Energiasektorin cleantech-teknologioiden vaikutukset ja mahdollisuudet

LOPPURAPORTTI

15.5.2015

Aki Pesola, Juha Vanhanen, Ville Karttunen, Anna Kumpulainen,
Markku Hagström, Marika Bröckl, Ida Rönnlund
Gaia Consulting Oy

SISÄLTÖ

Esipuhe 2

Tiivistelmä 3

1 Johdanto 5

2 Tarkasteltavat cleantech-teknologiat 6

2.1 Energiantuotanto 6

2.2 Energiantuotannon polttoaineet 8

2.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat 9

2.4 Energian varastointi 10

2.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat 11

3 Teknologiakohtaiset kehityspolut 13

4 Laskentamenetelmän kuvaus 14

4.1 Laskentamenetelmä 14

4.2 Laskentaparametrit ja lähtöoletukset 15

5 Cleantech-teknologioiden vaikutukset 17

5.1 Energiantuotanto 17

5.2 Energiantuotannon polttoaineet 36

5.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat 38

5.4 Energian varastointi 52

5.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat 59

6 Cleantech-teknologioiden vertailu 71

6.1 Vaaditut investoinnit ja tarkasteltu energiamäärä 72

6.2 Hiilidioksidipäästöjen vertailu 74

6.3 Työllisyysvaikutusten vertailu 81

6.4 Vaihtotasevaikutusten vertailu 87

7 Teknologioiden liiketoiminta- ja vientimahdollisuudet 93

8 Tulosten luotettavuuden arviointia 98

9 Yhteenveto 100

Raportissa käytetyt lähteet 109

Liite 1: Teknologiakohtaisten rahavirtojen jakautuminen 110

Liite 2: Laskentaparametrit 166

Liite 3: Ohjausryhmä 167

Copyright © Sitra, Gaia

Esipuhe

Suomi on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 80–95 prosentilla vuoteen 2050 mennessä. Suurimmista päästöistä vastaavan energiasektorin täytyy muuttua vähähiiliseksi ja perinteisen energiateollisuuden uudistuttava kokonaisvaltaisesti. Samalla täytyy pitää huoli myös Suomen kilpailukyvystä ja etsiä uusia kasvualueita.

Hallituksen cleantech-strategian visiossa Suomi on vuonna 2020 cleantech-liiketoiminnan suurvalta. Näin kunnianhimoisiin tavoitteisiin päästään vain uudenlaisella politiikalla, joka aidosti kannustaa cleantech-teknologioiden hyödyntämiseen ja edistää laajasti cleantech-liiketoimintaa Suomessa.

Uudet teknologiat kehittyvät kiihtyvää vauhtia. Niiden vertailemiseksi tarvitaan yhteismitallista tietoa kustannuksista ja hyödyistä pitkällä tähtäimellä. Teknologioiden valinnassa täytyy kustannustekijöiden lisäksi huomioida niiden tuomat investointi-, kasvu-, työllisyys- ja vientimahdollisuudet. Vaihtotaseen kannalta pitää myös analysoida, mitkä teknologiat kustannustehokkaimmin parantavat vaihtotasetta ja kasvattavat energiantuotannon kotimaisuusastetta.

Sitra halusi tässä työssä selvittää energiasektoria koskevien ja siellä hyödynnettävien cleantech-teknologioiden vaikutuksia mm. päästövähennysten saavuttamiseen, työllisyyden edistämiseen ja vaihtotaseen parantamiseen. Cleantech-teknologioita koskevaan keskusteluun tarvittiin fakta-pohjaista lisätietoa. Näin tulevaisuuden valintoja voidaan tehdä perustuen tutkittuun tietoon.

Selvitys tuotti monipuolista tietoa eri kehitysvaiheissa olevista cleantech-teknologioista. Tuloksena syntyi näkemys eri teknologioiden vaikutuksista ja mahdollisuuksista pitkällä aikavälillä. Tämä auttaa päätöksentekijöitä kartoittamaan, mitkä teknologiat kustannustehokkaimmin johtavat vähähiilisyyteen, luovat pitkällä tähtäimellä uusia työpaikkoja, edistävät kasvua ja parantavat kilpailukykyä. Tietoa voidaan hyödyntää määritettäessä Suomelle uudenlaista elinkeino- ja energiapolitiikkaa, joka kantaa kestävällä pohjalla pitkälle tulevaisuuteen.

Suomessa on tarjolla laaja kirjo erilaisia cleantech-ratkaisuja, joiden avulla on mahdollista luoda työpaikkoja, parantaa vaihtotasetta ja vähentää päästöjä. Kansantalouden näkökulmasta kaikki fossiilisia tuontipolttoaineita korvaavat ratkaisut ovat houkuttelevia ja niiden hyödyntäminen parantaa vaihtotasetta välittömästi. Kotimarkkinoiden kehittäminen nostaa pitkällä aikavälillä kotimaisuusastetta ja kasvattaa vientipotentiaalia. Globaali markkina kehittyy nopeasti, ja tämä kannattaa huomioida kansallisia panostuksia arvioitaessa. Myös pieni voi olla suurta, kun riittävän monta pienen kokoluokan ratkaisua otetaan käyttöön.

Suomalaisen cleantech-teollisuuden menestys on pitkälle omissa käsissämme, ja siihen voidaan vaikuttaa merkittävästi yhteiskunnan valinnoilla. Nämä valinnat on tehtävä nyt.

Helsingissä 12.5.2015

Jaana Pelkonen
johtava asiantuntija
Suomen itsenäisyyden juhlarahasto

Copyright © Sitra, Gaia

Tiivistelmä

Energia-alalla on tapahtumassa merkittävä murros. Cleantech-teknologiat lisäävät nopeasti markkinaosuuttaan ja energia-alan investoinnit kohdentuvat yhä enemmän uusiutuvaan energia, energiatehokkuuteen ja biopolttoaineiden tuotantoon. Useissa maissa on todettu, että cleantech-teknologioihin kannattaa panostaa, sillä ne tarjoavat mahdollisuuden vähentää tehokkaasti kasvihuonekaasupäästöjä sekä luovat samalla työpaikkoja ja vientimahdollisuuksia. Suomen hallituksen vuoden 2014 huhtikuussa hyväksymän cleantech-strategian tavoitteena on vauhdittaa suomalaisen cleantech-liiketoiminnan kasvua ja perinteisen teollisuuden uusiutumista. Visiona on, että Suomi on vuonna 2020 cleantech-liiketoiminnan globaali suurvalta.

Tässä selvityksessä on arvioitu energia-alan ja liikenteen energiaratkaisuihin liittyvien cleantech-teknologioiden mahdollisuuksia ja vaikutuksia. Mahdollisuuksia on tarkasteltu kolmella eri teknologiakohtaisella kehityspolulla (teknologiakohtaiset skenaariot), jotka poikkeavat toisistaan kehitysvauhdin suhteen. Vaikutusten osalta tarkastelu on kohdistunut teknologiakohtaisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksiin, työllistävyyteen sekä vaihtotasevaikutuksiin. Tarkasteltavat teknologiat kattavat energian tuotannon ja varastoinnin, energiatehokkuuden, kulutusjouston, liikenteen ja energiantuotannon polttoaineet sekä liikenteeseen liittyvät energiaa säästävät teknologiat.

Tutkimuksen tarkoituksena on ollut luoda yhteismitallinen benchmarking-vertailu eri teknologioiden vaikutuksista. Selvityksen tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa, mihin teknologioihin kannattaa tulevaisuudessa panostaa, kun otetaan huomioon perinteisen kustannustehokkuuden lisäksi eri teknologioiden päästö-, työllisyys- ja vaihtotasevaikutukset. Selvityksen tulosten perusteella voidaan myös parantaa edellytyksiä määrittää Suomelle menestyksekäs tulevaisuuden cleantech-politiikka.

Energiantuotantoteknologioiden vertailu osoittaa, että keskitetyistä energiantuotantoteknologioista kokonaisuudessaan suurin päästöjen vähennyspotentiaali on maatuulivoimalla ja suurilla biomassakattiloilla. Hajautetuista energiantuotantoteknologioista suurin päästövähennyspotentiaali on pienillä biomassakattiloilla sekä aurinkosähköllä. Merkittävin työllisyysvaikutus syntyy tuulivoimassa ja bioenergiassa sekä hajautetussa energiantuotannossa, johon liittyy paljon asennustyötä suhteessa tuotettuun energiamäärään. Vaihtotaseen osalta merkittävin potentiaali on biomassakattiloilla.

Tarkasteltujen *energiantuotannon polttoaineiden* (biohiili, pyrolyysiöljy, biometaani) vertailu osoittaa, että biohiili vähentää tehokkaimmin päästöjä, koska sillä voidaan korvata korkean ominaispäästön kivihiiltä. Biometaani puolestaan työllistää kaikkein eniten. Biometaanilla on myös suurin positiivinen vaihtotasevaikutus, koska sillä voidaan korvata huomattava määrä maahantuotua maakaasua. Energiamäärään suhteutettuna pyrolyysiöljy kuitenkin on biometaaniakin tehokkaampi vaihtotaseen parantaja, koska sillä korvataan kaikkein kalleimpia energiantuotannossa käytettyjä tuontipolttoaineita: kevyttä ja raskasta polttoöljyä.

Kaikki tarkasteltavat *energiatehokkuusteknologiat* vähentävät päästöjä. Etenkin lämpöpumpuilla on merkittävä päästövähennyspotentiaali ja työllistävä vaikutus. Energiatehok-

Copyright © Sitra, Gaia

kaalla korjausrakentamisella ja lämmön talteenottoratkaisuilla on myös huomattava työllistävä vaikutus. Maalämpöpumput parantavat eniten vaihtotasetta. Toisaalta ilma-ilmalämpöpumppujen ja lämmön talteenottoteknologioiden lisääntyminen lisää vaihtotaseen alijäämää. Tämä johtuu pääosin teknologiatuonnista ja siitä, että näillä teknologioilla ei juuri korvata suoraan fossiilisia erillislämmöntuotannon tuontipolttoaineita.

Energian varastointiteknologioista suurin päästövähennyspotentiaali on pumppuvoimalaitoksilla. Myös rakennuksiin integroidut faasimuutosmateriaalit, joiden lämmön varastointikyky perustuu olomuodon muutoksessa sitoutuneeseen tai vapautuneeseen lämpömäärään, voivat vähentää päästöjä huomattavasti. Varastointiteknologioiden työllistävä vaikutus on ylipäätään vain kohtuullinen, mikä johtuu sekä alhaisesta kotimaisuusasteesta että pienemmistä investointimääristä suhteessa esimerkiksi energiantuotantoteknologioihin. Vaihtotaseen osalta lämmön varastointiin tarkoitetut vesivarastot erottuvat tarkastelluista teknologioista positiivisesti suuren kotimaisuusasteensa ansiosta. Myös faasimuutosvarastot synnyttävät vähäistä ylijäämää. Muut tarkastelun teknologiat heikentävät vaihtotasetta johtuen pääosin lisääntyvästä teknologiatuonnista.

Liikenteen polttoainetuotannossa (bioetanoli, biodiesel, liikennebiokaasu, vety) suurin päästövähennyspotentiaali on biodieselin ja biokaasun tuotannolla, koska näillä polttoaineilla voidaan korvata merkittävä määrä fossiilisia polttoaineita. Bioetanolituotannolla on puolestaan suurimmat työllisyysvaikutukset erityisesti raaka-aineketjun työllistävyyden vuoksi. Liikennebiokaasun tuotanto nousee tässä tarkastelussa työllisyysvaikutuksiltaan toiseksi. Vaihtotasevaikutus on kaikilla tarkastelluilla liikennepolttoaineilla selkeästi positiivinen, koska niillä korvataan tuontipolttoaineita.

Liikenteen energiansäästöteknologioiden osalta polttoainekulutusta vähentävillä teknologioilla on suurin vaikutus sekä liikenteen energiankulutuksen että päästöjen vähenemiseen. Sähköautojen latausteknologian valmistus ja asennus sekä polttoainekulutusta vähentävien teknologioiden asennus työllistävät eniten. Kaikilla tarkastelluilla teknologioilla on positiivinen vaikutus vaihtotaseeseen, koska ne vähentävät polttoainetuontia. Lisäksi liikenteen ohjausjärjestelmissä (Mobility as a Service, MaaS) on merkittävää vientipotentiaalia palveluviennin osalta.

Yhteenvetona koko tutkimuksesta voidaan todeta, että kaikki tarkastellut cleantech-teknologiat edistävät poikkeuksetta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä. Tämän lisäksi lähes kaikki teknologiat edistävät työllisyyttä ja parantavat vaihtotasetta. Työtä syntyy etenkin bioenergian hankintaketjuissa, teknologioiden investointien ja asennustöiden yhteydessä sekä viennin kautta. Vaihtotaseen kannalta merkittävimmät vaikutukset saadaan silloin kun korvataan ulkomaisia tuontipolttoaineita, teknologian kotimaisuusaste on korkea ja teknologiaan liittyy myös mahdollisuus vientiin.

Copyright © Sitra, Gaia

1 Johdanto

Suomi on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään kunnianhimoisesti vuoteen 2050 mennessä. Kyseessä on koko yhteiskuntaan ja sen kaikkiin osa-alueisiin vaikuttava muutos. Hallituksen vuoden 2014 huhtikuussa hyväksymän cleantech-strategian tavoitteena on vauhdittaa suomalaisen cleantech-liiketoiminnan kasvua ja perinteisen teollisuuden uusiutumista puhtaan teknologian avulla. Visiona on, että Suomi on vuonna 2020 cleantech-liiketoiminnan globaali suurvalta. Jotta tähän tavoitteeseen päästään, tarvitaan Suomeen uudenlaista elinkeino- ja energiapolitiikkaa, joka edistää laajasti vähähiilisiä ratkaisuja ja cleantech-liiketoimintaa.

Tässä selvityksessä arvioidaan teknologiakohtaisesti yksittäisten teknologioiden kustannus- ja hyötyvaikutuksia. Selvityksen kohteena ovat energiasektoria koskevat ja energiasektorilla hyödynnettävät cleantech-teknologiat. Selvitys kattaa myös liikennesektorin energiaratkaisuihin liittyvät cleantech-teknologiat. Tarkasteltavat teknologiat on esitelty luvussa 2.

Tutkimuksen tarkoituksena on ollut luoda yhteismitallinen benchmarking-vertailu eri teknologioiden vaikutuksista. Kunkin teknologian kehityksestä on luotu kolme vaihtoehtoista kehityspolkua (teknologiakohtaiset skenaariot), joiden perusteet on kuvattu luvussa 3. Tässä tutkimuksessa kutakin teknologiaa on katsottu erikseen eikä tutkimuksen tehtävänä ole ollut muodostaa kokonaiskuvaa Suomen energiateknologioiden kehityksestä tai optimoidusta energiajärjestelmästä. Tarkoituksena on ollut, että tämän hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää, kun tehdään valintoja mihin cleantech-teknologioihin kannattaa tulevaisuudessa panostaa.

Vaikutuksia on arvioitu Gaian kehittämällä aluetalousmallilla, joka on kuvattu luvussa 4.1. Tarkastelu on kattanut energian tuotannon ja varastoinnin, energiatehokkuuden, kulutusjouston, liikenteen ja energiantuotannon polttoaineet sekä liikenteeseen liittyvät uudet teknologiat. Tarkasteltavia vaikutuksia ovat olleet hiilidioksidipäästöjen vähennysmahdollisuudet, teknologioiden työllistävyys ja vaihtotasevaikutukset. Kaikki laskennan tuloksena esitettävät vaikutukset kuvaavat *muutosta* nykytilanteeseen. Laskentamallin tulokset on raportoitu luvussa 5 sekä tarkemmin liitteessä 1.

Selvityksen tavoitteena on ollut luoda tietoa useasta eri näkökulmasta (luvut 6-8) cleantech-teknologioihin liittyvään keskusteluun ja parantaa näin mahdollisuuksia määrittää Suomelle menestyksekäs tulevaisuuden cleantech-politiikka. Selvityksessä tuotettua laajaa tietoaineistoa voidaan hyödyntää tulevaisuudessa tätä selvitystä laajemminkin. Tämän vuoksi lähtöoletukset ja keskeiset laskentaparametrit on raportoitu avoimesti liitteessä 2.

Selvitystyötä on ohjannut Sitran nimeämä ohjausryhmä, jonka jäsenet koostuvat energia-alan asiantuntijoista yhteiskunnan eri sektoreilta. Sitra on päättänyt selvitykseen valitut teknologiat ja ohjausryhmä hyväksynyt käytettävät lähtöoletukset. Selvityksen on toteuttanut riippumaton asiantuntijayhtiö Gaia Consulting Oy.

Copyright © Sitra, Gaia

2 Tarkasteltavat cleantech-teknologiat

Seuraavassa esitellään lyhyesti selvityksessä tarkasteltavien cleantech-teknologioiden ominaispiirteet sekä teknologiakohtaisen tarkastelun laajuus. Teknologiat on jaettu viiteen eri ryhmään niiden käyttötarkoituksen mukaan. Kaikkiaan selvityksessä on tarkasteltu 33 cleantech-teknologiaa, jotka kattavat merkittävimmät energiantuotannon ja -kulutuksen teknologiat sekä energianvarastoinnin teknologiat, energiatuotannon polttoaineet sekä liikenteen energiateknologiat. Osa teknologioista on jaettu selvityksessä eri kokoluokkiin, jolloin tarkasteltujen ratkaisujen kokonaismäärä on yhteensä 43. Huolimatta selvityksen laajasta kattavuudesta myös joitain teknologioita on jäänyt tarkastelun ulkopuolelle.

