyt kustannukset ja hyötysuhteet (tuulen ja auringon tapauksessa huipunkäyttöajat) eri teknologioille Suomessa ja niiden



14.10.2016

20(36)  
ZSTYMAF-1

arvioitu kehitys tarkastelujaksolla. Näitä hyödynnetään mallinnuksessa uusia investointeja optimoitaessa. Olemassa olevan kapasiteetin muuttuvat kustannukset perustuvat ÅF:n laitostietokannan tietoihin, joka sisältää kaikki Nord Pool -alueen tuotantoyksiköt.

Taulukko 3-6. Uuden kapasiteetin kustannusten ja (netto)hyötysuhteen kehitys Suomessa

	2015	2020	2030	2040	2050
<b>Ydinvoima</b>					
CAPEX (EUR/kW)	5000	4750	4500	4350	4250
OPEX (EUR/kW/a)	160	160	160	160	160
Sähköntuotannon hyötysuhde (%)	37	37	37	37	37
<b>CCGT-lauhde</b>					
CAPEX (EUR/kW)	560	560	560	560	560
OPEX (EUR/kW/a)	30	30	30	30	30
Sähköntuotannon hyötysuhde (%)	62	63	64	64.5	65
<b>Biomassa-CHP</b>					
CAPEX (EUR/kW)	1050	1050	1050	1050	1050
OPEX (EUR/kW/a)	53	53	53	53	53
Sähköntuotannon hyötysuhde (%)	85	85	85	85	85
<b>Biomassalauhde</b>					
CAPEX (EUR/kW)	2700	2700	2700	2700	2700
OPEX (EUR/kW/a)	170	170	170	170	170
Sähköntuotannon hyötysuhde (%)	36	36	36	36	36
<b>Tuulivoima (onshore)</b>					
CAPEX (EUR/kW)	1400	1300	1200	1150	1100
OPEX (EUR/kW/a)	52	50	48	46	45
Huipunkäyttöaika (h/a)	3000	3100	3200	3250	3300
<b>Aurinkovoima (katolle asennettava)</b>					
CAPEX (EUR/kW)	2100	1800	1100	1050	950
OPEX (EUR/kW/a)	28	25	22	22	22
Huipunkäyttöaika (h/a)	900	950	1000	1000	1000

Ydinvoiman investointikustannus 5000 EUR/kW perustuu IEA:n arvioon. Englantiin suunnitella olevan Hinkley Point -ydinlaitoksen hinnan on julkisuudessa arvioitu olevan 18 mrd. punttaa (teho 3200 MW), joka merkitsisi noin 6500 EUR/kW -ominaiskustannusta, joten mallinnuksessa käytettävän investointikustannuksen voidaan todeta olevan melko optimistinen. Kustannusten oletetaan tulevaisuudessa kuitenkin laskevan IEA:n arvioiden mukaisesti. Tätäkin arviota voi viimeaikaiset lisääntyneet turvallisuusvaatimukset huomioon ottaen pitää optimistisena. Toisaalta kehitteillä olevan pienemmän kokoluokan modulaariset yksiköt saattavat tulevaisuudessa laskea hintaa.

Lauhde-CCGT-laitos on mukana mallinnuksessa investoitavana kandidaattina lähinnä turvaamaan kapasiteettia sitä tilannetta ajatellen, että rakennettavaa CHP-lämpökuormaa ei enää ole ja ydinvoima tai uusiutuvat olisivat liian kalliita. Käytetty hyötysuhde edustaa tämän päivän moderneinta noin 800 MW:n H-luokan kaasuturbiinitekniikkaan perustuvaa laitosta.



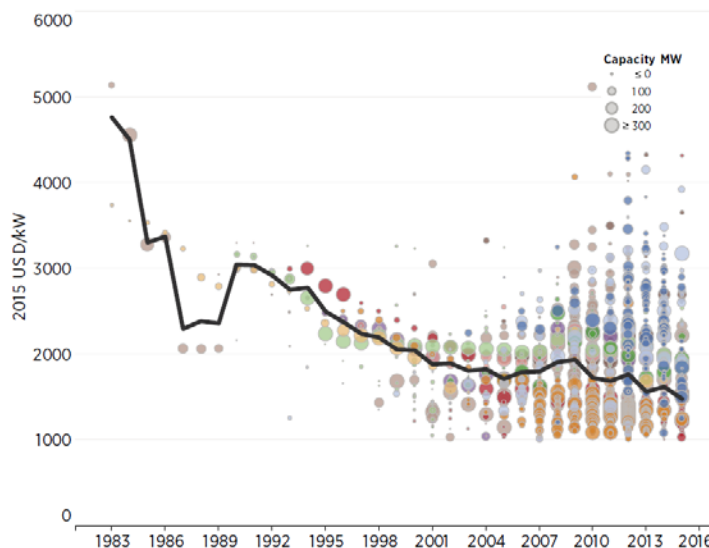
14.10.2016

Investointikustannus perustuu ÅF:n kansainvälisissä toimeksiannoissa saatuun hintatietoon Suomen kustannustasoon korjattuna.

Biomassa-CHP-laitoksen tunnusluvut kuvastavat tilannetta, jossa on jo investoitu höyrykattilaan ja tarvittaviin varauksiin tulevaisuudessa mahdollisesti tehtävää turbiini-investointia varten. Tällaisia projekteja on Suomessa viritteillä tällä hetkellä lukuisia. Mallinnuksessa käytettävä investointi vastaa tuota tulevaisuuden lisäinvestoinnin suuruutta (höyryturbiini apujärjestelmään). Kustannukset on saatu ÅF:n tekemistä esisuunnitteluprojekteista tällaisiin kohteisiin. Sähköntuotannon hyötysuhteena käytetään marginaalista hyötysuhdetta verrattuna siihen tilanteeseen, että tarvittava lämpö tuotettaisiin lämpökattilalla.

Biomassalauhdelaite vastaa kokoluokaltaan noin 100 MW:n laitosta, jolloin suurissa (>500 MW) hiililaitoksissa tyypillisiin 40–45 % hyötysuhteisiin ei päästä.

Modernin 3-5 MW:n tuulivoimaturbiinin (onshore) kustannus tänä päivänä on noin 1000 EUR/kW ja koko investoinnin mukaan lukien perustukset ja projektinkehitys noin 1400 EUR/kW. Seuraavassa kuvassa on esitetty historiallinen investointikustannusten kehitys maailmanlaajuisesti (IRENA, 2016).



Kuva 3-14. Tuulivoimalaitoksen (onshore) historiallinen investointikustannuksen kehitys

IRENA<sup>4</sup> arvioi investointikustannusten laskevan seuraavan kymmenen vuoden aikana noin 11 %. Kustannusten lasku kohdistuu lähinnä turbiinin osuuteen, muiden kustannuskomponenttien pysyessä samalla tasolla. Koska (onshore) tuulivoimatekniikka lähestyy kypsää vaihetta, arvioidaan kustannusten laskun tasaantuvan tarkastelujakson loppua kohti. Viime vuosina Suomeen rakennetut uudet tuulivoimalat ovat saavuttaneet eri vuosien tuulisuuskin huomioiden yli 3000 tunnin huipunkäyttöaikoja, koko tuotantokapasiteetin (mukaan lukien vanhemmat ja pienemmät voimalat) huipunkäyttöajan jäädessä noin 2500 tuntiin<sup>5</sup>. Voimaloiden edelleen suurentuessa (sekä korkeus että roottorin

<sup>4</sup> International Renewable Energy Agency

<sup>5</sup> Perustuen Energiaviraston SATU-järjestelmän datasta tehtyyn analyysiin vuodelle 2015



14.10.2016

22(36)  
ZSTYMAF-1

halkaisija) tämän kehityksen oletetaan jatkuvan niin, että vuonna 2050 uusilla tuulivoimaloilla saavutetaan 3300 tunnin huipunkäyttöaika.