2.1 Energiantuotanto

1. **Vesivoima, suuri:** Tarkastellaan mahdollisuutta rakentaa uutta teollisen kokoluokan vesivoimaa sekä rakennettujen että rakentamattomien, mutta suojelemattomien vesistöjen osalta. Olemassa olevien voimalaitosten osalta otetaan huomioon mm. tehonkorotukset, mahdollisuus nostaa pudotuskorkeutta ja tehostaa tulvasääntelyä. Pienvesivoima on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.
2. **Pientuulivoima:** Kuluttajien omille kiinteistöilleen rakentama pienikokoiset tuulivoimalat, joiden tuotolla on mahdollista korvata osa sähköyhtiöltä ostettavasta sähköstä. Laskennassa myös huomioidaan kuluttajien mahdollisuus myydä käyttämättä jäävä sähkö takaisin verkkoon.
3. **Maatuulivoima, suuri:** Teollisen mittaluokan tuulivoimalat, joiden nimellinen tuotantoteho on tyypillisesti 2,5-3 MW. Huipunkäyttöaika noin 3 000 tuntia.
4. **Merituulivoima, suuri:** Merelle (*off-shore*) rakennettavat tuulivoimalat, joiden nimellinen tuotantoteho on tyypillisesti noin 4 MW. Meriolosuhteiden vuoksi huipunkäyttöaika on noin 3 500 tuntia, mikä on selkeästi korkeampi kuin maalle rakennettavilla tuulivoimalaitoksilla.
5. **Aurinkosähkö, pieni:** Tarkastellaan kuluttajien omille kiinteistöilleen, tyypillisesti rakennusten katoille, asentamia aurinkopaneeleita, joiden tuotannolla on mahdollista korvata osa sähköyhtiöiltä ostettavasta sähköstä. Laskennassa huomioidaan kuluttajien mahdollisuus myydä käyttämättä jäävä sähkö takaisin verkkoon. Hintataso kuvaa yleisimmin käytettyä kiteiseen piihin perustuvaa paneeliteknologiaa.
6. **Aurinkosähkö, keskikokoinen:** Tarkastellaan yritysten (esim. kauppakeskukset) ja pienten teollisuuslaitosten kiinteistöilleen, tyypillisesti rakennusten katoille, asentamia aurinkopaneeleita, joiden tuotannolla on mahdollista korvata osa sähköyhtiöiltä ostettavasta sähköstä. Laskennassa myös huomioidaan kuluttajien mahdollisuus myydä käyttämättä jäävä sähkö takaisin verkkoon. Hintataso kuvaa yleisimmin käytettyä kiteiseen piihin perustuvaa paneeliteknologiaa.

Copyright © Sitra, Gaia

7. **Aurinkosähkö, suuri:** Teollisen kokoluokan, 1 MW tai suurempi, aurinkovoimalaitos, joka perustuu maahan asennettaviin aurinkopaneelikenttiin. Hintataso kuvaa yleisimmin käytettyä kiteiseen piihin perustuvaa paneeliteknologiaa.
8. **Aurinkolämpö, pieni ja keskikokoinen:** Tarkastellaan kuluttajien omille kiinteistöilleen, tyypillisesti rakennusten katoille, asentamia aurinkolämpökeräimiä.
9. **Aurinkolämpö, suuri:** Keskitetty aurinkolämpökeräinjärjestelmä, joka on kytketty suoraan kaukolämpöverkon menolinjaan. Lämmöntuotanto riippuu sekä keräinalasta että järjestelmän sijainnista. Esimerkiksi Helsingin korkeudella yhden hehtaarin (10 000 m^2) keräinala tuottaa noin 4 000 MWh vuodessa[1].
10. **Biomassakattilat, pieni:** Tarkastellaan kiinteää biomassaa, tyypillisesti puuta tai pellettejä, käyttäviä kiinteistökohtaisia lämmityskattiloita.
11. **Biomassakattilat keskikokoinen:** Tarkastellaan kaukolämpöverkkoon liitettyjä pienikokoisia *lämpölaitoksia*, joiden tuotantoteho on tyypillisesti 0,5-5 MW, jotka käyttävät polttoaineena pääosin metsähaketta.
12. **Biomassakattilat, suuri:** Tarkastelun kohteena ovat vastapaineperiaatteella toimivat kaukolämmön ja sähkön *yhteistuotantolaitokset (CHP)*, jotka käyttävät polttoaineenaan tyypillisesti metsähaketta.
13. **Biokaasupolttokennot, pieni:** Tarkastellaan polttokennoteknologiaan perustuvaa pien-CHP-järjestelmää, joka tuottaa sekä sähköä että lämpöä kuluttajan omalla kiinteistöllä. Laskennassa myös huomioidaan kuluttajien mahdollisuus myydä käyttämättä jäävä sähkö takaisin verkkoon.
14. **Biokaasupolttokennot, keskikokoinen:** Tarkastellaan polttokennoteknologiaan perustuvaa pien-CHP-järjestelmää, jonka sähköteho ylittää biokaasulla tuotetun sähkön syöttötariffin vaatiman minimirajan. Näin ollen tuottaja hyötyy eniten myymällä kaiken sähkön suoraan verkkoon. Tuottajan oletetaan olevan lämpöä käyttävä teollisuus- tai maatalouslaitos, jolloin järjestelmän kokonaishyötysuhde nousee niin, että tuottaja on oikeutettu biokaasun syöttötariffin lämpöpreemioon.
15. **Biokaasumoottorit, keskikokoinen:** Tarkastellaan kaasumoottoreita, joilla tuotetaan biokaasusta sähköä ja lämpöä siten, että lämpö käytetään tuottajan (tyypillisesti lämpöä tarvitseva teollisuus tai maatalous) omalla kiinteistöllä. Sähköntuotantoteho ylittää biokaasun syöttötariffin minimirajan. Tarkastelussa oletetaan myös lämmön hyötykäyttö, jolloin tuottaja on oikeutettu myös syöttötariffin lämpöpreemioon.

[1] Pöyry (2013), Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa, TEM raportteja 28/2013.

Copyright © Sitra, Gaia

16. **Biokaasumoottorit, suuri:** Tarkastellaan yhdestä tai useammasta suuren kokoluokan kaasumoottorista rakennettuja bio-CHP-laitoksia, joilla tuotetaan sähköä tukkumarkkinoille ja lämpöä kaukolämpöverkkoon.
17. **Teolliset lämpöpumput:** Tarkastellaan suuren kokoluokan (10–20 MW) lämpöpumppuja, joilla tuotetaan kaukolämpöä.
18. **Geoterminen lämpö:** Geoterminen lämpö tuotetaan poraamalla maahan kaksi reikää useiden kilometrien[2] syvyyteen. Toisesta reiästä maahan pumpattava neste kuumenee maan sisällä ja nousee toista reikää pitkin ylös hyödynnettäväksi kaukolämpönä.

2.2 Energiantuotannon polttoaineet

1. **Biohiilen tuotanto:** Biohiilellä tarkoitetaan lämpökäsiteltyä biomassaa, jolla voidaan korvata suoraan tai ainakin osittain kivihiiltä. Biohiilen keskeinen etu verrattuna muihin kiinteisiin biopolttoaineisiin on sen suurempi energiatiheys ja lämpöarvo sekä mahdollisuus käsitellä sitä voimalaitoksilla samoilla polttoaineen syöttöjärjestelmillä kuin kivihiiltä. Biohiilen tyypillisimmät valmistusmenetelmät ovat kuumentaminen hapettomassa tilassa (*torrefiointi*) tai käsittely höyryllä (*höyryräjäytys*). Tässä selvityksessä oletetaan, että biohiili on valmistettu puubiomassasta.
2. **Pyrolyysiöljyn tuotanto:** Energiantuotannon polttoaineeksi parhaiten soveltuu ns. nopealla pyrolyysillä (*fast pyrolysis*) tuotettu pyrolyysiöljy. Siinä biomassan lämmitys 400–500 ^{0}C lämpötilaan tapahtuu alle sekunnissa. Tällöin päätuote on bioöljy, jota syntyy 50–80 % lopputuotteiden massasta. Nopealla pyrolyysillä valmistettua bioöljyä voidaan käyttää fossiilisen polttoöljyn korvikkeena (ottaen kuitenkin huomioon pyrolyysiöljyn korrosoivuus ja heikko säilyvyys).
3. **Biometaanin tuotanto:** Biometaania voidaan tuottaa joko mädättämällä tai kaasuttamalla. Raaka-aineena voidaan käyttää monia erityyppisiä biomassoja, joista mädätys soveltuu parhaiten nopeasti hajoavalle biomassalle (biojäte, lietteet, peltobiomassa) ja kaasutusta voidaan käyttää hitaasti hajoaviin biomassoihin (esim. puubiomassa). Tässä tarkastelussa on keskitytty näistä teknologioista mädättämiseen. Mädätyksessä käytettyjen raaka-aineiden kosteuspitoisuus on tyypillisesti hyvin korkea, mikä nostaa kuljetuskustannuksia ja siksi mädätys on usein toteutettava paikallisissa biokaasulaitoksissa.

[2] Teknologia on vielä kokeiluasteella, mutta porausreikien syvyydeksi on arvioitu 6-8 km.

Copyright © Sitra, Gaia

2.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

1. **Maalämpöpumput:** Tarkastellaan olemassa oleviin rakennuksiin asennettavia maalämpöjärjestelmiä, jotka korvaavat pääosin fossiilisilla polttoaineilla tuotettua lämpöä. Tarkasteltavat rakennustyypit ovat erillispientalot, rivitalot, asuinkerrostalot sekä liike, toimisto- ja varastorakennukset.
2. **Ilma-ilmalämpöpumput**: Tarkastellaan olemassa oleviin rakennuksiin asennettavia ilma-ilmalämpöpumppuja, jotka vähentävät pääosin suoran sähkölämmityksen tarvetta. Tarkasteltavat rakennustyypit ovat erillispientalot ja rivitalot.
3. **Ilma-vesilämpöpumput**: Tarkastellaan olemassa oleviin rakennuksiin asennettavia ilma-vesilämpöpumppuja, jotka vähentävät pääosin fossiilisilla polttoaineilla tuotetun lämmön tarvetta. Tarkasteltavat rakennustyypit ovat erillispientalot ja rivitalot sekä liike, toimisto- ja varastorakennukset.
4. **Poistoilmalämpöpumput**: Tarkastellaan olemassa oleviin rakennuksiin asennettavia poistoilmalämpöpumppuja, jotka vähentävät pääosin fossiilisilla polttoaineilla tuotetun lämmön sekä kaukolämmön tarvetta. Tarkasteltavat rakennustyypit ovat erillispientalot, rivitalot, asuinkerrostalot sekä liike, toimisto- ja varastorakennukset.
5. **LED-lamput**: Tarkastellaan LED-lamppujen asentamista kotitalouksissa, palvelu- ja toimistorakennuksissa sekä katu- ja tievalaistuksessa olemassa olevissa kohteissa. Kotitalouksissa korvataan pääosin energiansäästölamppuja, hehkulamppuja ja halogeenilamppuja, palvelu- ja toimistorakennuksissa loisteputkilamppuja ja ulkovalaistuksessa elohopeahöyry- ja suurpainenatriumlamppuja.
6. **Lämmön talteenotto**: Tarkastellaan ilmanvaihdon lämmön talteenottolaitteiston (LTO) asentamista uusiin erillispientaloihin, asuinkerrostaloihin sekä toimisto-, palvelu- ja teollisuusrakennuksiin. LTO vähentää pääosin maalämmön ja kaukolämmön tarvetta uudisrakennuskannassa. Asennukset olemassa oleviin rakennuksiin on rajattu tarkastelun ulkopuolelle[3]. Myös lämmön talteenotto kiinteistöjen harmaavesistä ja raskaan teollisuuden ylijäämäpotentiaali on rajattu tarkastelun ulkopuolelle
7. **Energiatehokas korjausrakentaminen**: Tarkastellaan korjausrakentamisen yhteydessä tehtävää rakennuksen vaipan lisäeristämistä ja ikkunoiden vaihtoa ennen vuotta 1990 valmistuneessa asuinrakennuskannassa. Energiansäästötoimet on oletettu toteutettavan samassa yhteydessä muun korjaamisen kanssa, jolloin vain osa kokonaiskustannuksista on allokoitu energiansäästölle.

[3] Olemassa olevassa kannassa investointikustannukset ja energiansäästö ovat hyvin tapauskohtaisia. Potentiaalia on kuitenkin myös olemassa olevissa teollisuusrakennuksissa ja kerrostaloissa, joissa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä.

Copyright © Sitra, Gaia

8. **Sähköenergian kulutusjousto**: Tarkastellaan sähkön kulutusjoustomahdollisuuksia kotitalouksissa, pk-sektorilla (kauppakiinteistöt ym.) ja raskaassa teollisuudessa. Kulutusjousto ei tässä tarkastelussa vähennä energiankulutusta, mutta siirtää energian käyttöä huipputunneilta ajankohtiin, joissa sähkönhinta ovat alhaisemmat kuin huipputuntien aikana. Selvityksessä oletetaan, että myös tuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat alhaisemmat alhaisen sähkön hinnan aikana kuin korkeamman sähkön hinnan aikana. Lämmön kulutusjouston osalta ei ole tässä selvityksessä tehty laskelmia.
9. **Taajuusmuuttajat**: Taajuusmuuttajilla voidaan vähentää merkittävästi mm. sähkömoottoreiden ja pumppujen energiankulutusta. Taajuusmuuttajia on käytössä monissa kokoluokissa aina teollisuussovelluksista kotitalouden laitteisiin. Näiden osalta selvityksessä ei ole laskettu vaikutuksia, sillä etenkin investointikustannukset ja energiansäästöpotentiaali ovat hyvin tapauskohtaisia.

2.4 Energian varastointi

1. **Pumppuvoimalaitokset**: Pumppuvoimalaitoksissa vettä pumpataan voimalaitoksen yläpuolella oleviin altaisiin silloin, kun sähkön arvo on alhainen. Varasto puretaan, eli vesi ajetaan altaista turbiinien läpi, kun sähkö on arvokkaampaa. Suomessa potentiaalisia kohteita pumppuvoimalaitosten perustamiseen on rajallisesti, mutta näitä on suunniteltu ainakin Pyhäsalmelle ja Enontekiöön.
2. **Sähköakut kotitalouksissa**: Tarkastellaan litium-ioniakustoa, joka sisällytetään sähköverkkoon liitettyyn aurinkosähköjärjestelmään. Akkua käytetään varastoimaan aurinkosähkön tuotantoa, jolle ei tuotannon hetkellä ole tarvetta. Akusta puretaan sähköä silloin, kun aurinko ei paista ja sähkölle on tarvetta.
3. **Energiayhtiöiden käyttämät suuren kokoluokan sähköakut**: Tarkastellaan sähköjärjestelmään liitettyä litium-ioniakustoa, jota ladataan kun sähkön arvo on alhainen ja puretaan silloin, kun sähkön arvo markkinalla on korkeampi. Tarkastelussa otetaan huomioon ainoastaan hyöty, joka syntyy markkinasähkön hintojen vaihtelusta. Akusta on tämän lisäksi hyötyä sähköverkon tasapainottamisessa.
4. **Power to gas**: Teknologia perustuu sähkön varastointiin polttoaineena – tässä tapauksessa metaanina. Tarkastelussa edullista sähköä käytetään muuttamaan vettä sähkövirralla vedyksi (elektrolyysi), jonka jälkeen vetyyn lisätään hiilidioksidia, jolloin syntyy metaania. Tuotettua metaania voidaan myöhemmin käyttää useissa käyttökohteissa. Tässä tarkastelussa metaani oletetaan myytävän markkinahintaan ja korvaavan kaasuverkossa fossiilista maakaasua.
5. **Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä**: Tarkastellaan suuria vesivarastoja kaukolämpöjärjestelmässä. Lämmön varastoinnin avulla voidaan vähentää kallista, usein fossiilisiin polttoaineisiin tukeutuvaa, huipputehon tuotantoa sekä parantaa lämmön yhteistuotannon käyttöastetta. Vesivarastot voidaan rakentaa maan pinnalle tai maan alle tai lämmön varastoinnissa voidaan hyödyntää esimerkiksi kallioluolia.

Copyright © Sitra, Gaia

Lämmön varastointi on tavallista myös suuren kokoluokan aurinkolämpöjärjestelmissä, joissa niitä käytetään tasaamaan tuotannon vaihteluja.

6. **Faasimuutosmateriaalit:** Faasimuutosmateriaalien (PCM = phase change material) käyttö lämmön varastoinnissa perustuu siihen, että aineen olomuodon muuttuessa sitoutuu/vapautuu lämpöä. Faasimuutosaineet toimivat matalissa lämpötiloissa tasaten rakennusten sisälämpötiloja eli leikkaavat muutoin jäähdytystä vaativat huippulämpötilat pois (kesällä) ja toisaalta vapauttavat lämpöä iltaisin ja öisin, jolloin yöaikainen lämmitystarve vähenee (keväällä ja syksyllä).

2.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat

Liikenteen energiankäytön ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen osalta tarkastellaan seuraavia teknologioita:

1. **Bioetanolin tuotantoteknologiat:** Bioetanolia jalostetaan biojätteestä[4], peltobiomassasta (energiavilja)[5] ja sahanpurusta[6]. Etanolilla korvataan fossiilisen bensiinin käyttöä: fossiiliseen bensiiniin sekoitetaan 10 % etanolia, jolloin tuotteena on E10-bensiini. Tässä selvityksessä keskitytään tarkastelemaan Suomessa tuotettua bioetanolia, jolla korvataan etanolin tuontia.
2. **Biodieselin tuotantoteknologiat:** Biodieseliä jalostetaan Suomessa jätteiden ja kasvien rasvahapoista[7] sekä mäntyöljystä[8] vetykäsittelymenetelmällä. Vuonna 2020 biodieseliä jalostetaan mahdollisesti myös pyrolyysiöljystä[9]. Biodieselillä korvataan fossiilisen dieselin käyttöä.
3. **Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat:** Biokaasua tuotetaan Suomessa nykyisin mädättämällä biojätteitä anaerobisesti sekä keräämällä talteen kaatopaikkakaasuja. Biokaasua käytetään nykyisin Suomessa pääasiassa sähkön ja lämmön tuotantoon. Jatkojalostettuna biokaasua käytetään myös liikenteen polttoaineena. Kotimaisen biokaasun tuotantopotentiaali on liikennepolttoainekaasun tarvetta selvästi suurempi, koska kaasuautokanta on vielä pieni. Tarkastelussa onkin oletettu, että kaasuautoilla korvataan Suomessa polttomoottoriautoja (bensiini ja diesel).

[4] Suomessa St1
[5] Suomessa St1, Envor, Chempolis
[6] Suomessa St1
[7] Suomessa Neste Oil (NEXBTL), ulkomailla ei vastaavaa. Jäterasvaraaka-aineesta 90 % on oletettu kotimaiseksi vuonna 2020 ja 100 % vuonna 2030. Kasviöljyraaka-aine on kokonaan ulkomaista.
[8] Suomessa UPM (BioVerno), ulkomailla SunPine/Preem. Puolet raaka-aineesta on oletettu kotimaiseksi.
[9] Suomessa Fortum, GreenFuelNordic (ainoastaan polttokattiloihin soveltuvaa pyrolyysiöljyä); ulkomailla BTG-BTL. Pyrolyysiöljyn jatkojalostamiselle dieseliksi on kaksi vaihtoehtoista teknologiaa: todennäköisemmin jatkojalostus tapahtuu Suomessa FCC-menetelmällä (krakkaus katalyyttien avulla). Toinen vaihtoehto, yhteistuotanto fossiilisen dieselin kanssa, vaatisi toisenlaista öljynjalostamotekniikka kuin Suomesta löytyy.