Aurinkovoimaloiden vuoden 2015 investointikustannuksen referenssinä on yksityishenkilön katolle asennettava 2–5 kW:n järjestelmä avaimet käteen –toimituksena pitäen sisällään arvonlisäveron. IEA arvioi (IEA, 2015) aurinkovoiman kokonaiskustannusten laskevan 30–50 % vuoteen 2040 mennessä. Koska IEA:n tulevaisuusskenaariot aurinkoenergian suhteen ovat historiallisesti olleet pessimistisiä ja toteuma (asennettu kapasiteetti) on ollut moninkertainen ennusteisiin verrattuna, käytetään mallinnuksessa hinnanlaskuna 50 % aikavälillä 2015–2040 niin, että tarkastelujakson alkupäässä hintojen lasku on nopeampaa ja vuodesta 2040 eteenpäin hyvin maltillista.

### 3.7.9 Hiilidioksidivapaan tuotannon tasoitetut tuotantokustannukset

Tässä kappaleessa esitetään edelliseen kappaleeseen perustuviin tunnuslukuihin sekä muihin oletuksiin perustuvat tasoitetut tuotantokustannukset (Levelized Cost of Electricity, LCOE) havainnollistamaan eri teknologioiden välisiä kustannuseroja.

Muita oletuksia LCOE-analyysissä ovat:

- WACC 7 % (reaalinen)
- Rakennusajat:
  - Ydinvoima: 10 vuotta
  - Tuulivoima: 1.5 vuotta
  - Aurinkovoima: 0.5 vuotta
  - Muut: 2.5 vuotta
- Tekniset käyttöiät:
  - Ydinvoima: 60 vuotta
  - Tuulivoima: 20 vuotta
  - Aurinkovoima: 30 vuotta
  - Muut: 30 vuotta

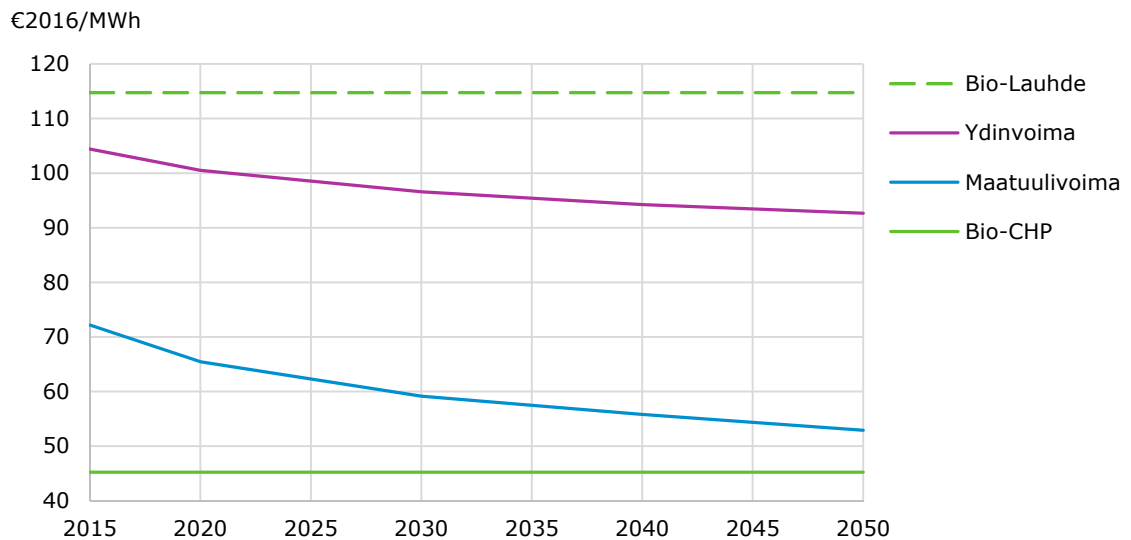
Analyysi on ns. vapaan kassavirran analyysi, jossa katsotaan, millä reaalisesti vakiona pysyvällä tuettomalla sähkön hinnalla investoinnin nettonykyarvoksi tulee nolla ottaen huomioon myös mm. poistot ja verot (pl. aurinkovoima). Polttoaineen hintana biolaitoksille käytetään tässä laskelmassa skenaarion Nykypolitiikka mukaista puupolttoaineen hintaa. Käytettäessä kohoavia, skenaarioiden Hiilivapaa ja Uusiutuva mukaisia puupolttoaineiden hintoja, LCOE:ksi bio-CHP:lle vuonna 2015 saadaan 54 EUR/MWh ja biolauhteelle 138 EUR/MWh.



14.10.2016

23(36)

ZSTYMAF-1



Kuva 3-15. Hiilidioksidivapaan tuotannon tasoitettujen tuotantokustannukset Suomessa

Aurinkovoiman LCOE on vielä vuonna 2050 139 EUR/MWh. Tämä on siis laskettu reaalisella laskentakorolla (Weighted Average Cost of Capital, WACC) 7 %. Kotitalouksien oman pääoman tuottovaatimuksen voi ajatella olevan huomattavasti pienempi kuin energia-alan teollisten toimijoiden ja käyttämällä esimerkiksi kahden prosentin reaalista korkoa (WACC), LCOE:ksi vuonna 2050 saadaan 90 EUR/MWh.

Bloomberg New Energy Finance arvioi tuulivoiman LCOE:n laskevan 41 % (BNEF, 2016) vuoteen 2040 mennessä. Tässä selvityksessä käytetyn 23 % laskun välillä 2015–2040 voidaan arvioida olevan melko maltillinen. Lisäksi projektin riskitaso ja vaadittu tuotto laskee tuotantotukien ollessa voimassa, jolloin tuulivoiman LCOE suhteessa esimerkiksi ydinvoimaan laskee edelleen.

Tässä kuvattu laskelma on yksinkertaistettu esimerkki ja ORDENA-mallissa investointipäätös perustuu optimointiin, joka ottaa huomioon tarkemmin kustakin valinnasta aiheutuvat järjestelmän kokonaiskustannukset liittyen mm. lisääntyneeseen kapasiteetin tarpeeseen ja ajoaikoihin perinteisen tuotannon osalta.

## 3.8 Liikenne, teollisuus, erillislämmitys ja muu kulutus

### 3.8.1 Yleistä

Sähkön ja kaukolämmön lisäksi merkittäviä energian loppukulutuksen sektoreita ovat liikenne, teollisuus ja rakennusten erillislämmitys. Lisäksi skenaarioissa on mukana sektori Muu kulutus, joka pitää sisällään kaikki loput energiavirrat. Skenaarioissa vuoden 2015 luvut pohjautuvat tilastokeskuksen 2014 lukuihin ja tulevaisuuden ennusteet perustuvat mm. VTT:n, Öljy- ja biopolttoaine ry:n, Luonnonvarakeskuksen ja Suomen lämpöpumppuyhdistyksen ennusteisiin. Skenaarioiden Uusiutuva FI kulutukset ovat samat kuin skenaarion Uusiutuva.

### 3.8.2 Liikenne

Skenaarioiden oletukset liikenteen käyttämälle energialle pohjautuvat VTT:n ALIISA-autokantamallin oletettuihin ajosuoritteisiin ja polttoainekulutuksiin. Skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea Kasvu oletetaan nykyisen liikenteen uusiutuvien energialähteiden





14.10.2016

24(36)

ZSTYMAF-1

osuuden säilyvän ja ajosuoritteiden kasvavan VTT:n ennusteen mukaisesti. Ajoneuvojen hyötysuhteissa oletetaan maltillista parantumista.

Muissa skenaarioissa (Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI) uusiutuvien energialähteiden laskennallinen osuus vuonna 2030 on asetettu vastaamaan hallituksen kaavailemaa 40 % -tavoitetta. Vuosina 2030–2050 on oletettu voimakasta kasvua liikenteen biopolttoaineissa ja sähköautojen osuudessa siten, että uusiutuvien laskennallinen osuus on 100 % vuonna 2050.

Lisäksi oletetaan, että valtaosa liikenteen biopolttoaineista täyttävät EU:n kestävyyskriteerit ja niihin sovelletaan nykyisenkaltaista tuplalaskentaa. Sähköautoille oletetaan tulevaisuudessa kerroin 2.5 uusiutuvien energialähteiden osuutta laskiessa. Energian loppukulutus ja laskennallinen uusiutuvien energialähteiden osuus (RES-%) on esitetty alla olevissa taulukoissa. Alhaisempi energian loppukulutus skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI johtuu sähköautojen suuremmasta osuudesta ja tiukempien päästötavoitteiden myötä paranevasta energiatehokkuudesta.

Taulukko 3-7. Energian loppukulutus liikenteessä skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu

	2015	2020	2030	2040	2050
Energian loppukulutus (TWh)	47.2	48.2	50.1	50.5	49.6
Laskennallinen RES-%	24	24	24	24	24

Taulukko 3-8. Energian loppukulutus liikenteessä skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI

	2015	2020	2030	2040	2050
Energian loppukulutus (TWh)	47.2	45.9	42.7	36.7	27.4
Laskennallinen RES-%	24	29	40	58	100

### 3.8.3 Teollisuus

Valtaosa teollisuuden energiankulutuksesta kuuluu sähkön ja kaukolämmön piiriin, mutta teollisuudessa käytetään sen lisäksi mm. hiiltä, kaasua ja öljyä energialähteinä muihin tarkoituksiin. Skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu oletetaan teollisuuden fossiilisten polttoaineiden käytön pysyvän vuoden 2015 kaltaisena vuoteen 2050 saakka. Näiden skenaarioiden loppukulutus polttoaineittain on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 3-9. Teollisuuden polttoaineiden loppukulutus skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu

Polttoaineen kulutus (TWh)	2015	2020	2030	2040	2050
Öljy	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
Maakaasu	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Hiili, koksi ja masuunikaasu	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
<b>YHT.</b>	<b>41.6</b>	<b>41.6</b>	<b>41.6</b>	<b>41.6</b>	<b>41.6</b>

Skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI oletuksena on, että fossiilisten polttoaineiden kulutus teollisuudessa vähenee merkittävästi paranevan energiatehokkuuden ja korvaavien biopohjaisten energialähteiden myötä. Poistuvasta öljynkulutuksesta 11 TWh korvataan biomassalla ja maakaasu korvataan kokonaan biomassalla. Hiilen, koksen ja masuunikaasun kulutus putoaa puoleen vuoteen 2050 mennessä. Näiden skenaarioiden loppukulutus polttoaineittain on esitetty seuraavassa taulukossa.



Taulukko 3-10. Teollisuuden polttoaineiden loppukulutus skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI

Polttoaineen kulutus (TWh)	2015	2020	2030	2040	2050
Öljy	26.6	23.2	16.0	8.0	0.0
Maakaasu	5.0	4.3	2.9	1.5	0.0
Hiili, koksi ja masuunikaasu	10.0	9.0	8.0	6.5	5.0
Biomassa	0.0	1.9	8.1	12.0	16.0
<b>YHT.</b>	<b>41.6</b>	<b>38.4</b>	<b>35.0</b>	<b>28.0</b>	<b>21.0</b>

### 3.8.4 Erillislämmitys

Erillislämmityksen osalta skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu oletetaan, että energiankulutus säilyy vuoden 2015 kaltaisena vuoteen 2050 saakka. Luonnonvarakeskuksen mukaan puun pienpoltto oli Suomessa vuonna 2014 17 TWh, jonka ennustetaan säilyvän samana myös muissa skenaarioissa. Öljy- ja biopolttoaineala ry taas arvioi öljyn kulutuksen rakennusten lämmityksessä olevan vuonna 2014 noin 7 TWh, jonka oletetaan pysyvän samana skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu ja korvautuvan kokonaan lämpöpumpuilla vuoteen 2050 mennessä muissa skenaarioissa. Erillislämmityksen loppukulutuksen kokonaismäärän oletetaan laskevan maltillisesti skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI paranevan energiatehokkuuden myötä. Lämpöpumppujen tuottaman energian kasvuennusteet näissä skenaarioissa ovat linjassa VTT:n ja Suomen lämpöpumppuyhdistyksen ennusteiden kanssa. Erillislämmityksen loppukulutusennusteet eri skenaarioille on esitetty alla olevissa taulukoissa.

Taulukko 3-11. Erillislämmityksen polttoaineiden loppukulutus skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu

Polttoaineen kulutus (TWh)	2015	2020	2030	2040	2050
Öljy	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Puu	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Lämpöpumput	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<b>YHT.</b>	<b>30.0</b>	<b>30.0</b>	<b>30.0</b>	<b>30.0</b>	<b>30.0</b>

Taulukko 3-12. Erillislämmityksen polttoaineiden loppukulutus skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI

Polttoaineen kulutus (TWh)	2015	2020	2030	2040	2050
Öljy	7.0	5.0	3.0	1.0	0.0
Puu	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Lämpöpumput	6.0	8.0	10.0	11.0	12.0
<b>YHT.</b>	<b>30.0</b>	<b>30.0</b>	<b>30.0</b>	<b>29.0</b>	<b>29.0</b>

### 3.8.5 Muu kulutus

Muu kulutus -kategorian alle luetaan tässä selvityksessä kaikki energiavirrat, jotka eivät kuulu sähkön, kaukolämmön, liikenteen, teollisuuden tai erillislämmityksen alle. Skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu kulutuksen oletetaan pysyvän vuoden 2015 tasolla vuoteen 2050 saakka. Muissa skenaarioissa fossiilisista polttoaineista luovutaan kokonaan ja ne



14.10.2016

26(36)  
ZSTYMAF-1

korvautuvat pienen biomassan osuuden kasvun lisäksi yhteiskunnan sähköistymisellä. Skenaarioiden loppukulutus kategoriassa Muu kulutus on esitetty seuraavissa taulukoissa.