Copyright © Sitra, Gaia

4. **Vedyn tuotanto:** Vetypolttoainetta tuotetaan vesielektrolyysilaitoksissa[10]. Vetyautot korvaavat polttomoottoriautojen käyttöä (bensiini ja diesel)[11].
5. **Vetyautojen tankkausteknologia:** Suomeen rakennetaan tankkausasemia vetyautoille. Vetypolttoaine tuotetaan paikallisesti vesielektrolyysilaitoksissa tai puhdistetaan teollisuuslaitosten sivutuotevedystä[12]. Tarkastelussa on laskettu vaikutukset niiden kautta tankatulle vedylle, joka korvaa fossiilisten polttoaineiden (bensiini ja diesel) käyttöä.
6. **Sähköautojen lataustekniikka:** Suomeen rakennetaan kattava autojen sähkölatausverkosto, joka koostuu kotilatauksesta sekä julkisesta latauksesta (normaali lataus ja teholataus)[13]. Sähköautot korvaavat fossiilisia polttoaineita (bensiini ja diesel) käyttäviä polttomoottoriautoja.
7. **Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat:** Polttoaineen kulutusta voidaan vähentää kehittämällä moottorien polttoteknologiaa, keventämällä ajoneuvojen materiaaleja sekä parantamalla aerodynamiikkaa. Tässä tarkastelussa on keskitetty polttoaineenkulutuksen vähentämiseen dual-fuel-moottoreilla ja RCCI-teknologialla[14].
8. **Liikenteen energiankulutusta vähentävät ohjausjärjestelmät:** Liikenteen energiankulutusta vähennetään erilaisilla älykkäillä ratkaisuilla kuten ajantasaisen liikenteen seurannan, tiedotuksen ja ohjauksen avulla, navigointisovelluksilla ja joukkoliikenteen ajantasaisilla aikataulu- ja reittioppailla. Myös dynaamisella hinnoittelulla (ruuhkamaksut ja joukkoliikenneliput) voidaan ohjata liikkumista. Koska järjestelmiä on paljon erilaisia ja näiden yhteisvaikutuksia on hankala mallintaa tarkasti, keskitytään tässä selvityksessä tarkastelemaan yhtä esimerkkiä eli Mobility as a Service (MaaS) -palvelua[15]. MaaS-palvelu yhdistää eri joukkoliikennepalvelut sekä taksipalvelun yhden mobiilisovelluksen kautta tavoitettaviksi. Käyttäjä maksaa kuukausihintaa valitsemastaan palvelutasosta (mm. vasteaika tilaukselle ja maksimi-

[10] Muita vedyn tuotantotapoja (mm. maakaasun reformointi) ei ole tarkasteltu tässä selvityksessä, koska teollisuuden sivutuotevedyn on arvioitu jo yksinään riittävän kattamaan lähes koko vetypolttoainetarpeen liikennekäytössä 2030 asti (Woikoski Oy, 2015).
[11] Tässä tarkastelussa on huomioitu vain vesielektrolyysilaitoksissa tuotettu vety, koska sivutuotevetyyn liittyviä investointikustannuksia ei saatu tietoon (liiketoimintasalaisuus). Vetytankkausteknologian (seuraava teknologia) on kuitenkin huomioitu myös sivutuotevety.
[12] Paikallisen tuotannon vaihtoehtoina olisi vedyn kuljetus rekalla nesteenä tai kaasumaisena pullokonteissa. Myös kaasun putkikuljetus on mahdollista, mutta vielä harvoin käytössä. (VTT (2013), Vetytiekartta)
[13] Gaia Consulting Oy (2015), Sähköisen liikenteen dynaamiset vaikutukset (Teknologiateollisuus ry:n tilaama selvitys).
[14] Reactivity Controlled Compression Ignition
[15] Maailman ensimmäinen MaaS-operaattori perustettiin Suomeen helmikuussa 2015. Lisätietoa: http://www.its-finland.fi/index.php/fi/uutiset/92-digitalisation-to-enable-more-freedom-of-choice-in-traffic.html (viitattu 5.3.2015).

Copyright © Sitra, Gaia

kilometrit eri kulkutavoilla). Palvelu yhdistää eri liikennemuodoista sopivimman yhdistelmän käyttäjän liikkumistarpeeseen.[16]

3 Teknologiakohtaiset kehityspolut

Selvityksessä tarkastellaan kunkin teknologian osalta kolmea eri teknologiakohtaista kehityspolkua, joita kutsutaan tässä tutkimuksessa jäljempänä skenaarioiksi. Skenaarioiden muodostamisessa on otettu huomioon teknologian kypsyys raportin kirjoittamishetkellä sekä arvio kehityksestä vuosiin 2020 ja 2030 mennessä. Taloudelliset ohjauskeinot (suorat tuet ja verot) on oletettu säilyvän nykyisellään vuoteen 2030 asti.

Skenaarioiden väliset erot liittyvät teknologioiden käyttöönoton nopeuteen, kustannuskehitykseen sekä muihin parametreihin, joilla on vaikutusta teknologian kilpailukykyyn. Skenaario-oletuksia on avattu teknologiakohtaisesti erillisessä taulukkoliitteessä (liite 2). Tarkasteltavat skenaariot ovat:

Sininen skenaario: Nykyisin olemassa olevia suunnitelmia tavoitteellisempi kehityspolku realististen toteuttamismahdollisuuksien puitteissa.

Keltainen skenaario: Sinistä skenaariota optimistisempi arvio, joka perustuu siihen, että teknologia kehittyy ja cleantech-markkina kasvaa odotettua nopeammin.

Harmaa skenaario: Sinistä skenaariota pessimistisempi arvio, jossa oletetaan, että olemassa olevat suunnitelmat eivät toteudu eikä teknologia kehity arvioitua vauhtia.

Skenaarioiden tavoitteena on haarukoida yksittäisen teknologioiden aikaansaamien vaikutuksien vaihteluväliä eri tulevaisuudenkuvissa. Minkään teknologiakohtaisen skenaarion tavoitteena ei ole olla ennuste tulevasta kehityksestä eikä niillä kuvata raportin kirjoittajien tai ohjausryhmän näkemyksiä. Kunkin teknologian osalta kehitysvauhtiin vaikuttavat mm. teknologiaan käytetyt t&k-panokset, kilpailevien teknologioiden ja kotimarkkinan kehittyminen, taloudelliset, säätelyyn perustuvat ja rakenteelliset ohjauskeinot sekä laajemminkin energiamarkkinoiden ja yhteiskunnan kehitystrendit. Skenaariot ovat teknologiakohtaisia eikä niissä ole huomioitu teknologioiden välisiä riippuvuuksia, minkä vuoksi eri teknologioiden vaikutuksia ei voi suoraan summata toisiinsa.

[16] Jakamistalouteen perustuvia liikkumispalveluita on perustettu jo aiemminkin, Suomessa mm. City Car Club. Nämä eivät vielä ole kuitenkaan saavuttaneet merkittävää osuutta liikkumismarkkinasta. Tässä tarkastelussa kaikki jakamiseen perustuvat liikkumispalvelut on niputettu saman MaaS-sateenvarjon alle.

Copyright © Sitra, Gaia

4 Laskentamenetelmän kuvaus

4.1 Laskentamenetelmä

Selvityksessä on arvioitu eri teknologioiden liiketoimintaketjujen materiaali- ja energiavirtoja sekä näiden käsittelyyn tarvittavien prosessien ja investointien synnyttämiä kassavirtoja Gaian kehittämän laskentamallin avulla[17]. Kassavirtojen pohjalta arvioidaan eri teknologioiden taloudellisia vaikutuksia kansantalouteen sekä yksityiselle sektorille. Lisäksi tarkastellaan vaikutuksia työpaikkoihin ja hiilidioksidipäästöihin.

Laskentamallia käytetään tässä selvityksessä eri raaka-aine- ja teknologiavaihtoehtojen keskinäiseen vertailuun. Tuloksena syntyy arvio eri teknologiavaihtoehtojen vaikutuksista kestävän kehityksen eri elementtien (talousvaikutukset, sosiaaliset vaikutukset ja ympäristövaikutukset) kannalta.

Tässä selvityksessä käytetty malli laajentaa perinteisen kannattavuustarkastelun koskemaan kokonaisia liiketoimintaketjuja. Teknologiakohtaisten liiketoimintaketjujen kokonaisvaikutus selvitetään raaka-aineiden, energiankäytön, tuotantoprosessien ja logistiikan sekä tarvittaessa uusinvestointien ja teknologian valmistuksen kannalta.

Analyysin ulottaminen koko liiketoimintaketjuun on erityisen tärkeää uusien cleantech-teknologioiden osalta. Arvoketjun yksittäinen kannattamaton vaihe voi estää mahdollisesti paljon suuremmat kansantaloudelliset, sosiaaliset ja ympäristöhyödyt, jotka syntyisivät kokonaisen arvoketjun toiminnasta.

Tuotantoprosessien ja teknologian mallintaminen on tehty perustuen saatavilla olevaan tietoon liiketoimintaketjun eri vaiheissa käytettävien tuotantoteknologioiden pääoma- ja käyttökuluista, työllistävyydestä sekä tarvittavista raaka-ainekuluista sekä lopputuotteiden myyntituloista.

Liiketoimintaketjujen toiminta muunnetaan talouden, ympäristön ja sosiaalisten vaikutusten tunnusluvuiksi ja näistä johdetaan vaikutukset alue- ja kansantalouteen. Tarkastelu tapahtuu ns. tasepohjaisesti eli mallinnettujen liiketoiminta-ketjujen muodostamaan systeemiin sisään tulevat, systeemin sisällä eri toimijoille jakaantuvat ja systeemistä ulosmenevät kassavirrat täsmäävät. Näin ollen mallilla voidaan tarkastella, kuinka kassavirrat ohjautuvat uudelleen systeemissä tapahtuneen muutoksen (esim. investointi) jälkeen.

Talousvaikutukset on eritelty eri toimijoille tulevien kassavirtojen mukaisesti. Analyysin kohteena olevan systeemimuutoksen (toimenpide tai investointi) suorittaja saa mahdollisesti kassavirtoja investoinnin tuotosta ja toisaalta maksaa kassavirtoja työntekijöille, investoin-

[17] Mallin laskentalogiikka ja perusteet on raportoitu: Gaia Consulting Oy (2014), Energiainvestointien alue- ja kansantaloudellinen kannattavuus, 2. uudistettu painos, Sitran selvityksiä 73.

Copyright © Sitra, Gaia

nissa tarvittavien laitteiden toimittajille, raaka-aineiden tai energiantoimittajille sekä muille arvoketjun palveluntarjoajille. Liiketoiminnan tuloksesta maksetaan veroja sekä kunnille (kuntien osuus yhteisöverosta) että valtiolle (osuus yhteisöverosta sekä muut mahdolliset verot, kuten arvonlisävero, valmisteverot ja yrityksen omistajien maksama pääomatulovero). Vastaavasti myös palkansaajille tulevaa kassavirtaa tarkastellaan nettokassavirtana kunnallisveron ja valtion tuloveron jälkeen. Vaikutuksia kansantalouden tasolla seurataan laskemalla, kuinka suuri osa arvoketjussa tarvittavasta energiasta, raaka-aineista ja laitteistoista tulee ulkomailta. Mikäli teknologiaan investoiva yritys tekee investoinnin seurauksena tappiota, ei negatiivisista yhteisöveroista tai pääomatuloveroista oleteta laskennassa syntyvän verohyötyä (vähennyksiä) yrityksen muussa toiminnassa.

Tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että laskennassa huomioidaan vain suorat vaikutukset eikä tarkastelussa oteta huomioon kerrannaisvaikutuksia, jotka syntyvät kotitalouksien ja yritysten käytettävissä olevan rahamäärän lisääntymisestä. Kuluttajille ja palkansaajille tuleva kassavirta on siis palkkoina tai kustannussäästöinä tuleva hyöty eikä mallissa ole otettu kantaa siihen, kuinka tämä rahamäärä kulutetaan ja mitkä olisivat tämän kulutuksen tuomat mahdolliset lisähyödyt tai muut vaikutukset. Samoin työllisyysvaikutusten osalta on tarkasteltu vain arvoketjun suoraa työllistävää vaikutusta eikä siinä ole huomioitu välillistä työllistävyyttä eikä esimerkiksi uuden teknologian t&k-toiminnan vaatimia työpanoksia.

Laskentamallilla arvioidaan vaikutuksia tilanteessa, jossa tarvittavat investoinnit tapahtuisivat yhden yön yli. Vastaavasti myös oletetaan, että investoinnin tarvitsema kunnossapito ja muut vaikutukset näkyvät välittömästi. Kaikki laskennan tuloksena esitettävät vaikutukset kuvaavat *muutosta* nykytilanteeseen.

Tässä selvityksessä kutakin teknologiaa on tarkasteltu omana kokonaisuutenaan, eikä ole otettu kantaa teknologioiden keskinäisiin riippuvuuksiin tai ristiinvaikutuksiin. Näin eri teknologioita voidaan verrata keskenään eri näkökulmista ja arvioida yksittäisten teknologioiden vaikutuksia ja potentiaalia. Selvityksessä ei ole näin ollen tehty energiajärjestelmän kokonaisuuden optimointia.

Todettakoon, että tässä selvityksessä on käyty läpi huomattava määrä eri teknologioita eikä yksittäisen teknologian kaikkia vaikutuksia ole selvityksen resurssien puitteissa ollut mahdollista sisällyttää tarkasteluun.

4.2 Laskentaparametrit ja lähtöoletukset

Selvityksessä on tehty lukuisa joukko sekä yleisiä että teknologiakohtaisia oletuksia, joita on käsitelty hankkeen ohjausryhmässä. Tiedonkeruussa on hyödynnetty laajasti olemassa olevia tutkimuksia ja asiantuntija-arvioita, joita on kerätty sekä hankkeen aikana toteutetussa työpajassa että erillisin haastatteluin. Kaikki keskeiset laskentaparametrit on koottu erilliseen taulukkoliitteeseen (liite 2). Lisäksi tärkeimmät teknologiakohtaiset laskentaoletukset ja -rajaukset on esitetty teknologiakohtaisesti luvussa 5.

Lähtöoletusten ja laskentaparametrien avoimella julkistamisella on pyritty siihen, että laskelmat ovat mahdollisimman läpinäkyviä ja niistä voidaan keskustella avoimesti. Etenkin

Copyright © Sitra, Gaia

uusien teknologioiden kehitykseen liittyy epävarmuuksia. Tämän vuoksi uusien teknologioiden osalta esitettyjä tuloksia on pidettävä suuntaa-antavina.

Yleisten laskentaparametrien (hinnat, verokannat, taloudelliset ohjauskeinot[18], palkat jne.) osalta selvityksessä on lähdetty nykytilasta, ja on oletettu, että nämä säilyvät reaalisesti samoina koko tarkastelujakson ajan aina vuoteen 2030 asti. Tällä tavalla on pyritty eliminoimaan se, että olisi tehty joitain teknologioita suosivia oletuksia tulevaisuuden toimintaympäristön muutoksista. Työn aikana tehdyt herkkyyslaskelmat kuitenkin osoittivat, että yleisten lähtötietojen kohtuullisilla muutoksilla ei ole sellaisia vaikutuksia, että ne muuttaisivat merkittävästi tässä selvityksessä raportoitua isoa kuvaa tai teknologioiden välisiä eroja päästö-, työllisyys- tai vaihtotasevaikutusten näkökulmasta.

Laskennassa sähkön kulutuksen tai tuotannon muutoksien aiheuttama vaihtotasevaikutus riippuu Suomessa kulutetun sähkön kotimaisuusasteesta (keskimääräinen kotimaisuusaste oli vuosina 2008–2012 noin 84 %). Tällöin mikäli sähkön tarve vähenee esimerkiksi 1 TWh, niin tuonti vähenee 1 TWh * (1-0,84) = 0,16 TWh. Sama pätee lisääntyvään sähköntarpeeseen, ts. lisääntyvä sähköntarve katetaan osittain tuontisähköllä. Samalla logiikalla lisääntyvä kotimainen sähköntuotanto korvaa tuontia vain osittain.

[18] Laskennassa on oletettu eri teknologioille nykyisen kaltaiset tuet (v. 2015) koko tarkastelujakson ajan. Todellisuudessa valtion taloustilanne ja teknologioiden kehittyminen ja tuen tarve vaikuttavat merkittävästi tukitasoihin tulevaisuudessa. Näitä ei ole kuitenkaan lähdetty arvioimaan tämän hankkeen puitteissa.

Copyright © Sitra, Gaia

5 Cleantech-teknologioiden vaikutukset

Selvityksessä tarkastellaan eri teknologioiden lisääntyvän käyttöönoton synnyttämiä muutoksia hiilidioksidipäästöihin, kotimaan työllisyyteen sekä vaihtotaseeseen. Vaikutukset ja rahavirtojen jakautuminen teknologioiden arvoketjujen eri toimijoiden, energiankäyttäjien ja kuntien välillä on esitetty teknologiakohtaisesti liitteessä 1.

Päästövähenemien osalta lasketut vaikutukset kuvaavat *muutosta* nykytilaan. Muutos riippuu teknologiakohtaisesti siitä, mitä energiamuotoa tarkastellulla energiantuotantoteknologialla, polttoaineella tai energiatehokkuusteknologialla oletetaan korvattavan. Nämä oletukset on kerrottu teknologiakohtaisesti luvuissa 5.1–5.5.

Työllisyysvaikutuksien laskennassa on otettu huomioon muutos kotimaisessa työllisyydessä. Tämä sisältää tarkastelujen teknologioiden arvoverkossa syntyvät uudet työpaikat sekä myös työpaikkojen vähenemisen aloilla, joilla kassavirrat vähenevät (esim. korvattavien polttoaineiden hankintaketju). Työllisyyteen vaikuttaa teknologioiden käyttöönoton lisääntymisen lisäksi myös investointien kotimaisuusaste sekä vientipotentiaali. Kotimaisuusastetta ja vientipotentiaalia on arvioitu teknologiakohtaisesti perustuen tilastoihin, haastatteluihin, olemassa oleviin selvityksiin sekä asiantuntija-arvioihin.