*Taulukko 3-13. Muu polttoaineiden loppukulutus skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu*

Polttoaineen kulutus (TWh)	2015	2020	2030	2040	2050
Jäte ja kierrätyspolttoaineet	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Muu biomassa	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Maakaasu	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Muut fossiiliset	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>YHT.</b>	<b>9.2</b>	<b>9.2</b>	<b>9.2</b>	<b>9.2</b>	<b>9.2</b>

*Taulukko 3-14. Muu polttoaineiden loppukulutus skenaarioissa Hillivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI*

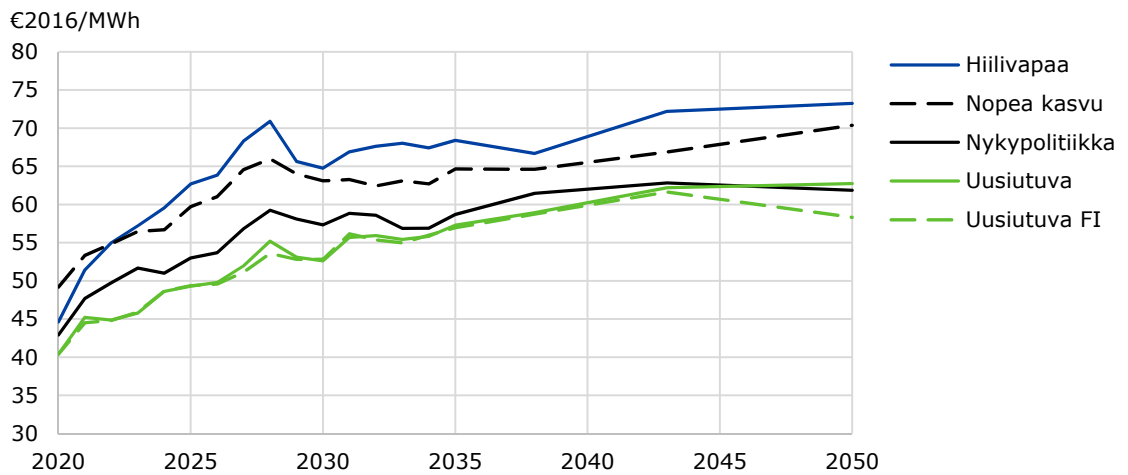
Polttoaineen kulutus (TWh)	2015	2020	2030	2040	2050
Jäte ja kierrätyspolttoaineet	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Muu biomassa	0.5	0.7	0.8	0.8	0.9
Maakaasu	0.7	0.6	0.4	0.2	0.0
Muut fossiiliset	2.5	2.1	1.4	0.7	0.0
Sähkö	0.0	0.3	1.0	1.7	2.4
<b>YHT.</b>	<b>9.2</b>	<b>9.2</b>	<b>9.1</b>	<b>8.9</b>	<b>8.8</b>



## 4 Tulokset

### 4.1 Sähkön hinnat

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnuksen mukaiset sähkön hinnat Suomessa eri skenaarioissa.



Kuva 4-1. Skenaarioiden mukaiset sähkön hinnat Suomessa

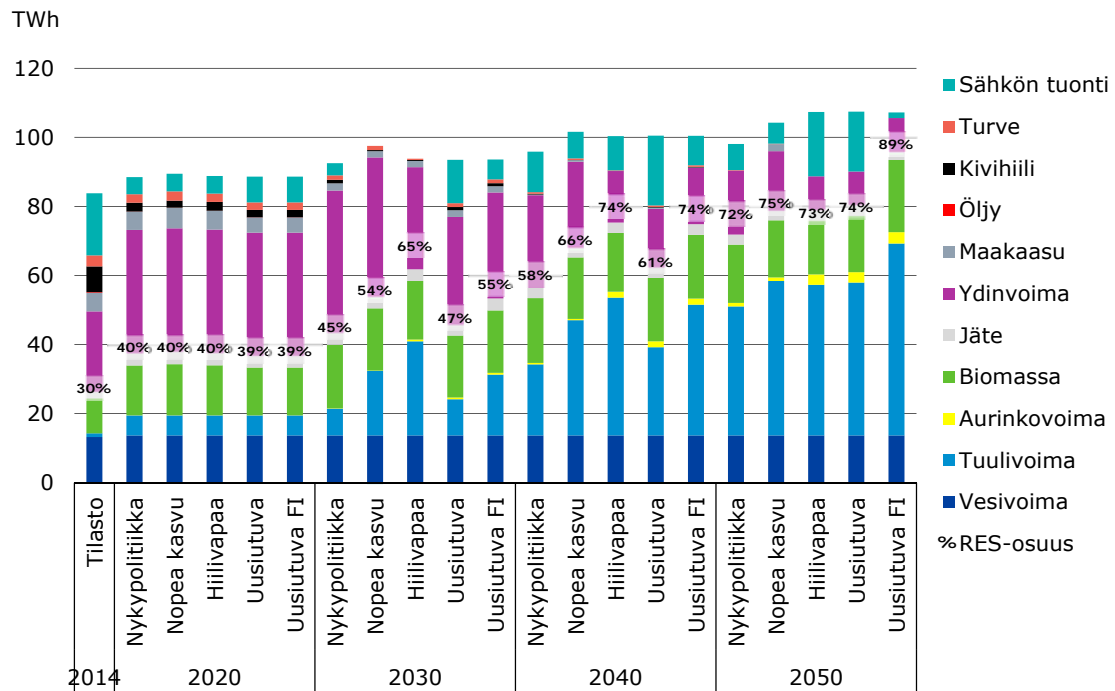
Nouseva trendi sähkön hinnoissa johtuu kohoavista polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnoista. Vuodesta 2030 alkaen järjestelmään tulee lisääntyvässä määrin tuulivoimaa, mikä hillitsee hinnan nousua. Skenaarion Hiilivapaa muita skenaarioita korkeampi hinta johtuu korkeasta päästöoikeuden hinnasta.

### 4.2 Energian loppukulutus

Seuraavissa kuvissa on esitetty energian loppukulutus sähkö- ja lämpösektorilla, sektorilla Liikenne, teollisuus, erillislämmitys ja muu kulutus sekä koko energian loppukulutus Suomessa. Kuvissa esitetty uusiutuvan energian osuus (RES-%) on laskettu ilman liikenteen biopolttoaineiden tuplalaskentasääntöä. Tuplalaskentaa soveltaen energian loppukulutuksen uusiutuvien osuus on noin 2-3 prosenttiyksikköä suurempi.



14.10.2016



Kuva 4-2. Sähköenergian loppukulutus

Vuonna 2020 sähkön tuonti vähenee Olkiluoto 3 valmistumisen myötä. Kivihiilen käyttö laskee alle puoleen vuoden 2014 tasosta kaikissa skenaarioissa.