Vaihtotasevaikutuksissa on otettu huomioon energian, polttoaineiden ja teknologian viennin ja tuonnin muutokset sekä päästöoikeuksien tarpeen muutokset.

Vaikutuksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että teknologiat ovat eri kypsyysasteella. Tällöin etenkin kehitysvaiheessa tai varhaiskaupallisessa vaiheessa olevien teknologioiden osalta pidemmän aikavälin vaikutustarkastelun epävarmuus kasvaa. Tämän vuoksi uusien teknologioiden osalta tuloksia on pidettävä suuntaa-antavina arvioina, jotka perustuvat tällä hetkellä saatavilla olevaan tietoon. Kaikki taulukoissa esitetyt kustannukset ja hinnat ovat arvonlisäverottomia.

5.1 Energiantuotanto

5.1.1 Vesivoima, suuri

Suuren mittakaavan vesivoiman tuotantoa on tarkasteltu Kauppa- ja teollisuusministeriön Energiateollisuus ry:llä vuonna 2005 teettämän selvityksen pohjalta, jossa on arvioitu vesivoimatuotannon määrää ja lisäämismahdollisuuksia Suomessa[19].

Suomen vesivoimapotentiaalista osa on rajattu luonnonsuojelun tai rajajokisopimusten takia pois hyödyntämiskelpoisesta potentiaalista. Hyödynnettävissä oleva potentiaali jakaantuu nykyisten voimalaitosten tehonkorotuksiin ja uusien voimalaitosten rakentamiseen. Hyö-

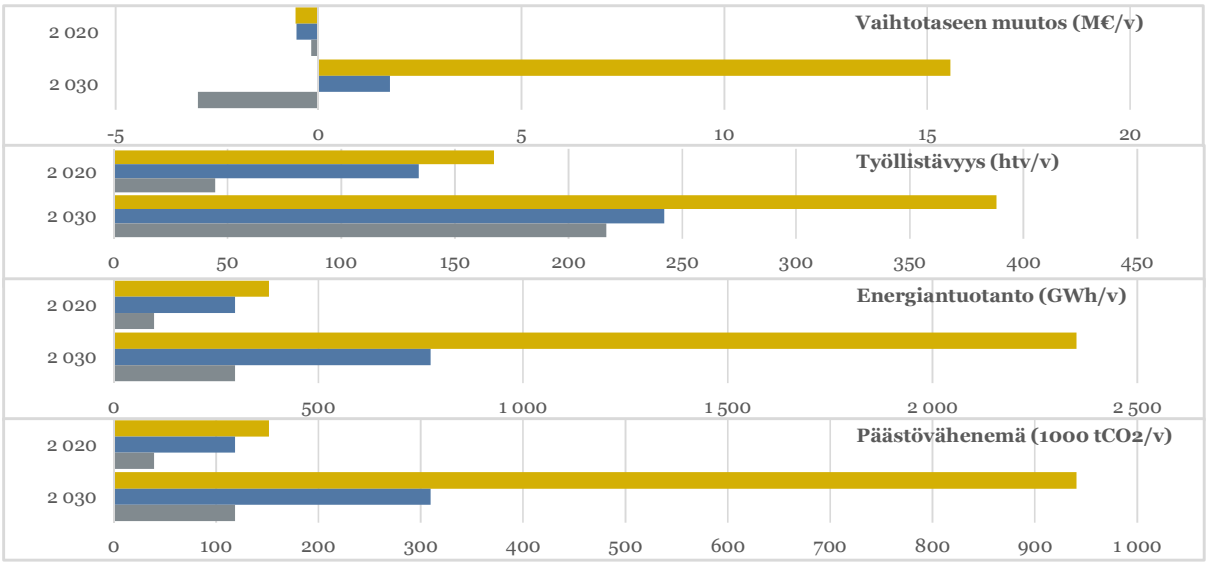
[19] Kauppa- ja teollisuusministeriö (2005), Vesivoimatuotannon määrä ja lisäämismahdollisuudet Suomessa.

Copyright © Sitra, Gaia

dyntämätön ja suojelematon vesivoimapotentiaali on varsin rajattu ja alla keltaisessa skenaariossa onkin oletettu tämän potentiaalin täydellinen käyttöönotto vuoteen 2030 mennessä.

Alla olevassa taulukossa on esitetty laskennan keskeiset rajaukset ja lähtötiedot. Tarkemmin nämä on ilmoitettu erillisessä taulukkoliitteessä (liite 2). Taulukon jälkeen olevassa kuvassa on esitetty teknologian keskeiset vaikutukset muutoksena nykytilaan.

Laskennan rajaukset	Laskennassa on huomioitu rakennettujen vesistöjen osalta tehonkorotusten lisäksi lisäkoneistot, perkaukset, pudotuskorkeuden nostot sekä säännöstelykapasiteetin lisääminen.
Nykytila	Suomen vesivoimakapasiteetti on noin 3 000 MW ja normaalina vesivuotena tuotanto on noin 13 TWh.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Vesivoiman on oletettu korvaavan muuta sähköntuotantoa Suomessa[20] ja sähkön tuontia ulkomailta. Vesivoiman on oletettu toimivan säätövoimana, joten sille on laskennassa annettu 22 €/MWh markkinahintaa korkeampi myyntihinta ja vastaavasti sen syrjäyttämälle markkinasähkölle korkeampi ominaispäästökerroin.
Investointikustannus	Tehonkorotukset on arvioitu huomattavasti edullisemmiksi (1 300 M€/MW) kuin varsinaisen uuden voimalaitoksen rakentaminen (2 500 M€/MW). **Harmaa:** 137 M€ vuoteen 2020 ja 662 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 410 M€ vuoteen 2020 ja 740 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 511 M€ vuoteen 2020 ja 1 186 M€ vuoteen 2030 mennessä



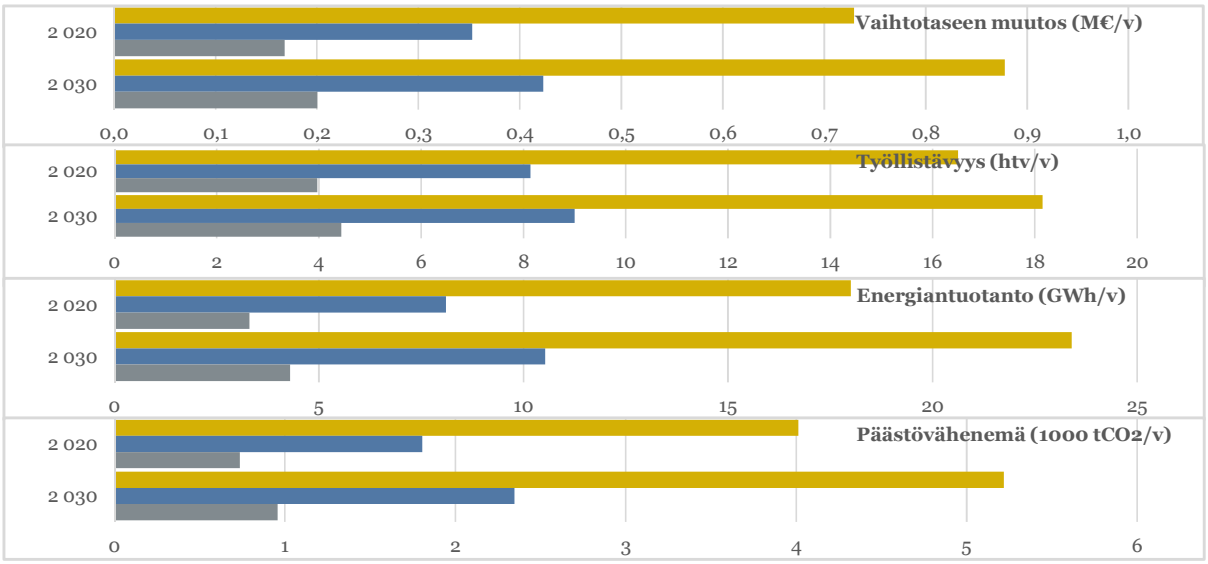
[20] Laskennassa on oletettu sähköntuotannon nykyinen (2014) polttoainejakauma ja tuontisähkön osuus.

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.2 Pientuulivoima

Tuulivoima on tuulen eli ilman virtauksen liike-energian muuntamista tuuliturbiineilla sähköksi. Perinteisesti pientuulivoimaloita on asennettu kohteisiin, jotka ovat sähkönjakelun ulkopuolella, mutta tässä tarkastelussa on tutkittu voimaloita, jotka asennetaan sähköverkkoon liittyneille kiinteistöille. Pientuulivoimalla siis korvataan osa sähköyhtiöltä ostettavasta sähköstä ja vastaavasti käyttämätön sähkö myydään takaisin verkkoon.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että pientuulivoimalla korvataan kuluttajien sähköyhtiöiltä hankkimaa sähköä. Lisäksi laskennassa on oletettu, että vain osa (50 % harmaa, 75 % sininen, 90 % keltainen) tuulivoimalla tuotetusta sähköstä pystytään käyttämään kuluttajan omassa kulutuksessa ja loput on myytävä sähköverkkoon.
Nykytila	Tuulivoiman pientuotanto on nykyään muutamia kokeiluluontoisia poikkeuksia lukuun ottamatta käytössä lähinnä verkkoon kytkemättömien kohteiden sähköntuotannossa.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden pientuulivoimalan tehoksi on oletettu keskimäärin 5 kW ja huipunkäyttöajaksi 1 350 h (sininen skenaario; 1 100 h harmaa ja 1 500 h keltainen). Pientuulivoiman rakentajien on oletettu saavan kotitalousvähennyksen mukaisen tuen investointiin.
Investointikustannus	**Harmaa:** 13 M€ vuoteen 2020 ja 15 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 26 M€ vuoteen 2020 ja 30 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 51 M€ vuoteen 2020 ja 60 M€ vuoteen 2030 mennessä

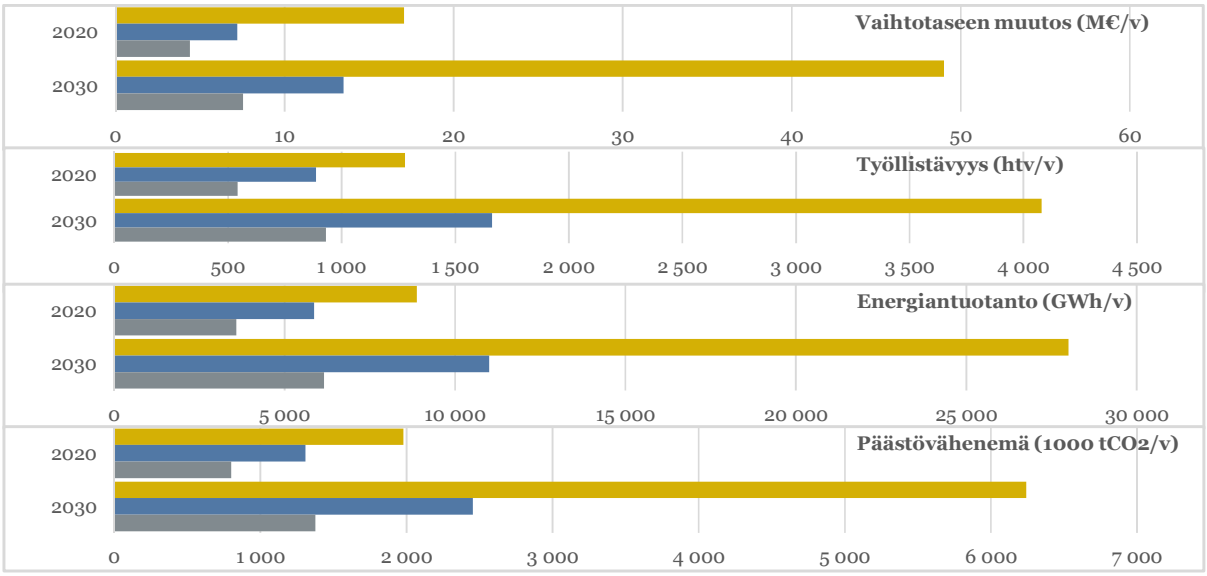


Copyright © Sitra, Gaia

5.1.3 Maatuulivoima, suuri

Tyypillisin tuulivoiman tuotantomuoto on maalle sijoitetut, suuren kokoluokan tuulivoimalat. Tuulivoiman tuotantomäärät vaihtelevat tuulisuuden mukaan. Minimituotannon saavuttamiseksi tarvitaan noin 3-4m/s tuulennopeus ja tyypillisesti voimalat pysäytetään laitteistovikojen välttämiseksi tuulen yltyessä myrskylukemiin 25 m/s.[21]

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että tuulivoimalla korvataan muuta sähköntuotantoa Suomessa sekä sähkön tuontia ulkomailta.
Nykytila	Vuoden 2014 lopussa Suomessa oli Tuulivoimayhdistyksen mukaan 260 teollisen mittaluokan tuulivoimalaa, joiden yhteenlaskettu kapasiteetti oli 627 MW. Tuulivoiman tuotanto vuoden 2014 aikana oli 1 110 GWh. Toukokuun 2014 tietojen mukaan suunnitteilla on noin 8 000 MW maatuulivoimaa.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden tuulivoimalan tehoksi on oletettu keskimäärin 2,5 MW vuonna 2020 ja keskimäärin 3,0 MW vuonna 2030. Huipunkäyttöajaksi on oletettu kaikissa skenaarioissa 3 000 h. Tuulivoimalle on oletettu nykyisen syöttötariffijärjestelmän mukainen takuuhinta 83,50 €/MWh myös vuonna 2030 kaikelle tuotannolle[22].
Investointikustannus	**Harmaa:** 1 434 M€ vuoteen 2020 ja 2 466 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 2 303 M€ vuoteen 2020 ja 4 057 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 3 045 M€ vuoteen 2020 ja 10 000 M€ vuoteen 2030 mennessä



[21] Tuulivoimayhdistys, Tietoa tuulivoimasta, saatavilla: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta [viitattu 10.4.2015].

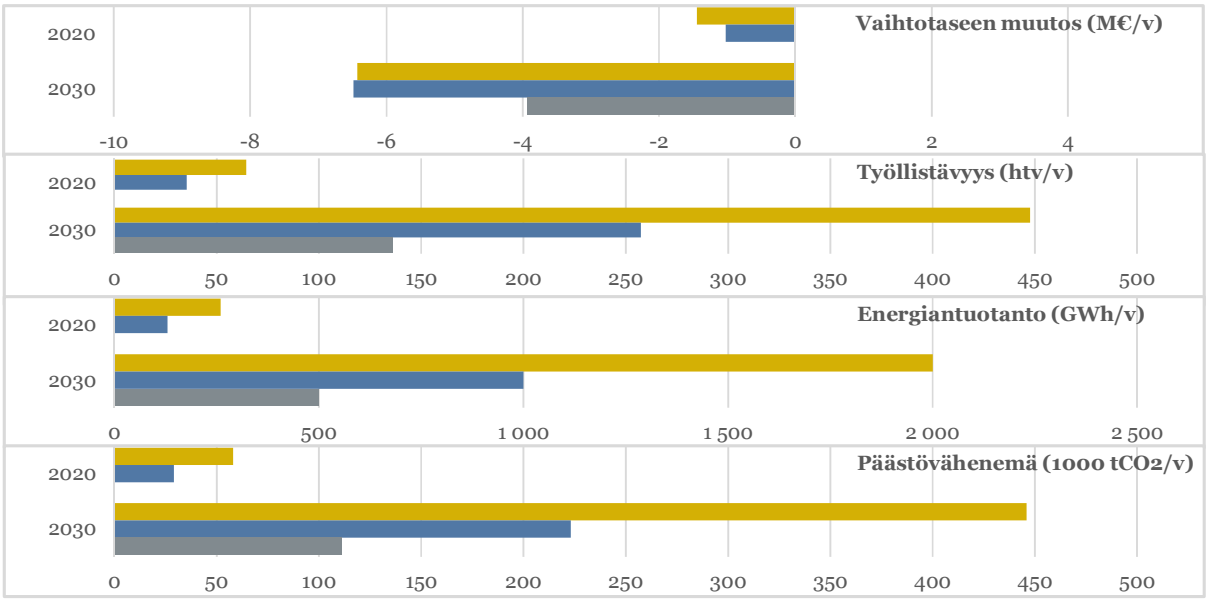
[22] Tämä on mallinnuksessa tehty yksinkertaistus. Todellisuudessa syöttötariffia maksetaan 12 vuoden ajan voimalaitoksen käyttöönotosta ja nykyisten päätösten mukaisesti Suomessa vain 2 500 MW:n kapasiteettiin asti. Tariffin jatkaminen sen yli edellyttäisi erillistä poliittista päätöstä.