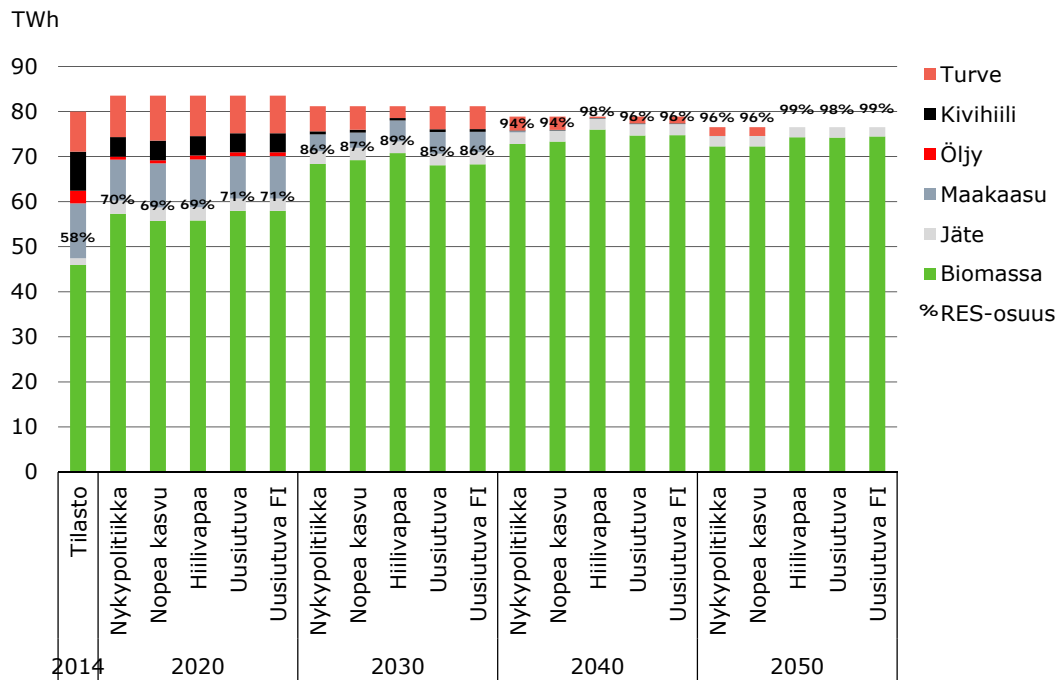
Vuonna 2030 tuulivoiman tuotanto lisääntyy 7-26 TWh verrattuna vuoden 2014 skenaariosta riippuen. Korkea sähkön hinta (noin 65 EUR/MWh) skenaarioissa Nopea kasvu ja Hiilivapaa edesauttaa tuulivoimakapasiteetin lisääntymistä. Koska skenaarioissa Nykypolitiikka ja Nopea kasvu Hanhikiven yksikön investoinnin on oletettu tapahtuvan, lisääntyy ydinvoiman tuotanto vastaavasti. Markkinaehtoisesti sitä ei synny ja muissa skenaarioissa tämä tuotanto korvautuu joko tuulivoimalla tai tuonnilla.

Vuonna 2040 fossiiliset polttoaineet ovat korvautuneet jo täysin hiilidioksidivapailta tuotantomuodoilla lukuun ottamatta skenaariota Nykypolitiikka, jossa turpeella tuotetaan vielä hieman sähköä. Aurinkovoimaa tulee järjestelmään korkeintaan 2 TWh.

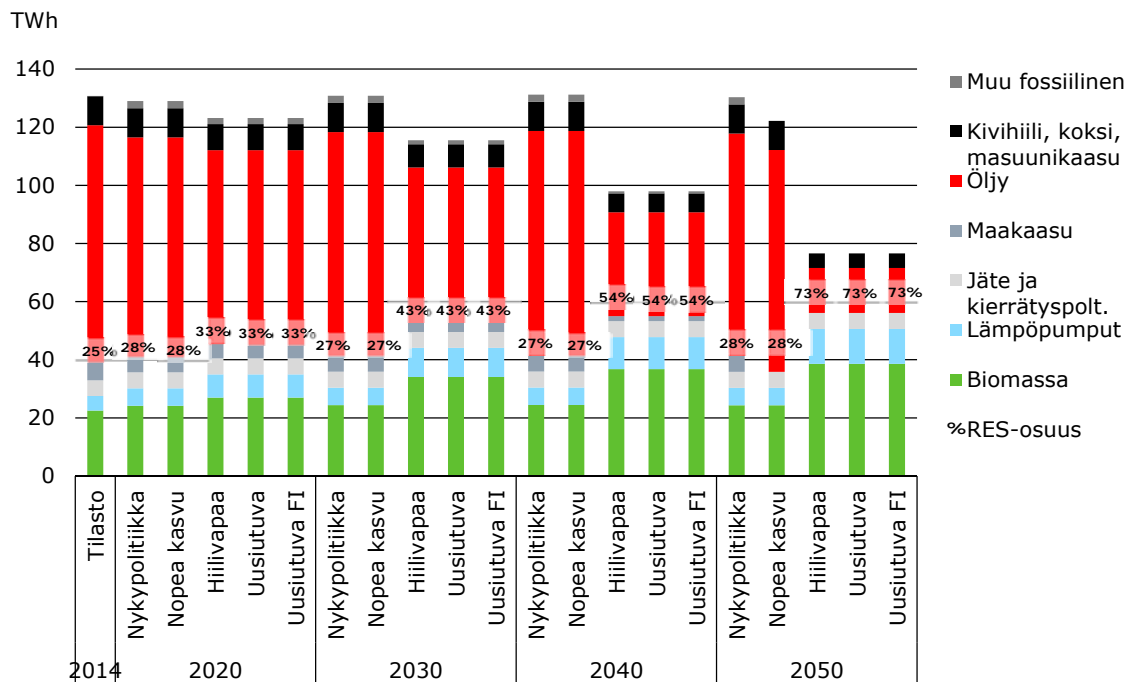
Vuonna 2050 skenaariossa Nopea kasvu maakaasua käytetään 2 TWh johtuen uuteen CCGT-kapasiteettiin tehdystä investoinnista. Olkiluodon 1- ja 2-reaktoreiden jäädessä pois käytöstä tuulivoiman tuotanto lisääntyy entisestään. Skenaariot Uusiutuva ja Hiilivapaa päätyvät lähes identtiseen tuotantoon ja tuulivoimalla tuotetaan molemmissa skenaarioissa 44 TWh sähköä. Skenaariossa Uusiutuva FI, jossa sähkön nettotuontia ei sallita, lisääntyy tuulivoimatuotanto enemmän ollen vuonna 2050 56 TWh. Koko fossiilinen sähkön CHP-tuotanto on korvautunut biomassalla kaikissa skenaarioissa. Sähköntuotanto bio-CHP:llä on kuitenkin kasvanut vain noin puolella siitä määrästä mitä fossiili-CHP-tuotantoa on poistunut johtuen biolaitosten pienemmästä rakennusasteesta ja kaukolämmön alentuneesta kysynnästä.



14.10.2016



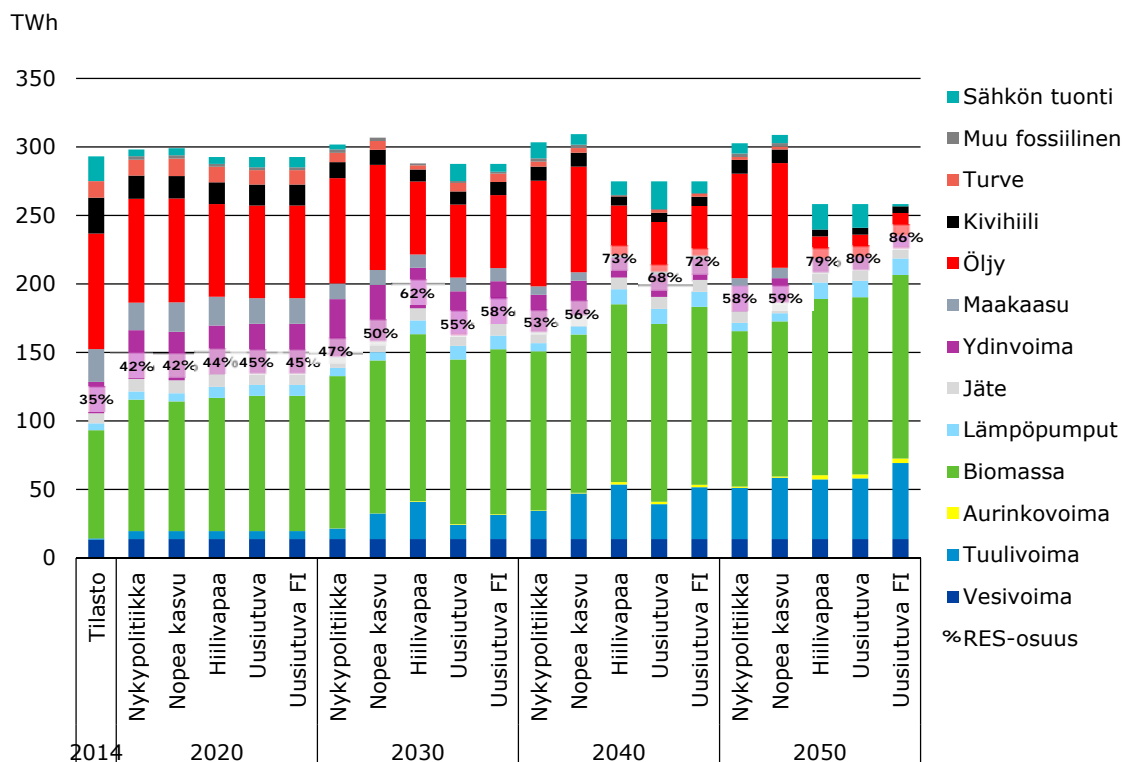
Kuva 4-3. Lämpöenergian (kauko- ja prosessilämpö) loppukulutus



Kuva 4-4. Energian loppukulutus sektorissa Liikenne, teollisuus, erillislämmitys ja muu kulutus



14.10.2016



Kuva 4-5. Energian loppukulutus

Jos skenaarion Hiilivapaa noin 80 EUR/t vuonna 2030 oleva päästöoikeuden hinta toteutuu, mallinnuksen mukaan hallitusohjelman 50 % uusiutuvien tavoitteeseen päästään. Jos päästöoikeuden hinta jää tasolle 30 EUR/t (Nyky politiikka) ja uusiutuvien tukia ei ole, uusiutuvien tavoitteisiin ei päästä ilman uusia politiikkatoimia. Mikäli maailmantalous kasvaa odotettua nopeammin, tavoitteeseen pääsy helpottuu (skenaario Nopea kasvu).

Biomassalla on merkittävä rooli sekä CHP-tuotannossa että teollisuussektorissa fossiilisten polttoaineiden korvaajana (skenaariot Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI). Tuulivoimatuotanto vuonna 2050 on skenaariosta riippuen välillä 37–56 TWh nykyisen noin 2 TWh:n sijaan. Ilman tukia tai hyvin korkeaa päästöoikeuden hintaa siihen investoidaan Suomessa kuitenkin vasta vuoden 2030 jälkeen.

### 4.3 Kokonaiskustannukset

Kustannuserot skenaarioiden välillä lämpösektorilla oletetaan pieniksi. Lisäksi sektori Liikenne, teollisuus, erillislämmitys ja muu kulutus on oletettu olevan identtinen skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI. Niinpä kokonaiskustannusvertailu vaihtoehtoisten politiikkaskenaarioiden välillä tehdään suomalaisten kuluttajien näkökulmasta sähkösektorilla. Kustannukset koostuvat seuraavista komponenteista:

- Kapasiteetti: Kustannus kapasiteettimekanismista, joka takaa riittävän kapasiteetin kysyntähuipuissa myös tilanteessa, jossa järjestelmässä on suuri määrä tuulivoimaa.
- Energia: Kustannus sähköenergiasta
- Siirto: Uusien siirtolinjojen investointi- ja käyttökustannukset

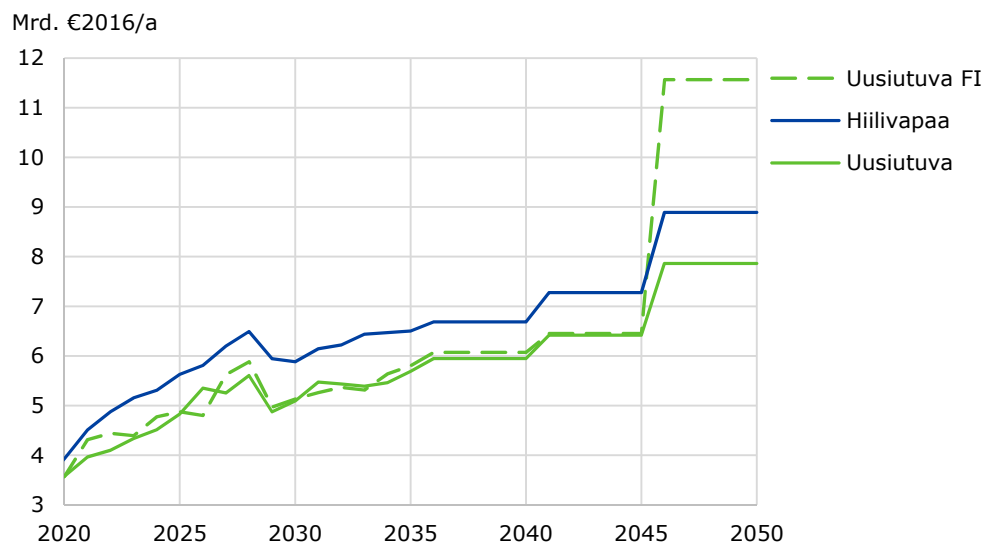


14.10.2016

- Uusiutuvien tuet: Tuet maksetaan vuosittain järjestettävän huutokaupan avulla teknologianeutraalisti niin, että sähkön- ja lämmöntuotanto on täysin hiilidioksidivapaata vuonna 2050 (skenaariot Uusiutuva ja Uusiutuva FI)

Vaikka kaikki edellä mainitut kustannukset eivät suoraan näy kuluttajan maksamassa sähkölaskussa, ajatellaan niiden loppukädessä kuitenkin lankeavan kuluttajan maksettavaksi.

Seuraavassa kuvassa on esitetty vaihtoehtoisten politiikkaskenaarioiden Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI vuosittainen kokonaiskustannus suomalaisille sähkönkuluttajille.



Kuva 4-6. Vaihtoehtoisten politiikkaskenaarioiden vuosittainen kokonaiskustannus suomalaisille sähkönkuluttajille

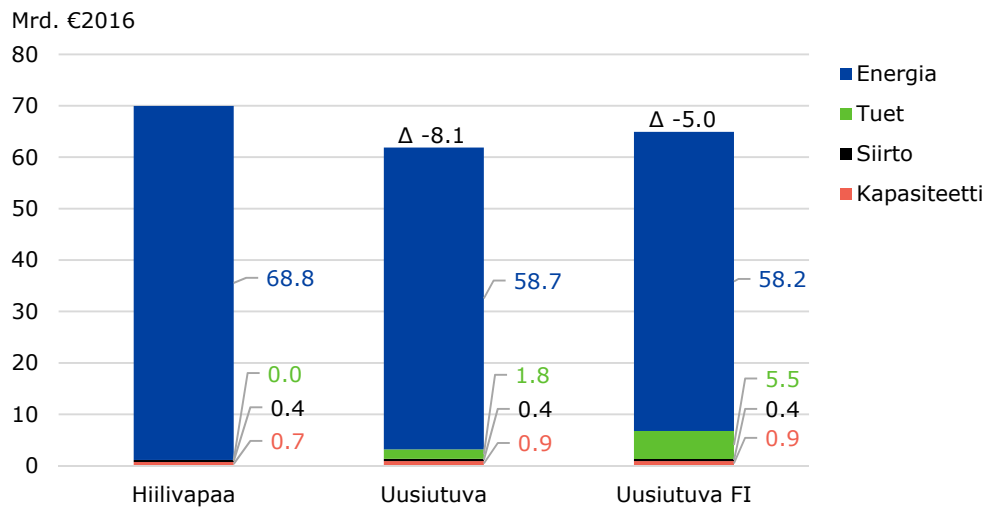
Skenaarion Hiilivapaa suurempi kokonaiskustannus Uusiutuva-skenaarioihin nähden ennen vuotta 2045 johtuu sen noin 15 EUR/MWh korkeammasta sähkön hinnasta. Uusiutuva-skenaariot ovat vuoteen 2045 asti vuosikustannuksiltaan melko lähellä toisiaan. Tästä eteenpäin omavaraisen skenaarion Uusiutuva FI vuosikustannusta nostavat tuontia korvaavan uusiutuvan tuotannon tuet. Yhteispohjoismaisella markkinalla, jolla on runsaasti edullista vesivoimatuotantoa, täyteen omavaraisuuteen pyrkiminen ei olekaan järkevää.