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.4 Merituulivoima, suuri

Teollisen kokoluokan merituulivoima on perustekniikaltaan samankaltaista kuin aiemmin kuvatut suuret maatuulivoimalat. Merkittävin ero on sijoitus merialueelle, jossa tuulisuus on yleensä parempi kuin maalla. Merituulivoimalat voidaan jakaa *near-shore ja off-shore* -tyyppisiin ratkaisuihin riippuen siitä, kuinka lähelle rantaa ja kuinka syvään veteen voimalat on sijoitettu. Sijoituspaikka vaikuttaa merituulivoimalan perustusratkaisuihin samoin kuin siihen, kuinka tuotettu energia siirretään maalle ja edelleen sähkön siirtoverkkoon.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että tuulivoimalla korvataan muuta sähköntuotantoa Suomessa sekä sähkön tuontia ulkomailta luvussa 4.2 kuvatulla tavalla.
Nykytila	Merituulivoimaa ei tällä hetkellä ole käytössä. Tuulivoimayhdistyksen mukaan merelle suunniteltujen tuulivoimahankkeiden yhteenlaskettu kapasiteetti on 2 200 MW (toukokuu 2014).
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden tuulivoimalan tehoksi on oletettu keskimäärin 4,0 MW vuonna 2020 ja 6,0 MW vuonna 2030. Huipunkäyttöajat ovat kaikissa skenaarioissa 3 500 h. Harmaassa skenaariossa on oletettu, ettei vuoteen 2020 mennessä rakenneta lainkaan merituulivoimaa. Tuulivoimalle on oletettu nykyisen syöttötariffijärjestelmän mukainen takuuhinta 83,50 €/MWh myös vuonna 2030 kaikille laitoksille[23].
Investointikustannus	**Harmaa:** 0 M€ vuoteen 2020 ja 429 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 111 M€ vuoteen 2020 ja 771 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 186 M€ vuoteen 2020 ja 1 143 M€ vuoteen 2030 mennessä



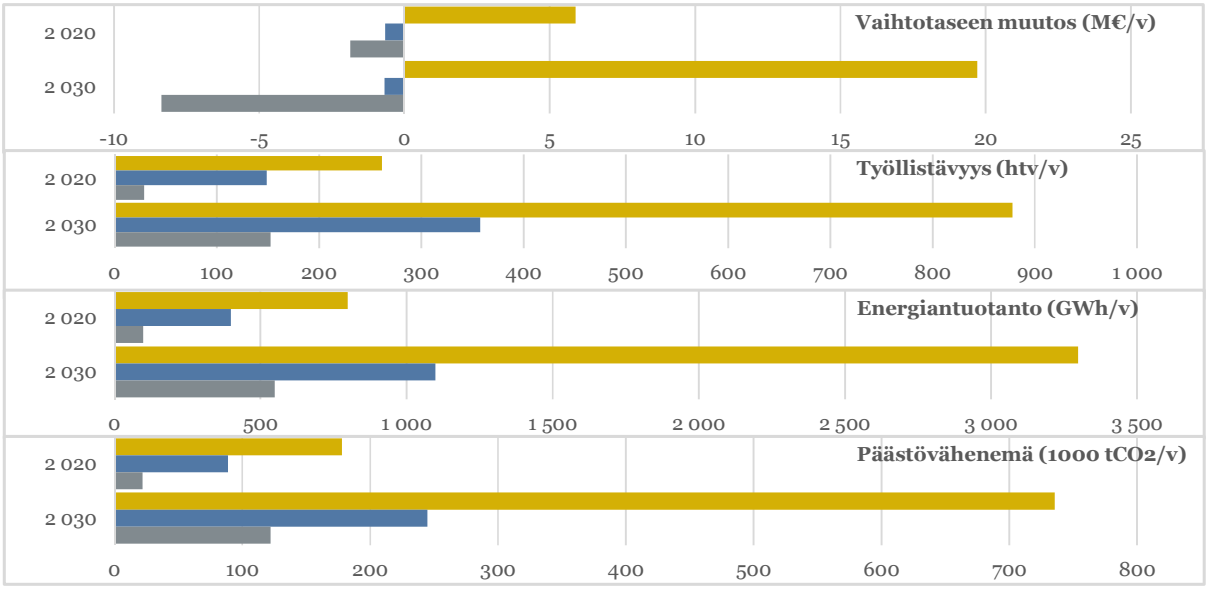
[23] Tämä on mallinnuksessa tehty yksinkertaistus. Todellisuudessa syöttötariffia maksetaan 12 vuoden ajan voimalaitoksen käyttöönotosta ja nykyisten päätösten mukaisesti Suomessa vain 2 500 MW:n kapasiteettiin asti. Tariffin jatkaminen sen yli edellyttäisi erillistä poliittista päätöstä.

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.5 Aurinkosähkö, pieni

Aurinkosähköä tuotetaan pienessä kokoluokassa tyypillisesti kiinteistöjen katoille asennettavilla aurinkopaneeleilla. Paneeliteknologioita on useita, mutta tässä tarkastelussa on keskitytty markkinoilla yleisimmin käytettyyn kiteiseen piihin perustuvaan teknologiaan. Paneelien lisäksi sähköverkkoon kytkentä vaatii invertterilaitteiston, joka muuttaa paneelien tuottaman tasavirran vaihtovirraksi.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että aurinkosähköllä korvataan kuluttajien sähköyhtiöiltä hankkimaa sähköä. Lisäksi laskennassa on oletettu, että vain osa (40 % sinisessä ja harmaassa skenaariossa ja 66 % keltaisessa skenaariossa) auringolla tuotetusta sähköstä pystytään käyttämään kuluttajan omassa kulutuksessa ja loput on myytävä sähköverkkoon.
Nykytila	Aurinkosähkön pientuotanto on nykyään käytössä pääsääntöisesti verkkoon kytkemättömien kohteiden sähköntuotannossa, mutta verkkoon kytkettyjen järjestelmien määrä lisääntyy koko ajan. Aurinkosähköjärjestelmien yhteenlaskettu kapasiteetti on Suomessa muutama MW.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden aurinkosähköjärjestelmän tehoksi on oletettu keskimäärin 5 kW ja huipunkäyttöajaksi 1 000 h kaikissa skenaarioissa. Aurinkosähköjärjestelmien rakentajien on oletettu saavan kotitalousvähennyksen mukaisen tuen investoinnin asennuskustannuksiin. Aurinkosähköjärjestelmien kotimaisuusasteeksi on oletettu 25 % harmaassa skenaariossa, 41 % sinisessä ja 50 % keltaisessa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 120 M€ vuoteen 2020 ja 550 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 480 M€ vuoteen 2020 ja 990 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 960 M€ vuoteen 2020 ja 2 310 M€ vuoteen 2030 mennessä

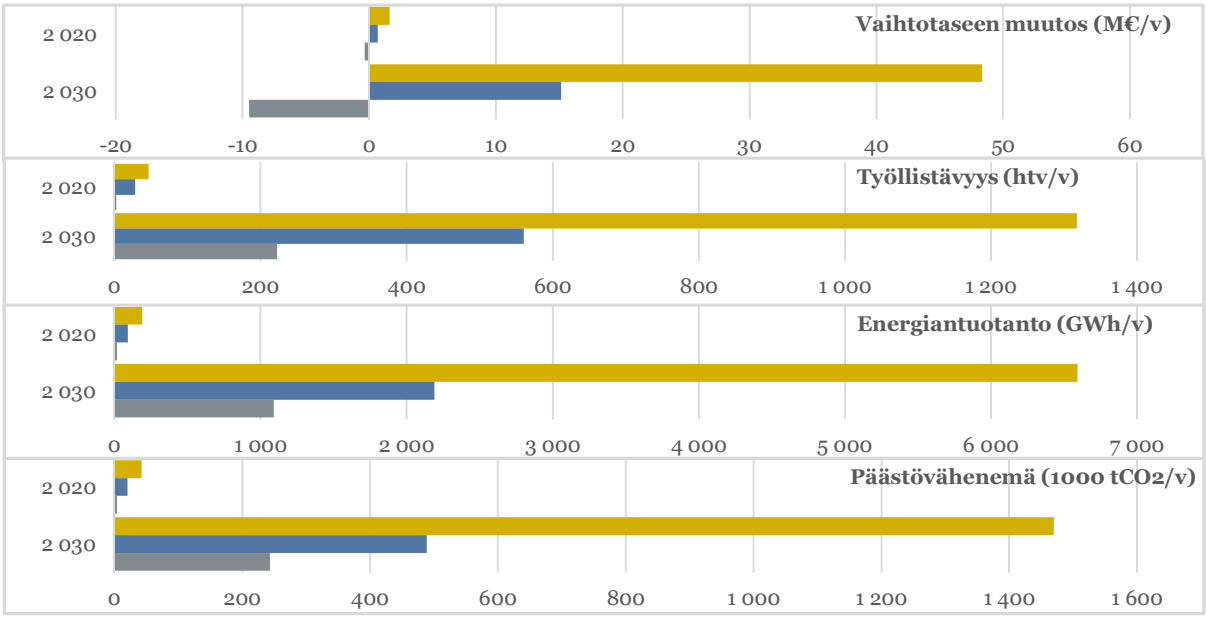


Copyright © Sitra, Gaia

5.1.6 Aurinkosähkö, keskikokoinen

Keskikokoinen aurinkosähkö on teknologialtaan vastaava kuin aiemmin käsitelty pienikokoinen aurinkosähkö. Laskennassa ero syntyykin lähinnä siitä, että tässä mallinnuksessa on huomioitu suurempi paneelien pinta-ala sekä se, että rakentajana on teollisuus- tai liikekiinteistö, joka voi hyödyntää tuotettua sähköä tehokkaammin.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että aurinkosähköllä korvataan yritysten ja pienten teollisuuslaitosten sähköyhtiöiltä hankkimaa sähköä. Lisäksi laskennassa on oletettu, että suurin osa (90 % kaikissa skenaarioissa) auringolla tuotetusta sähköstä pystytään käyttämään yrityksen omassa kulutuksessa ja loput on myytävä sähköverkkoon.
Nykytila	Keskikokoisia aurinkosähköjärjestelmiä on asennettu Suomeen muutamia kymmeniä kappaleita.[24]
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden aurinkosähköjärjestelmän tehoksi on oletettu keskimäärin 50 kW ja huipunkäyttöajaksi 1000 h kaikissa skenaarioissa. Aurinkosähköjärjestelmien rakentajien on oletettu saavan investointitukea 30 % investoinnista. Aurinkosähköjärjestelmien kotimaisuusasteeksi on oletettu 25 % harmaassa skenaariossa, 47 % sinisessä ja 50 % keltaisessa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 25 M€ vuoteen 2020 ja 880 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 100 M€ vuoteen 2020 ja 1540 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 200 M€ vuoteen 2020 ja 3 960 M€ vuoteen 2030 mennessä



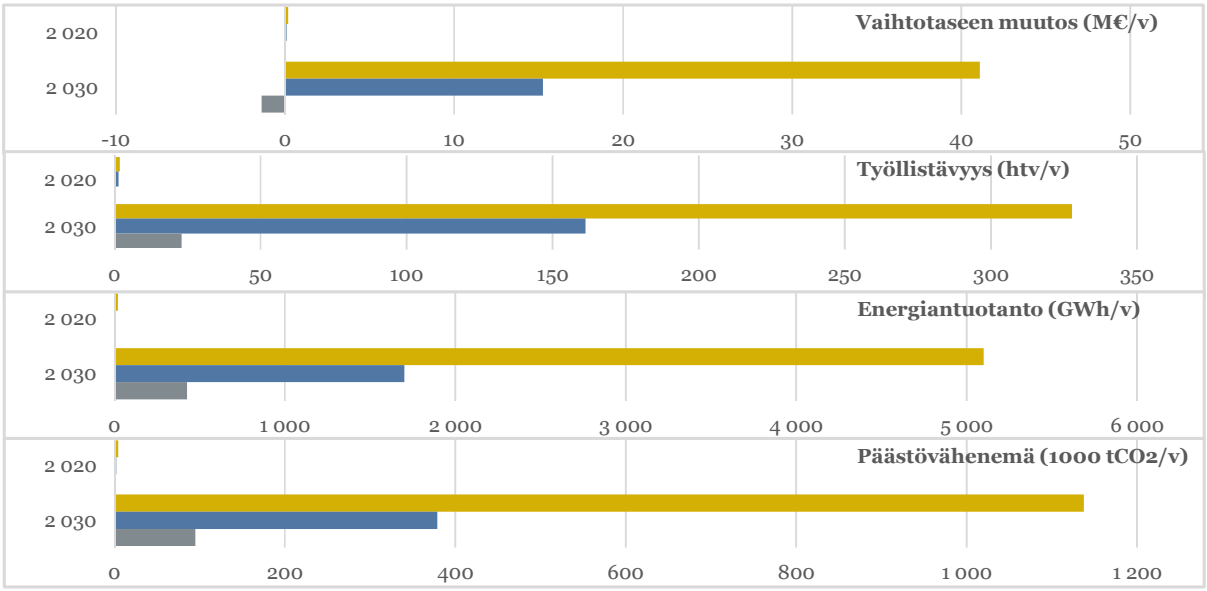
[24] Säännöllisesti päivitettävä lista merkittävimmistä aurinkosähköjärjestelmistä löytyy aurinkoenergiaa.fi -sivustolta: http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/184/aurinkovoimaa-suomessa

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.7 Aurinkosähkö, suuri

Tässä tarkastellut suurikokoiset (yli 1 MW) aurinkosähköjärjestelmät vaativat paneelipinta-alaa niin paljon, ettei niitä pysty rakentamaan keskitetysti rakennusten katoille vaan aurinkopaneelikentät on asennettava maahan. Muilta osin teknologia on samanlaista kuin aiemmin pienet ja keskikokoiset aurinkosähköjärjestelmät.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että aurinkosähköllä korvataan muuta sähköntuotantoa Suomessa sekä sähkön tuontia ulkomailta.
Nykytila	Suuria 1 MW tai sitä suurempia aurinkosähkövoimaloita ei ole Suomessa käytössä. Maaliskuussa 2015 Suomen suurin aurinkosähkövoimala oli Helenin Suvilahden voimala, jonka teho on noin 340 kW.[25]
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden suuren aurinkovoimalan tehoksi on oletettu keskimäärin 1,0 MW. Huipunkäyttöajat ovat kaikissa skenaarioissa sama 1 000 h. Aurinkovoimalan on oletettu saavan investointitukea 30 % investoinnista. Kotimaisuusasteeksi on oletettu 25 % harmaassa skenaariossa ja 50 % sinisessä ja keltaisessa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 1 M€ vuoteen 2020 ja 234 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 8 M€ vuoteen 2020 ja 935 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 16 M€ vuoteen 2020 ja 2 805 M€ vuoteen 2030 mennessä



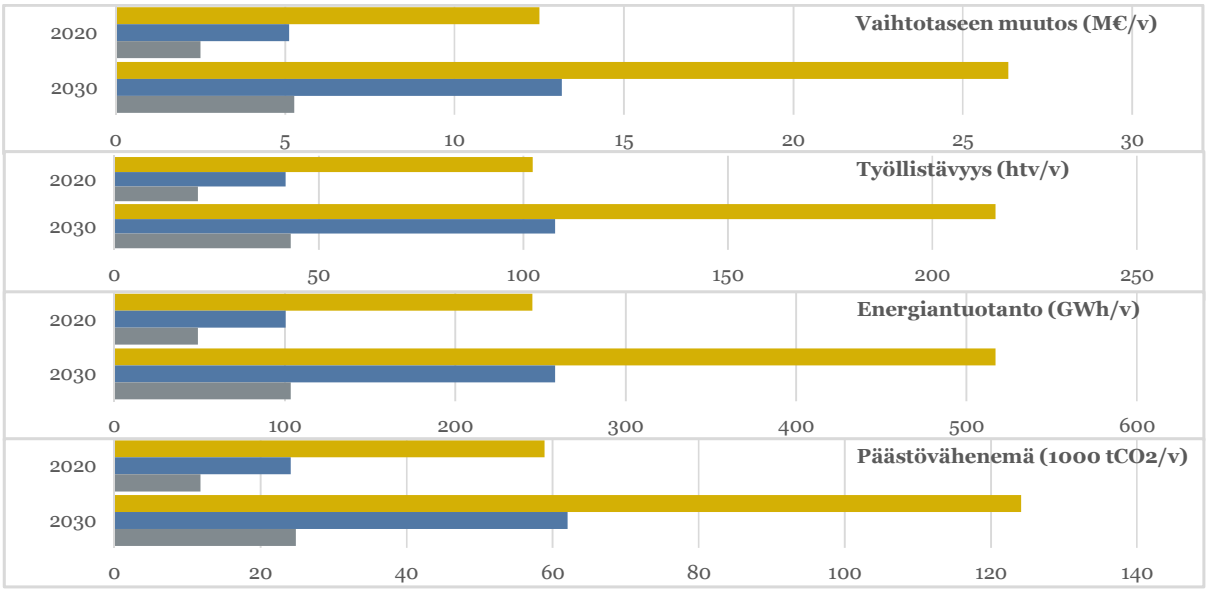
[25] Säännöllisesti päivitettävä lista merkittävimmistä aurinkosähköjärjestelmistä löytyy aurinkoenergiaa.fi -sivustolta: http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/184/aurinkovoimaa-suomessa

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.8 Aurinkolämpö, pieni ja keskikokoinen

Aurinkolämpöjärjestelmä eroaa aurinkosähkön tuotannosta siten, ettei siinä auringon säteilyenergiaa muuteta sähköksi vaan energia kerätään talteen lämpönä ns. aurinkolämpökeräimien avulla. Keräimistä lämpö siirretään lämmönvaihtimien avulla kiinteistön normaaliin lämmitysjärjestelmään.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että aurinkolämmöllä korvataan kuluttajien muita lämmitysmuotoja, tässä tapauksessa 40 % kevyttä polttoöljyä, 30 % kaukolämpöä ja 30 % lämmityssähköä.
Nykytila	Nykyisin käytössä olevasta aurinkolämmön pientuotannosta ei ole saatavilla tilastoaineistoa. Arvioiden mukaan vuotuinen tuotanto on noin 20 GWh[26].
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden aurinkolämpöjärjestelmän vuosituotannoksi on oletettu keskimäärin 2 MWh pienille ja 20 MWh keskikokoisille aurinkolämpöjärjestelmille kaikissa skenaarioissa. Pienikokoisten aurinkolämpöjärjestelmien käyttäjien (kotitalouksien) on oletettu saavan investoinnin asennustyöhön tukea kotitalousvähennyksestä ja keskikokoisten (yritykset) energiatukea 30 % investoinnista. Aurinkolämpöjärjestelmien kotimaisuusasteeksi on oletettu 70 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	Investointikustannus on arvioitu olettaen keräinten vuosituotoksi[27] 500 kWh/m² ja yhden keräimen kustannukseksi 600 €/m² pienille ja 500 €/m² keskikokoisille aurinkolämpöjärjestelmille kaikissa skenaarioissa. **Harmaa:** 54 M€ vuoteen 2020 ja 114 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 111 M€ vuoteen 2020 ja 285 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 270 M€ vuoteen 2020 ja 570 M€ vuoteen 2030 mennessä



[26] Pöyry (2013), Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa, TEM raportteja 28/2013.