Jotta politiikkatoimenpiteiden tulevaisuuden kokonaisvaikutusta voidaan arvioida, edellä kuvatut vuotuiset kustannukset diskontataan nykypäivään. Seuraavissa kuvissa esitetään vuosikustannusten nykyarvot eri politiikkaskenaarioille (reaalinen laskentakorko 7 %). Ensimmäisessä kuvassa on otettu huomioon vuotuiset kustannukset vuoteen 2030 asti, jälkimmäisessä vuoteen 2050 asti. Esitetyt delta-arvot kuvaavat muiden skenaarioiden kustannuseroa Hiilivapaa-skenaarioon.

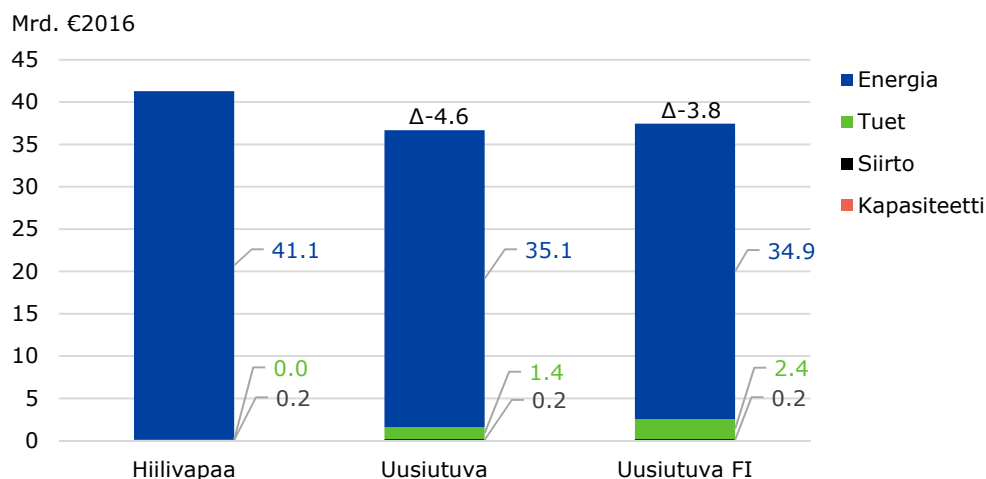




14.10.2016



Kuva 4-7. Kokonaiskustannusten (2017–2050) nykyarvo skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI



Kuva 4-8. Kokonaiskustannusten (2017–2030) nykyarvo skenaarioissa Hiilivapaa, Uusiutuva ja Uusiutuva FI

Kuvista nähdään, että energiamaksut ovat määrääviä kuluttajien kokonaiskustannuksia arvioitaessa ja että uusiutuvien tukeminen tulee suomalaisille sähkökäyttäjille kokonaiskustannuksiltaan vuoteen 2050 mennessä 5-8 mrd. euroa halvemmaksi kuin samaan uusiutuvien määrään johtava korkeaan päästöoikeuden hintaan perustuva politiikkapolku. Laskennassa epävarmuus lisääntyy tarkastelujakson loppupuolella. Tarkasteltaessa vain vuoden 2017–2030 kustannusten nykyarvoa, on lopputulos kuitenkin samankaltainen; Uusiutuva-skenaariot ovat kustannusten nykyarvoltaan tällöinkin noin neljä miljardia euroa Hiilivapaa-skenaariota halvempia. Kapasiteettiin liittyvissä kustannuksissa ei ennen vuotta 2030 olevassa tarkastelussa ole eroja skenaarioiden välillä.



14.10.2016

33(36)  
ZSTYMAF-1

Vaikka tässä kuluttajan kustannuksiin keskittyvässä tarkastelussa omavarainen skenaario Uusiutuva FI onkin tuontia sallivaa skenaariota Uusiutuva kalliimpi, toisi se todennäköisesti jonkinlaisia kansantaloudellisia hyötyjä liittyen mm. hieman nopeampaan paikalliseen oppimiskäyrään ja suuruuden ekonomiaan. Näitä hyötyjä ei tämän selvityksen laskelmissa kuitenkaan huomioida.



## 5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä selvityksessä on tarkasteltu, millä edellytyksillä sähkön- ja lämmöntuotanto Suomessa voi olla hiilidioksidivapaata vuonna 2050 ja mikä on tavoitteeseen pääsemiseksi valitusta politiikkapolusta aiheutuva kustannus suomalaisille kuluttajille. Lisäksi on tarkasteltu Suomen energian loppukäyttöä vuonna 2030 ja sitä, millä edellytyksillä Sipilän hallitusohjelman mukaiseen 50 %:n uusiutuvan energian tavoitteeseen päästään. Eri politiikkatoimenpiteiden vaikutusten arvioimiseksi luotiin kolme pääskenaariota, joilla sähkömarkkina koko Nord Pool -alueella mallinnettiin käyttäen ÅF:n ORDENA-sähkömarkkinamallia. Suomessa mallinnettiin lisäksi CHP-lämpömarkkina sekä arvioitiin energian loppukulutus muilla sektoreilla.

Pääskenaariot mallinnuksessa olivat Nykypolitiikka, Hiilivapaa ja Uusiutuva. Nykypolitiikka-skenaarioissa nykyisiin uusiutuvien kansallisiin tukiin ei oleteta muutoksia ja päästöoikeuden hinta nousee melko maltillisesti ollen vuonna 2030 noin 30 EUR/t ja vuonna 2050 noin 58 EUR/t. Hiilivapaa-skenaariossa nykyisiin uusiutuvien tukiin ei myöskään oleteta muutoksia, mutta päästökauppajärjestelmää vahvistetaan niin, että päästöoikeuden hinta vuonna 2030 on 83 EUR/t ja vuonna 2050 116 EUR/t. Uusiutuva-skenaariossa päästöoikeuden hinta on sama kuin Nykypolitiikassa, mutta uusiutuvia tuotantomuotoja tuetaan Suomessa teknologianeutraalilla vuosittain järjestettävällä huutokaupalla niin, että sähkön- ja lämmöntuotanto Suomessa on hiilidioksidivapaata vuonna 2050.

Näiden pääskenaarioiden lisäksi tutkittiin, mikä on globaalin nopean talouskasvun vaikutus skenaarioon Nykypolitiikka (skenaario Nopea kasvu) ja mitä vaikutuksia on pyrkimyksellä täyteen kotimaisuuteen skenaariossa Uusiutuva (Uusiutuva FI).

Pääasiallisena lähteenä markkinapolttoaineiden (maakaasu, kivihiili) sekä päästöoikeuden hinnoille eri skenaarioissa on IEA:n World Energy Outlook 2015. Eri tuotantomuotojen investointi- ja käyttökustannukset perustuvat IEA:n arvioiden lisäksi ÅF:n omiin tietokantoihin sekä viime aikoina eri projekteissa saatuihin kustannustietoihin Suomessa.

Sähkön vuosikulutuksen arvioidaan Nykypolitiikka-skenaariossa olevan vuonna 2030 90 TWh ja vuonna 2050 96 TWh. Skenaarioissa Hiilivapaa ja Uusiutuva arvioidaan yhteiskunnan sähköistymisen lisäävän kulutusta niin, että se on vuonna 2030 91 TWh ja vuonna 2050 105 TWh. Prosessilämmönkulutuksen arvioidaan pysyvän kaikissa skenaarioissa tämän päivän tasolla ja kaukolämmönkulutuksen arvioidaan uusien rakennusmääräysten ja ilmastonmuutoksen johdosta laskevan 7 % vuonna 2030 ja 20 % vuonna 2050 verrattuna vuoden 2015 lämpötilakorjattuun tasoon.

Suomessa merkittäviä hiilidioksidivapaita energiantuotantomuotoja ovat ydinvoima, vesivoima, tuulivoima ja biomassaan perustuva lämpövoima. Aurinkovoima on kannattavaa ainoastaan silloin, kun se syrjäyttää omaa kulutusta, eli kun sähkön verkkomaksuilta ja veroilta voidaan välttyä. Se ei tarkastelujaksolla nouse merkittäväksi tuotantomuodoksi Suomessa. Hyödyntämätöntä vesivoimapotentiaaliakaan ei Suomessa ole. Ydinvoiman haasteena on sen kallis hinta: IEA:n arvioimalla investointikustannuksella 5000 EUR/kW ydinvoiman tasoitettu tuotantokustannus (LCOE) on yli 100 EUR/MWh (reaalinen laskentakorko 7 %). Kustannustehokkaimpia hiilidioksidivapaita energiantuotantomuotoja Suomessa ovatkin biomassapohjainen CHP-tuotanto (LCOE noin 45 EUR/MWh) ja tuulivoima (LCOE nyt noin 70 EUR/MWh), biolauhteen kustannuksen noustessa yli 110 EUR/MWh:iin. Biomassan kysynnän kasvaessa ja hinnan noustessa sekä tuulivoimateknologian vielä kehittyessä on lisäksi oletettavaa, että bio-CHP:n ja tuulivoiman tuotantokustannukset ovat 2050-luvulle mentäessä lähellä toisiaan. Koska fossiilisia polttoaineita korvaavaa lämpökuormaa on



14.10.2016

Suomessa rajallinen ja kaukolämmön kysynnän supistuessa alati laskeva määrä, on selvää, että tuulivoimalla on merkittävä rooli hiilidioksidivapaassa Suomessa. Tässä selvityksessä tehty sähkömarkkinamallinnus, joka ottaa huomioon järjestelmän kokonaiskustannukset mukaan lukien kapasiteetin riittävyyden, vahvistaa tämän.

Jos skenaarion Hiilivapaa mukainen päästöoikeuden hinta (80 EUR/t 2030) toteutuu, mallinnuksen mukaan hallitusohjelman 50 % uusiutuvien tavoitteeseen päästään. Jos päästöoikeuden hinta jää tasolle 30 EUR/t ja uusiutuvien tukia ei ole, vaatii tavoitteeseen pääsy uusia politiikkatoimia. Mikäli maailmantalous kasvaa odotettua nopeammin, tavoitteeseen pääsy helpottuu (skenaario Nopea kasvu).

Suomalaisille kuluttajille kohdistuvissa kustannuksissa lämpösektorilla ja sektorilla Liikenne, teollisuus, erillislämmitys ja muu kulutus ei arvioida olevan merkittävää eroa skenaarioiden Hiilivapaa ja Uusiutuva välillä. Kustannusvertailussa keskitytäänkin sähköntuotantoon ja siitä kuluttajille aiheutuviin kustannuksiin. Kokonaiskustannukset muodostuvat neljästä komponentista: kapasiteetti, energia, siirto ja tuet. Vuoden 2040 jälkeen tuulivoimatuotannon lisääntyessä kaikissa skenaarioissa tulee tarve jonkinlaiselle kapasiteettimekanismille. Sähköenergian kustannukseksi lasketaan marginaalinen tuotantokustannus kerrottuna sen hetkellä kulutuksella. Sähkönsiirron kustannukseksi muodostuu uusien siirtolinjojen investointi- ja käyttökustannukset, joiden oletetaan loppukädessä päätyvän kuluttajan maksettavaksi. Uusiutuvien tuet kuluttaja maksaa lisääntyvien verojen muodossa.

Vaihtoehtoisissa politiikkaskenaarioissa Hiilivapaa ja Uusiutuva päädyttiin vuonna 2050 hyvin samankaltaiseen sähköntuotannon jakaumaan; ydinvoimalla katetaan noin 9 % kulutuksesta, vesivoimalla 13 %, biomassalla 16 % (josta n. 90 % CHP-tuotantoa), tuulivoimalla 42 %, aurinkovoimalla ja jätteenpoltolla yhteensä 4 %. Tuontisähkön osuudeksi jää noin 16 %. Suomalaisien kuluttajien kokemien kokonaiskustannusten ero näiden skenaarioiden välillä on kuitenkin merkittävä; vuositasolla noin 700 miljoonaa euroa ja kaikki vuosien 2017–2050 kustannukset nykyarvoksi muutettuna noin kahdeksan miljardia euroa siten, että skenaario Uusiutuva tulee skenaariota Hiilivapaa edullisemmaksi.

Vaikka uusiutuvia tuotantomuotoja tuettaisiinkin, tulee suomalaisille kuluttajille halvemaksi tuoda jatkossakin osa käyttämästään sähköstä muista Pohjoismaista. Yhteinen sähkömarkkina ja lisääntyvä siirtokapasiteetti helpottaa lisäksi kapasiteetin hallintaa kysyntähuipuissa.



14.10.2016

36(36)  
ZSTYMAF-1

## 6 Lähteet

BNEF. (2016). New Energy Outlook, June 2016.

IEA. (2015). World Energy Outlook.

IEA. (2016). Nordic Energy Technology Perspectives 2016.

IMF. (April 2016). World Economic Outlook Database April 2016. Noudettu osoitteesta <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2016/01/weodata/index.aspx>

IRENA. (2016). Solar and wind cost reduction potential to 2025.

Luke. (2014). Metsätilastollinen vuosikirja.

Luke. (2015). Luonnonvarakeskus. Noudettu osoitteesta Puun energiakäyttö 2014: [http://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2014\\_fi](http://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2014_fi)

Luke. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045.

SULPU. (2016). Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Noudettu osoitteesta <http://www.sulpu.fi/lampopumput>

Tilastokeskus. (2015). Energiatilastot. Noudettu osoitteesta [http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset\\_julkaisut/energia2015/html/suom0000.htm](http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2015/html/suom0000.htm)

Vindkraftsbranschen. (2016). <http://www.vindkraftsbranschen.se/wp-content/blogs.dir/11/files/2016/02/Statistik-och-prognos-vindkraft-20160218.pdf>.

VTT. (2015). ALIISA autokantamalli. Noudettu osoitteesta [http://lipasto.vtt.fi/aliisa/aliisa\\_tulokset.htm](http://lipasto.vtt.fi/aliisa/aliisa_tulokset.htm)

ÅF. (2016). Selvitys keinoista sähkötehon riittävyyden varmistamiseksi kulutushuipuissa.

Ölly- ja biopolttoaineala ry. (2016). Noudettu osoitteesta Suomen öljymarkkinat: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-3-suomen-oljymarkkinat/36-oljytuotteiden-kulutus-kayttajaryhmittain>