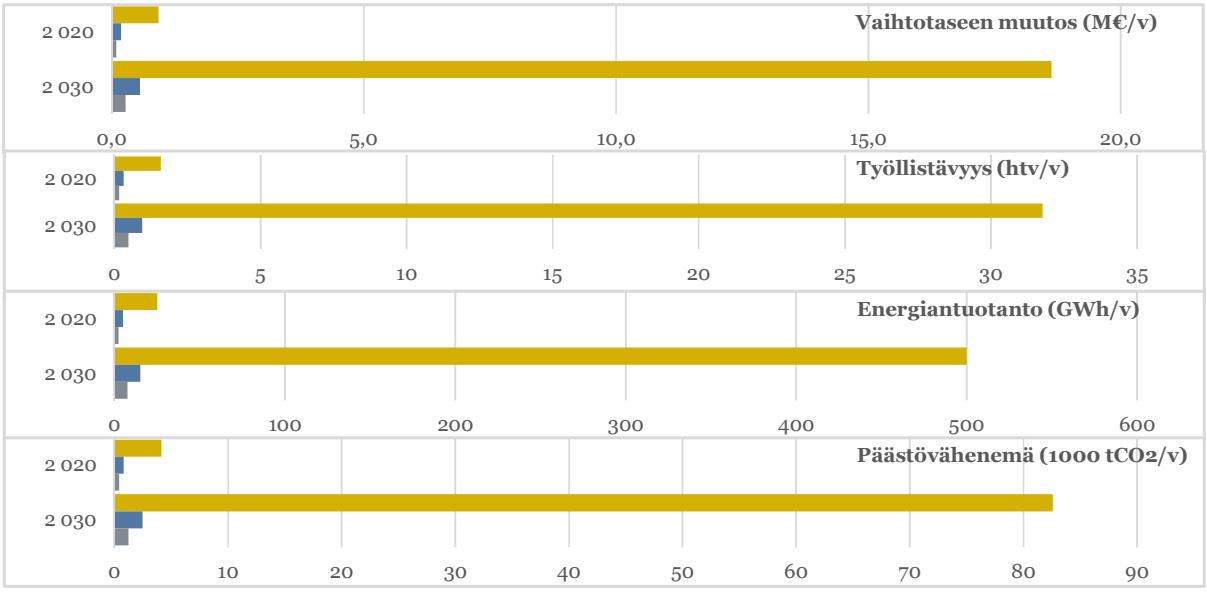
[27] Tyypillisesti nykyaikaiset keräimet pääsevät parhaimmillaan yli 600 kWh/m² vuosituottoon, mutta tässä on käytetty alhaisempaa tuottoa, mikä huomioi sen, että kaikkea lämpöä ei pystytä täysin hyödyntämään etenkin kesäaikaan.

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.9 Aurinkolämpö, suuri

Keskitetty aurinkolämpöjärjestelmä vaatii suuren keräinpinta-alan, tyypillisesti vähintään 50 000 m². Kustannustehokkain ratkaisu on sijoittaa aurinkolämpökeräimet samalle alueelle, jolloin säästetään mm. lämmönsiirtojärjestelmiin ja automaatioon tarvittavissa investoinneissa. Tässä tarkastelussa keskitetty aurinkolämpöjärjestelmä on kytketty lämmönvaihtimen avulla suoraan kaukolämpöverkon menolinjaan.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että aurinkolämmöllä korvataan kaukolämmön tuotantoa muilla teknologioilla (vertailukohtana nykyinen kaukolämmön tuotantorakenne).
Nykytila	Keskitettyä, suoraan kaukolämpöverkkoon kytkettyä aurinkolämmön tuotantoa ei ole käytössä Suomessa.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden aurinkolämpöjärjestelmän tehoksi on oletettu keskimäärin 2,5 MW ja huipunkäyttöajaksi 1 000 h kaikissa skenaarioissa. Aurinkolämpöjärjestelmien on oletettu saavan energiatukea 30 % investoinnista. Lisäksi on huomioitu, että aurinkolämmöllä tuotettu kaukolämpö on valmisteverovapaata. Aurinkolämpöjärjestelmien kotimaisuusasteeksi on oletettu 70 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 1,5 M€ vuoteen 2020 ja 4,5 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 3 M€ vuoteen 2020 ja 9 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 15 M€ vuoteen 2020 ja 300 M€ vuoteen 2030 mennessä



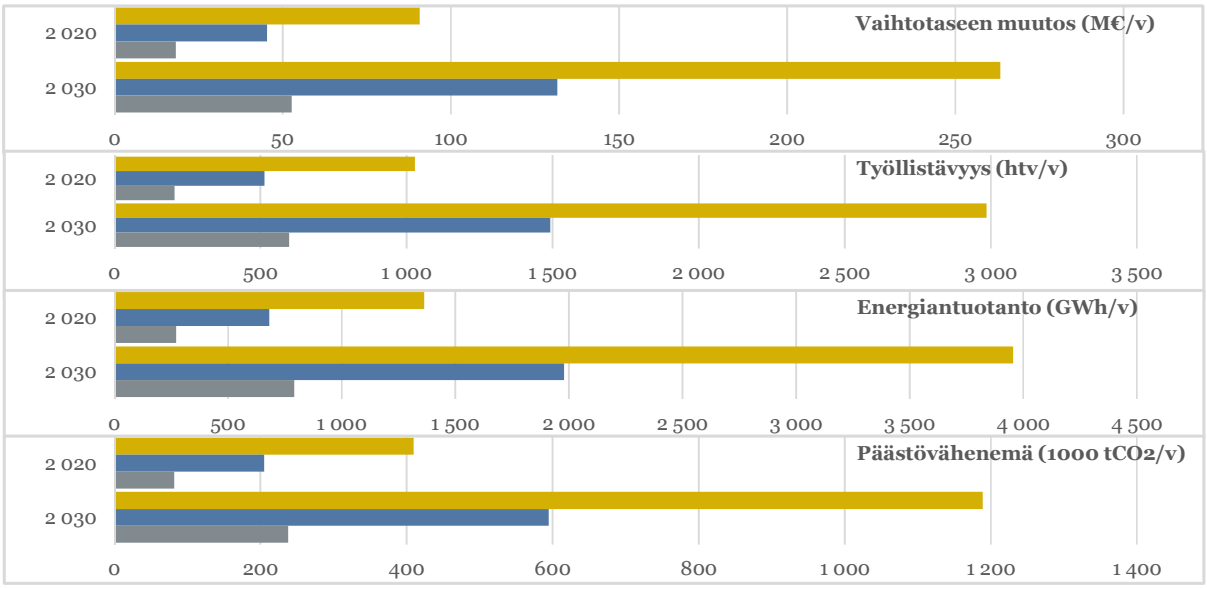
Copyright © Sitra, Gaia

5.1.10 Biomassakattilat, pieni

Biomassakattiloilla voidaan tarkoittaa joko pellettiä, haketta tai muuta kiinteää biomassaa (esim. halkoja, olkea, olkipaaleja) polttoaineena käyttävää kattilaa. Pienessä kokoluokassa näillä tuotetaan ainoastaan lämmitysenergiaa.

Biomassakattiloiden on arveltu yleistyvän etenkin haja-asutusalueilla. Tästä syystä myös sen on oletettu korvaavan lähinnä polttoöljyä ja vähäisessä määrin lämmityssähköä, mutta aiemmin kuvatusta pienmuotoisesta aurinkolämmöstä poiketen ei lainkaan kaukolämpöä. Koska kyseessä on pientalojen perinteinen lämmitysmuoto, on tuloksia tarkasteltaessa huomioitava, että työllistävyys kuvaa enemmänkin työpanoksen tarvetta eikä se välttämättä kokonaan siirry työpaikoiksi (pienkäyttäjät hakkaavat ja pilkkovat osan tarvitsemastaan puusta itse).

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että biomassakattiloilla korvataan kuluttajien muita lämmitysmuotoja, tässä tapauksessa 90 % kevyttä polttoöljyä ja 10 % lämmityssähköä.
Nykytila	Biomassaa (lähinnä puuta) käytetään pientalojen lämmityksessä nykyään noin 11 TWh.[28]
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden biomassakattilan tehoksi on oletettu keskimäärin 8 kW ja huipunkäyttöajaksi 2 200 h kaikissa skenaarioissa. Biomassakattiloiden käyttäjien on oletettu saavan investoinnin asennustyöhön tukea kotitalousvähennyksestä. Kotimaisuusasteeksi on oletettu 80 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 201 M€ vuoteen 2020 ja 584 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 503 M€ vuoteen 2020 ja 1 461 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 1 007 M€ vuoteen 2020 ja 2 922 M€ vuoteen 2030 mennessä



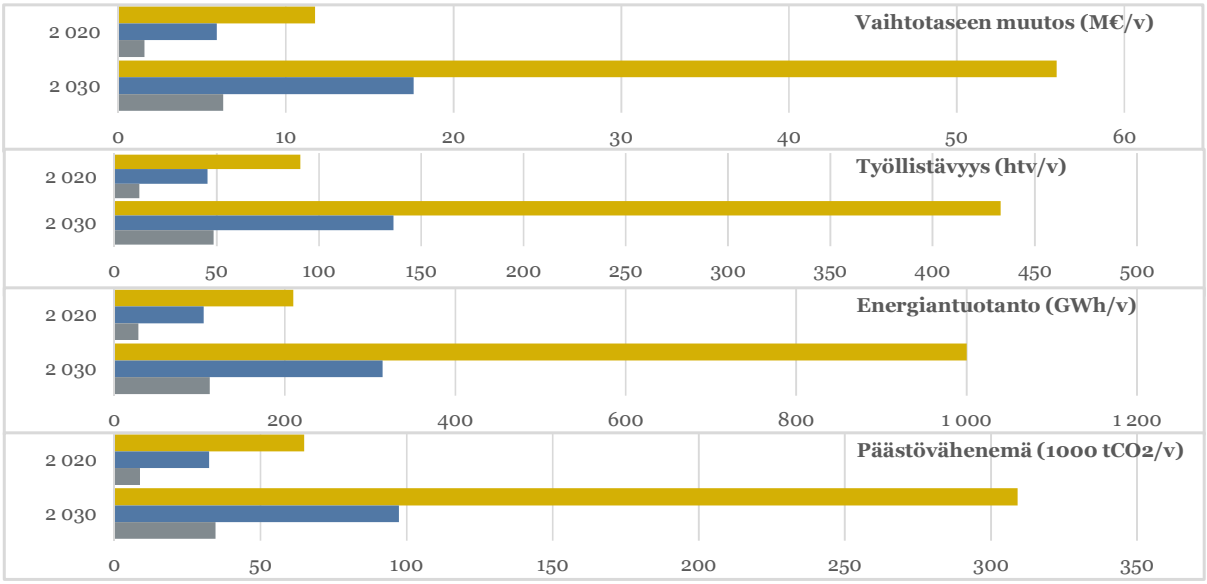
[28] Lappalainen, Iiris (2007), toim., Puupolttoaineiden pienkäyttö, Tekes.

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.11 Biomassakattilat keskikokoinen (lämpölaitokset)

Kaukolämmön tuotannossa biomassaa polttoaineena käyttävät lämpölaitokset ovat olleet jo pitkään markkinoilla ja teknologia on saavuttanut jo varsin kypsän vaiheen. Markkinoiden odotetaan kehittyvän jatkossa varsin vakaasti ja merkittävin tekijä on laitosten ja niiden polttoaineiden kilpailukyky muita polttoaineita vastaan.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että biomassakattiloilla korvataan nykyisiä kaukolämpölaitosten kevyttä polttoöljyä käyttäviä lämpölaitoksia[29].
Nykytila	Energiateollisuus ry:n tilastojen (2013) mukaan metsähaketta käytetään Suomessa noin 2 TWh ja sillä tuotetaan arviolta noin 1,7 TWh kaukolämpöä.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden biolämpölaitoksen tehoksi on oletettu keskimäärin 2,0 MW ja huipunkäyttöajaksi 3 500 h kaikissa skenaarioissa. Biolämpölaitosten on oletettu saavan investointitukea 30 % investoinnista. Biolämpölaitosten kotimaisuusasteeksi on oletettu 90 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 6 M€ vuoteen 2020 ja 26 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 24 M€ vuoteen 2020 ja 72 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 48 M€ vuoteen 2020 ja 229 M€ vuoteen 2030 mennessä



5.1.12 Biomassakattilat, suuri (CHP)

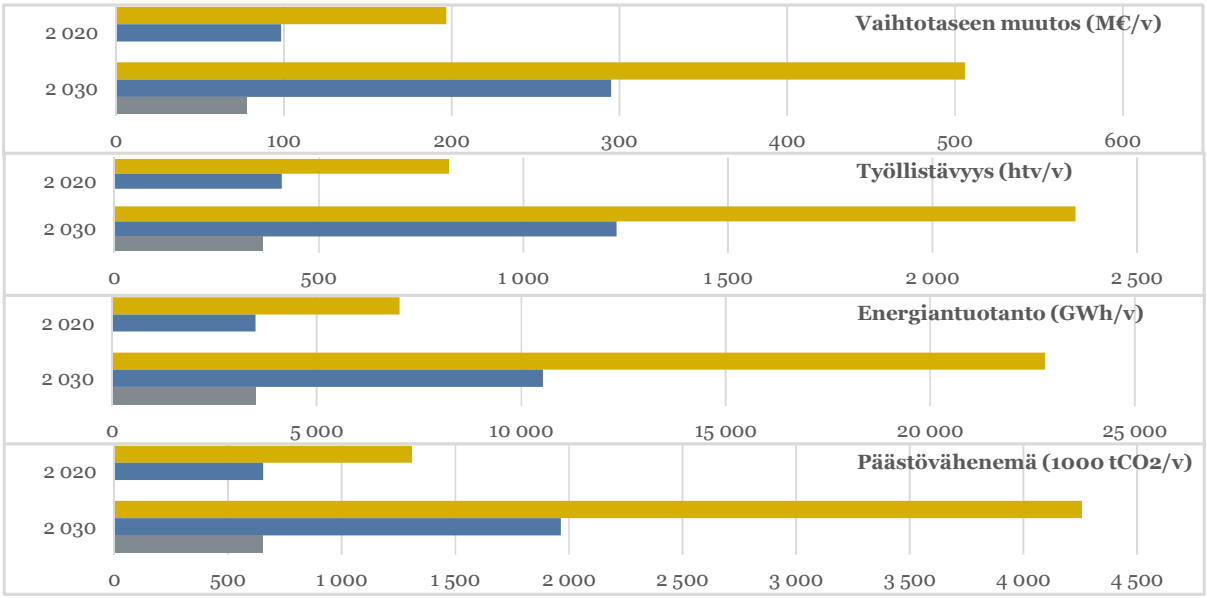
Suuren kokoluokan biomassakattiloilla tarkoitetaan tässä tapauksessa bio-CHP-laitoksia eli sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantolaitoksia[30]. Kuten myös pienemmän kokoluokan biomassakattiloissa, niin myös suurien kattiloiden teknologia on varsin pitkälle kehittynyttä

[29] Näiden lisäksi keskikokoisilla biomassakattiloilla voidaan korvata teollisuuden ja suurien kiinteistöjen polttoöljyä tai maakaasua käyttäviä lämpökattiloita. Tämä tarkastelu on rajattu selvityksen ulkopuolelle.
[30] Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantolaitosten lisäksi markkinoilla on biopolttoaineilla toimivia suuren kokoluokan lämpökattiloita. Tämä teknologia kuitenkin muistuttaa lähinnä investoijalle tulevia skaalaetuja lukuun ottamatta edellä kuvattuja keskikokoisia biolämpökattiloita. Siksi suuren kokoluokan biolämpökattilat on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Copyright © Sitra, Gaia

ja markkinat ovat varsin kypsiä. Merkittävää kasvua ei siis ole odotettavissa, vaan tärkein kasvuajuri on teknologian ja biopolttoaineiden kilpailukyky muita teknologioita ja polttoaineita vastaan. Keltaisessa skenaariossa on kuitenkin oletettu, että vuoteen 2030 mennessä kaikki Suomessa käytettävä kivihiili (noin 27 TWh) on korvattu suurilla bio-CHP-laitoksilla.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että biovoimalaitosten tuotannolla korvataan sekä kaukolämmön tuotantoa muilla teknologioilla (vertailukohtana nykyinen kaukolämmön tuotantorakenne) että sähköntuotantoa Suomessa ja sähkön tuontia ulkomailta.
Nykytila	Energiateollisuus ry:n tilastojen (2013) mukaan metsähaketta käytetään Suomessa CHP-tuotannossa noin 6,9 TWh ja sillä tuotetaan arviolta noin 3,9 TWh kaukolämpöä ja 2,3 TWh sähköä.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden bio-CHP-laitoksen lämpötehoksi on oletettu 170 MW ja sähkötehoksi 100 MW sekä näitä vastaavaksi huipunkäyttöajaksi 6 500 h kaikissa skenaarioissa. Biovoimalaitosten on oletettu saavan syöttötariffijärjestelmän mukaisen päästöoikeuden hinnasta riippuvan syöttötariffin (nykyhinnoilla 13,13 €/MWhe)[31] myös vuonna 2030. Biovoimalaitos pystyy tuottamaan kaukolämpöä hieman edullisemmin kuin Suomen keskimääräinen kaukolämmön tuotantokustannus. Laskennassa on kuitenkin oletettu, että voimalaitos ottaa tämän hyödyn kokonaan itselleen, toisin sanoen kaukolämmön hintaa ei alenneta tuotantokustannusten alenemisesta huolimatta. Voimalaitosten kotimaisuusasteeksi on oletettu 80 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 0 M€ vuoteen 2020 ja 380 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 380 M€ vuoteen 2020 ja 1 140 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 760 M€ vuoteen 2020 ja 2 470 M€ vuoteen 2030 mennessä



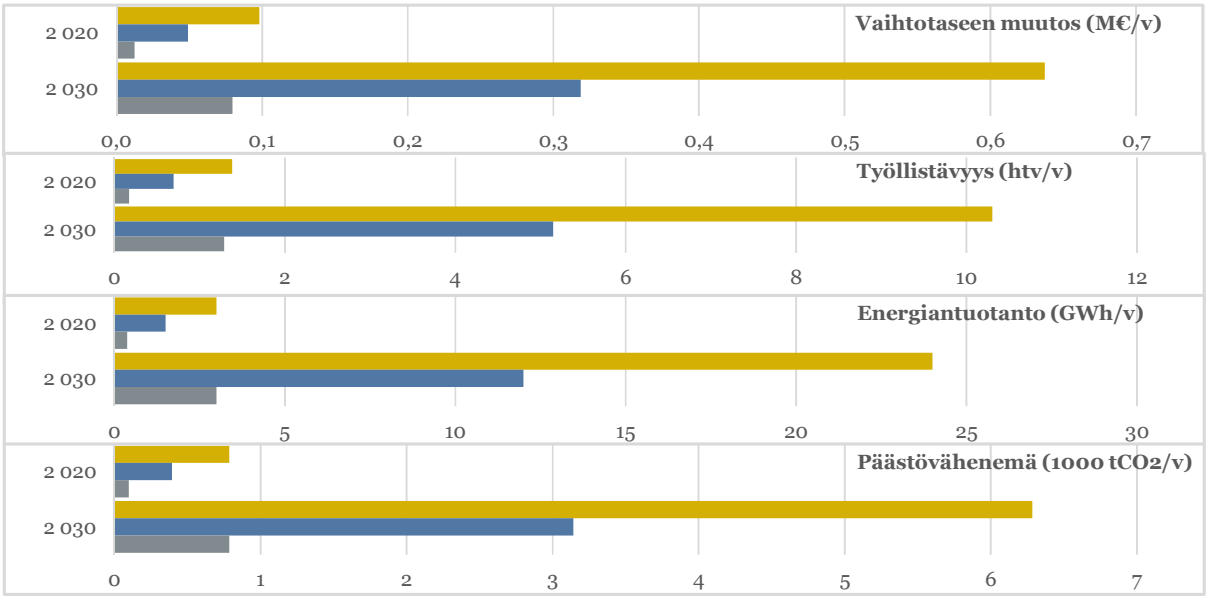
[31] Päästöoikeuden hinnan noustessa tariffitaso laskee – ja toisin päin.

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.13 Biokaasupolttokennot, pieni

Aiemmin käsitellyistä pientuotannon energiateknologioista poiketen polttokennoilla (tässä tapauksessa polttoaineeksi on oletettu kotimainen biokaasu) voidaan jo pienessä mittakaavassa tuottaa sekä sähköä että lämpöä. Teknologia on vielä varsin nuori ja sen mahdollisen kasvun arvioidaan ajoittuvan pääosin vasta vuoden 2030 jälkeen.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että biokaasupolttokennoilla korvataan kuluttajien muita lämmitysmuotoja, tässä tapauksessa 90 % kevyttä polttoöljyä ja 10 % lämmityssähköä sekä kuluttajan kiinteistölleen energiayhtiöltä hankkimaa sähköä. Laskennassa on kuitenkin oletettu, että kuluttaja voi käyttää vain 50 % polttokennolla tuotetusta sähköstä itse ja loput myydään sähköyhtiölle.
Nykytila	Biokaasupolttokennoja ei ole Suomessa käytössä yksittäisiä pilotti/testilaitteita lukuun ottamatta.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden polttokennon lämpötehoksi on oletettu keskimäärin 5 kW ja sähkötehoksi myös 5 kW sekä niitä vastaavaksi huipunkäyttöajaksi 6 000 h kaikissa skenaarioissa. Polttokennojen käyttäjien on oletettu saavan investoinnin asennustyöhön tukea kotitalousvähennyksestä. Kotimaisuusasteeksi on oletettu 64 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 0,2 M€ vuoteen 2020 ja 0,4 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 0,6 M€ vuoteen 2020 ja 1,5 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 1,3 M€ vuoteen 2020 ja 3,0 M€ vuoteen 2030 mennessä

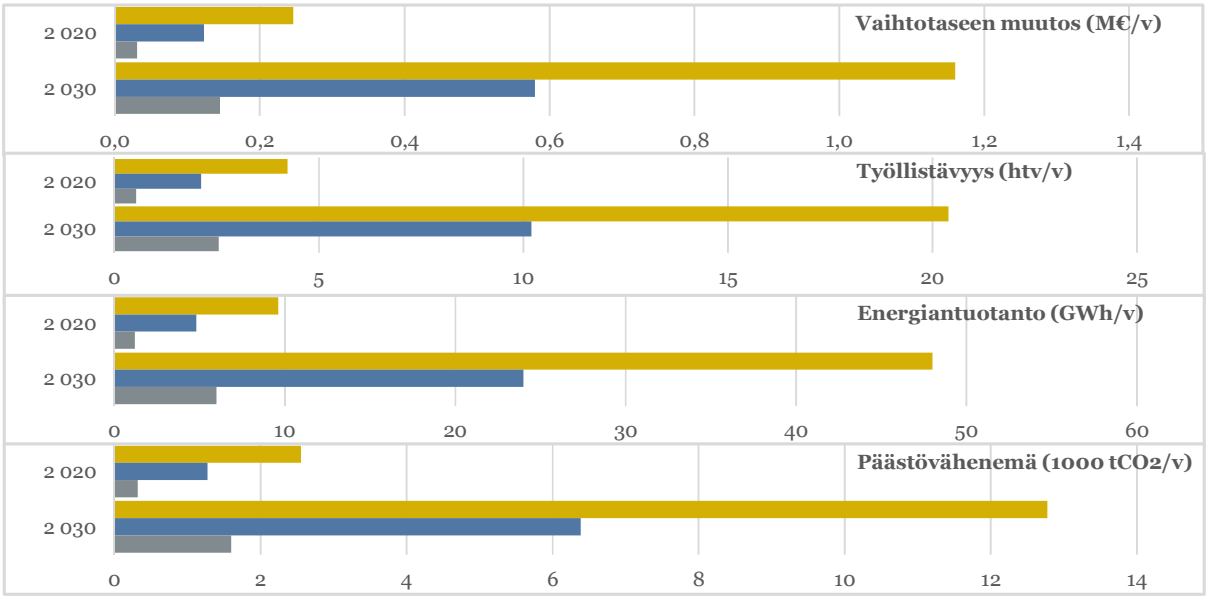


Copyright © Sitra, Gaia

5.1.14 Biokaasupolttokennot, keskikokoinen

Keskikokoisten biokaasupolttokennojen tehoksi on oletettu 100 kW sähköä ja saman verran lämpöä. Tämä ylittää biokaasunsyöttötariffirajan ja lisäksi sähkölle myönnetään syöttötariffin lämpöpreemio hyvän kokonaishyötysuhteen ansiosta. Tämän vuoksi kaikki sähkö kannattaa syöttää verkkoon.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että biokaasupolttokennoilla korvataan kuluttajien muita lämmitysmuotoja, tässä tapauksessa 100 % kevyttä polttoöljyä. Tuotettua sähköä ei kannata käyttää itse, vaan se on kannattavampaa syöttää verkkoon syöttötariffin maksimoimiseksi.
Nykytila	Biokaasupolttokennoja ei ole käytössä.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden polttokennon lämpötehoksi on oletettu 100 kW ja sähkötehoksi myös 100 kW sekä niitä vastaavaksi huipunkäyttöajaksi 6 000 h kaikissa skenaarioissa. Polttokennojen käyttäjien on oletettu saavan investointiin tukea syöttötariffista. Kotimaisuusasteeksi on oletettu 50 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 0,5 M€ vuoteen 2020 ja 0,9 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 2,0 M€ vuoteen 2020 ja 3,6 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 4,0 M€ vuoteen 2020 ja 7,2 M€ vuoteen 2030 mennessä

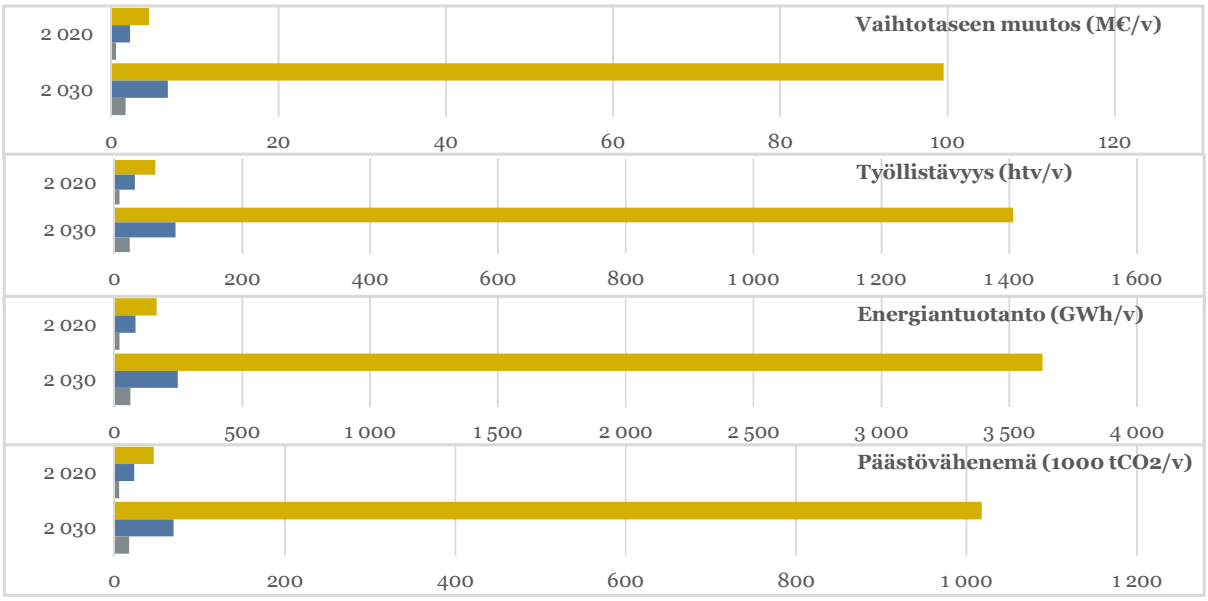


Copyright © Sitra, Gaia

5.1.15 Biokaasumoottorit, keskikokoinen

Tässä tarkastelussa keskikokoisten biokaasumoottorien tehoksi on oletettu keskimäärin 200 kW sähköä ja 400 kW lämpöä. Tämä ylittää biokaasunsyöttötariffirajan ja lisäksi sähkölle myönnetään syöttötariffin lämpöpreemio hyvän kokonaishyötysuhteen ansiosta. Tämän vuoksi kaikki sähkö kannattaa syöttää verkkoon. Itse kaasumoottoriteknologia on varsin pitkälle kehittynyttä ja teknologian kasvun odotetaankin tulevan ennen kaikkea biokaasun saatavuuden lisääntymisen myötä.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että biokaasumoottoreilla korvataan kuluttajien muita lämmitysmuotoja, tässä tapauksessa 100 % kevyttä polttoöljyä. Tuotettua sähköä ei kannata käyttää itse, vaan se on kannattavampaa syöttää verkkoon syöttötariffin maksimoimiseksi.
Nykytila	Biokaasusta tuotettiin vuonna 2013 sähköä noin 150 GWh ja lämpöä 400 GWh.[32],[33]
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden kaasumoottorin lämpötehoksi on oletettu 400 kW ja sähkötehoksi 200 kW sekä niitä vastaavaksi huipunkäyttöajaksi 5 500 h kaikissa skenaarioissa. Biokaasumoottorien käyttäjien on oletettu saavan investointiin tukea syöttötariffista. Kotimaisuusasteeksi on oletettu 20 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 1,9 M€ vuoteen 2020 ja 5,6 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 7,5 M€ vuoteen 2020 ja 22,5 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 15,0 M€ vuoteen 2020 ja 330 M€ vuoteen 2030 mennessä



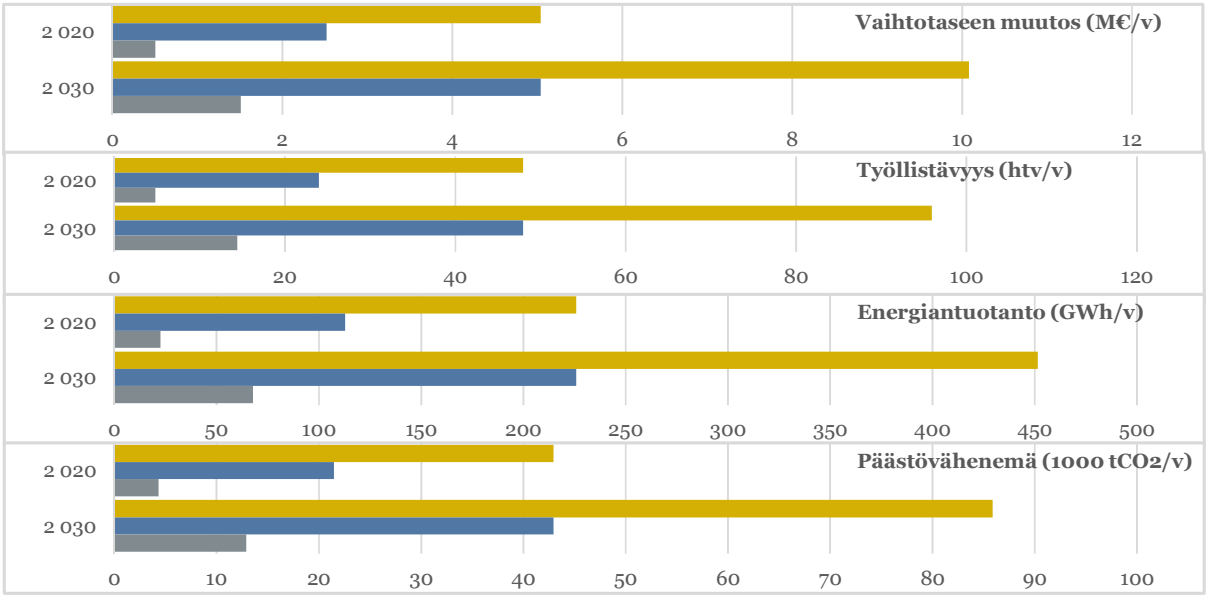
[32] Huttunen, Markku ja Kuittinen, Ville (2014), Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17, Publications of the University of Eastern Finland Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences No 19.
[33] Tilastoissa ei ole lämmön osalta eritelty, onko se tuotettu sähkön yhteistuotannossa vai yksinomaan lämpölaitoksessa. Myöskään jaottelua eri kokoluokan laitoksiin ei ole tehty.

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.16 Biokaasumoottorit, suuri

Suuren kokoluokan biomassamoottoreilla tarkoitetaan tässä yhteydessä kaasumoottoreista rakennettuja bio-CHP-laitoksia eli sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantolaitoksia. Kaasumoottoriteknologia on varsin pitkälle kehittynyttä ja markkinat ovat varsin kypsiä. Merkittävää kasvua ei siis ole odotettavissa, vaan tärkein kasvuajuri on teknologian ja biopolttoaineiden kilpailukyky muita teknologioita ja polttoaineita vastaan.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että biovoimalaitosten tuotannolla korvataan sekä kaukolämmön tuotantoa muilla teknologioilla (vertailukohtana nykyinen kaukolämmön tuotantorakenne) että sähköntuotantoa Suomessa ja sähkön tuontia ulkomailta.
Nykytila	Biokaasusta tuotettiin vuonna 2013 sähköä noin 150 GWh ja lämpöä 400 GWh.[34],[35]
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden bio-CHP-laitoksen lämpötehoksi on oletettu keskimäärin 2 MW ja sähkötehoksi 1,5 MW sekä näitä vastaavaksi huipunkäyttöajaksi 6 500 h kaikissa skenaarioissa. Biovoimalaitosten on oletettu saavan syöttötariffijärjestelmän mukaisen biokaasun syöttötariffin ja lämpöpreemion myös vuonna 2030. Biovoimalaitos pystyy tuottamaan kaukolämpöä hieman edullisemmin kuin Suomen keskimääräinen kaukolämmön tuotantokustannus. Laskennassa on kuitenkin oletettu, että voimalaitos ottaa tämän hyödyn kokonaan itselleen, toisin sanoen kaukolämmön hintaa ei alenneta tuotantokustannusten alenemisesta huolimatta. Voimalaitosten kotimaisuusasteeksi on oletettu 20 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 1,5 M€ vuoteen 2020 ja 4,5 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 7,5 M€ vuoteen 2020 ja 15,0 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 15,0 M€ vuoteen 2020 ja 30,0 M€ vuoteen 2030 mennessä



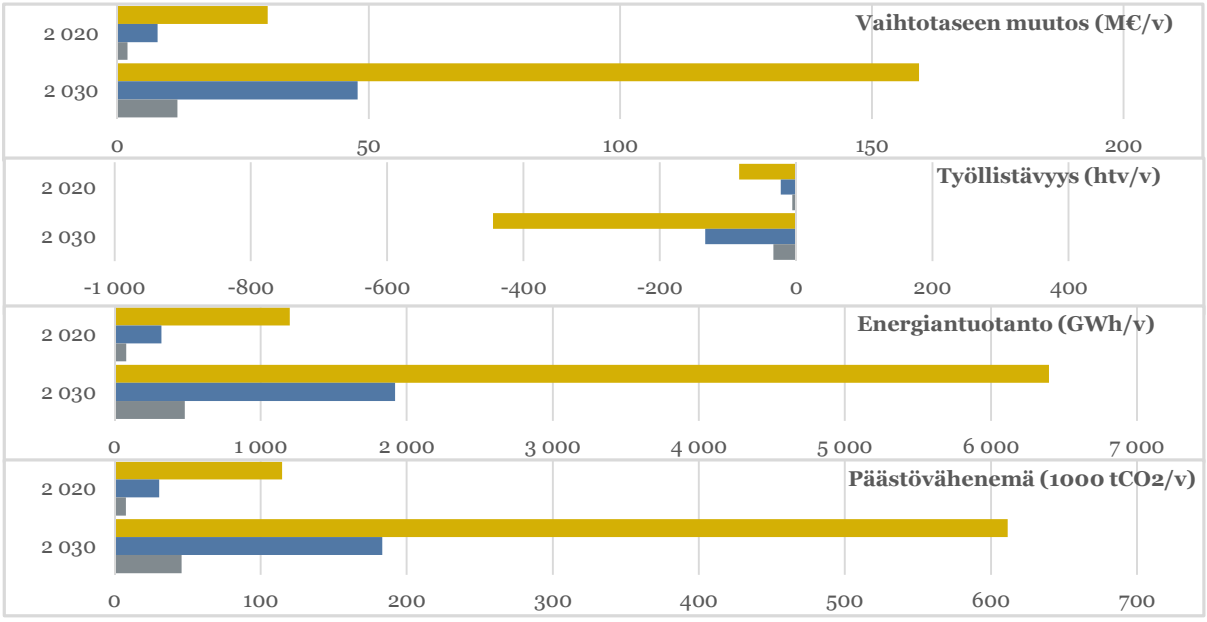
[34] Huttunen, Markku ja Kuittinen, Ville (2014), Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17, Publications of the University of Eastern Finland Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences No 19.
[35] Tilastoissa ei ole lämmön osalta eritelty, onko se tuotettu sähkön yhteistuotannossa vai yksinomaan lämpölaitoksessa. Myöskään jaottelua eri kokoluokan laitoksiin ei ole tehty.

Copyright © Sitra, Gaia

5.1.17 Teolliset lämpöpumput

Teollisten lämpöpumppujen toimintaperiaate on sama kuin myöhemmin tässä raportissa käsiteltävien kiinteistökohtaisten lämpöpumppujen. Ne tuottavat lämpöenergiaa keräämällä lämpöä (eli jäähdyttämällä) erilaisista ylijäämälämpökohteista, kuten teollisuusprosessien jäähdytysvesistä. Tässä tarkastelussa teollisilla lämpöpumpuilla tuotettu lämmitysenergia on oletettu syötettäväksi kaukolämpöverkkoon.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että lämpöpumpuilla korvataan kaukolämmön tuotantoa muilla teknologioilla (vertailukohtana nykyinen kaukolämmön tuotantorakenne).
Nykytila	Energiateollisuus ry:n tilastojen (2013) mukaan lämpöpumpuilla tuotettiin kaukolämpöä noin 470 GWh. Kaukolämmön tuotannossa teollisia lämpöpumppuja on Suomessa hyödynnetty Helsingissä (Katri Valan lämpöpumppulaitos) ja Turussa (Kakolanmäen lämpöpumppulaitos) sekä pienemmässä mittakaavassa Vierumäellä.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden lämpöpumpun lämpötehoksi on oletettu keskimäärin 20 MW ja huipunkäyttöajaksi 4 000 h kaikissa skenaarioissa. Lämpöpumpun COP-kertoimeksi on oletettu 3,2. Lämpöpumppujen on oletettu saavan energiatukea 30 % investoinnista. Lisäksi on huomioitu, että lämpöpumpuilla tuotettu kaukolämpö on valmisteverovapaata, mutta tämä veroalennus on oletettu jäävän täysin investoijan hyödyksi. Lämpöpumppujen kotimaisuusasteeksi on oletettu 65 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 14 M€ vuoteen 2020 ja 84 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 56 M€ vuoteen 2020 ja 336 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 210 M€ vuoteen 2020 ja 1 120 M€ vuoteen 2030 mennessä

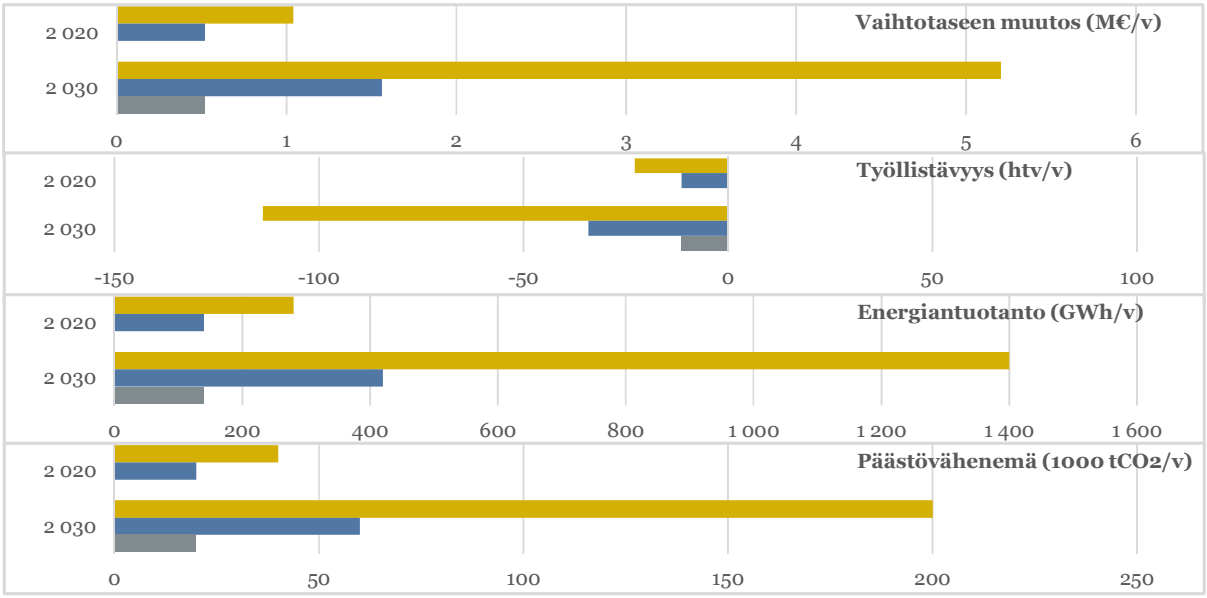


Copyright © Sitra, Gaia

5.1.18 Geoterminen lämpö

Geotermisellä lämmöllä tarkoitetaan tässä selvityksessä maalämpöpumpuista poiketen syvältä (useiden kilometrien syvyydestä) maan sisältä porakaivojen kautta haettavan geotermisen energian hyödyntämistä. Läheltä pintaa kerättävän geotermisen lämmön hyödyntäminen on ollut arkipäivää jo pitkään maapallon vulkaanisilla alueilla, mutta syvältä poratun geotermisen energian hyödyntäminen on vasta kokeiluvaiheessa. Näiden kokeilujen onnistuminen ratkaisee teknologian yleistymisen jatkossa.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että geotermisellä lämmöllä korvataan kaukolämmön tuotantoa muilla teknologioilla (vertailukohtana nykyinen kaukolämmön tuotantorakenne).
Nykytila	Geotermistä lämpöä ei hyödynnetä tällä hetkellä Suomessa.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Yhden laitoksen lämpötehoksi on oletettu 20 MW ja huipunkäyttöajaksi 7 000 h kaikissa skenaarioissa. Sähkön tarve on arvioitu olevan noin 2 MW. Laitoksen on oletettu saavan energiatukea 30 % investoinnista. Lisäksi on huomioitu, että geotermisellä lämmöllä tuotettu kaukolämpö on valmisteverovapaata, mutta tämä veroalennus on oletettu jäävän täysin investoijan hyödyksi. Geotermisen lämpölaitoksen kotimaisuusasteeksi on oletettu 90 % kaikissa skenaarioissa.
Investointikustannus	**Harmaa:** 0 M€ vuoteen 2020 ja 45 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 45 M€ vuoteen 2020 ja 135 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 90 M€ vuoteen 2020 ja 450 M€ vuoteen 2030 mennessä



Copyright © Sitra, Gaia

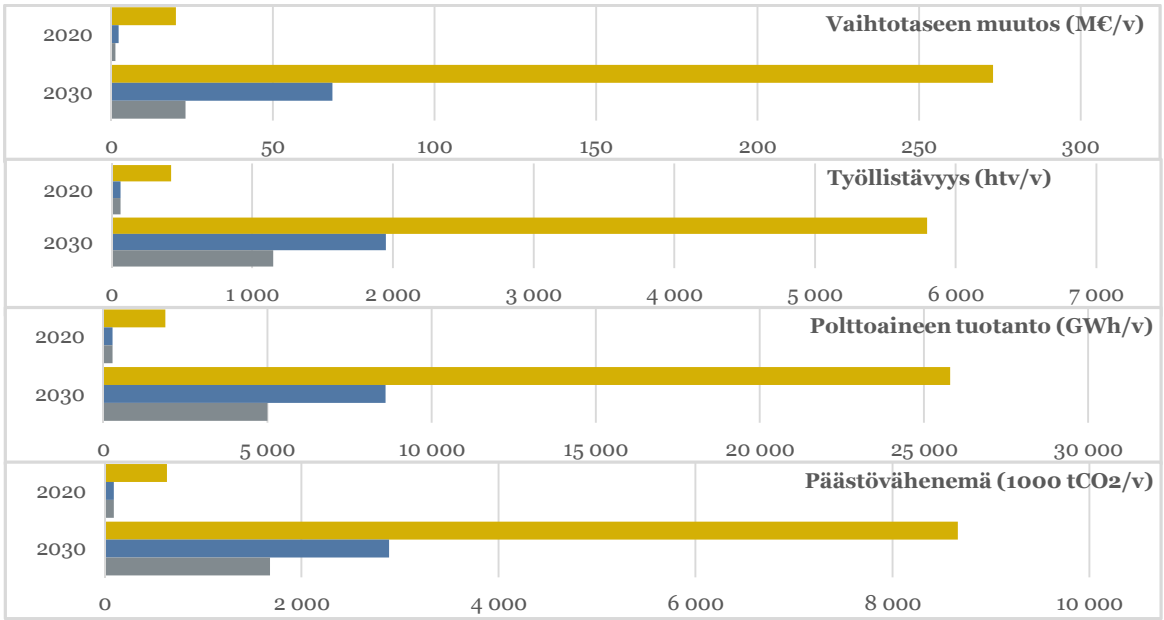
5.2 Energiantuotannon polttoaineet

5.2.1 Biohiilen tuotanto

Biohiilellä tarkoitetaan käsiteltyä biomassaa, jolla voidaan korvata lähes suoraan tai hyvin vähäisin muutoksin energiantuotannossa käytettyä kivihiiltä. Tärkeimmät biohiilen valmistusmenetelmät ovat paahtaminen (*torrefiointi*) ja höyryräjäytys. Molemmat teknologiat ovat pilottivaiheessa ja niille odotetaan merkittävää läpimurtoa 2020-luvun aikana.

Alla olevassa taulukossa on esitetty laskennan keskeiset rajaukset ja lähtötiedot. Tarkemmin nämä on ilmoitettu erillisessä taulukkoliitteessä (liite 2). Taulukon alla olevassa kuvassa on esitetty teknologian keskeiset vaikutukset muutoksena nykytilaan.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että biohiilellä voidaan korvata suoraan fossiilista kivihiiltä lähinnä CHP-tuotannossa. Biohiilen tuotannossa tarvittavien polttoaineiden päästövaikutusta ei ole arvioitu (toisien sanoen biohiili on oletettu tuotettavaksi esim. biovoimalaitoksen yhteydessä.)
Nykytila	Biohiilen tuotanto on Suomessa pilottivaiheessa.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Biohiilen muuttuvaksi tuotantokustannukseksi ilman raaka-ainekustannusta on arvioitu 5 € yhtä MWh biohiiltä kohden. Biohiili on oletettu valmisteverovapaaksi ja biohiilen tuottajan on oletettu saavan biohiilestä saman hinnan kuin kivihiilestä valmisteveroineen. Biohiilen tuotantolaitoksen kotimaisuusasteeksi on oletettu 30 % kaikissa skenaarioissa. Suomessa tuotetusta biohiilestä arvioidaan vietävän ulkomaille 20 % sinisessä skenaariossa (0 % harmaassa ja 40 % keltaisessa).
Investointikustannus	Biohiilen tuotantolaitoksen pääomakustannukseksi on arvioitu 48 €/MWh. **Harmaa:** 14 M€ vuoteen 2020 ja 240 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 14 M€ vuoteen 2020 ja 413 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 91 M€ vuoteen 2020 ja 1 238 M€ vuoteen 2030 mennessä

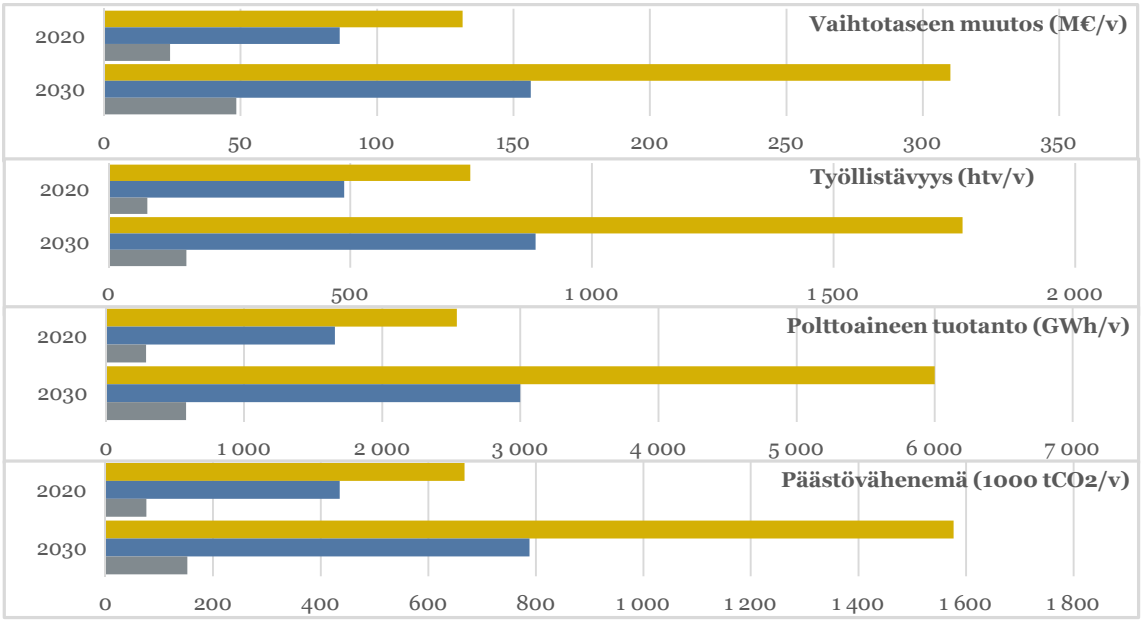


Copyright © Sitra, Gaia

5.2.2 Pyrolyysiöljyn tuotanto

Pyrolyysiteknologiaa on tutkittu ja pilotoitu jo pitkään ja keskeiset ongelmat liittyvätkin enemmän pyrolyysiöljyn käyttöön kuin itse tuotantoteknologiaan. Pyrolyysiöljylle on määrätty valmistevero (12,35 €/MWh kestävyyskriteerit täyttävälle pyrolyysiöljylle), joka on kuitenkin hieman sen fossiilisen polttoöljyn veroa alhaisempi (16,34 €/MWh rikitön kevyt polttoöljy ja 19,21 €/MWh raskas polttoöljy).

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on oletettu, että pyrolyysiöljyllä voidaan korvata suoraan fossiilista kevyttä polttoöljyä, mutta loppukäyttäjältä vaadittujen polttoaineen käsittelyjärjestelmien muutostöiden vuoksi pyrolyysiöljyn myyntihinta (50 €/MWh) on arvioitu alhaisemmaksi kuin kevyen polttoöljyn hinta (72 €/MWh). Pyrolyysiöljyn tuotannossa tarvittavien polttoaineiden päästövaikutusta ei ole arvioitu (toisien sanoen pyrolyysiöljy on oletettu tuotettavaksi esim. biovoimalaitoksen yhteydessä, kuten Fortumin Joensuun pyrolyysilaitoksella.)
Nykytila	Pyrolyysiöljyä tuotetaan teollisessa mittakaavassa Suomessa tällä hetkellä vain Fortumin Joensuun laitoksella, jonka kapasiteetti on 50 000 t (noin 300 GWh).
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Pyrolyysiöljyn muuttuvaksi tuotantokustannukseksi ilman raaka-ainekustannusta on arvioitu 7 € yhtä MWh pyrolyysiöljyä kohden ja tuotantolaitoksen pääomakustannukseksi 120 €/MWh sinisessä skenaariossa (harmaa 140 €/MWh ja keltainen 50 €/MWh). Pyrolyysiöljyn tuotantolaitoksen kotimaisuusasteeksi on oletettu 30 % kaikissa skenaarioissa. Pyrolyysiöljyä ei oleteta vietäväksi ulkomaille.
Investointikustannus	**Harmaa:** 41 M€ vuoteen 2020 ja 81 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 199 M€ vuoteen 2020 ja 360 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 127 M€ vuoteen 2020 ja 300 M€ vuoteen 2030 mennessä

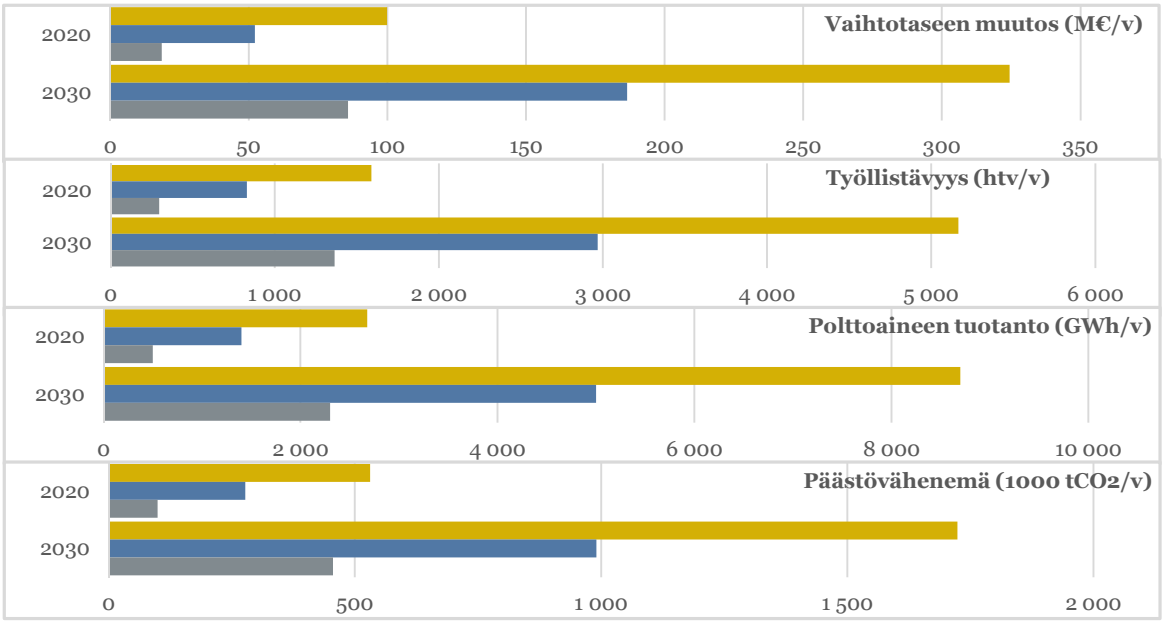


Copyright © Sitra, Gaia

5.2.3 Biometaani

Biometaania voidaan tuottaa joko mädättämällä tai kaasuttamalla erityyppisiä biomassoja. Tähän tarkasteluun on otettu mukaan mädätysteknologiaan perustuva biometaanin tuotantoteknologia. Mädättämällä tuotettua biometaania (biokaasua) kerätään talteen kaatopaikoilta, jätevedenpuhdistamoiden lietteiden käsittelystä sekä varsinaisista biokaasulaitoksista, joissa biomassaa anaerobisissa olosuhteissa mädätetään.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on otettu huomioon vain anaerobisesti mädättämällä tuotettu biometaani, jolla oletetaan korvattavan fossiilista maakaasua.
Nykytila	Biometaania tuotettiin vuonna 2013 yhteensä noin 154 milj. m^3, josta tuotettiin energiaa noin 560 GWh.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Biometaanin raaka-ainekustannukseksi on oletettu nolla. Muuttuviksi käyttökustannuksi 44 €/MWh_g sekä investoinnin kustannukseksi noin 265 €/MWh_g.
Investointikustannus	**Harmaa:** 265 M€ vuoteen 2020 ja 741 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 503 M€ vuoteen 2020 ja 1 456 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 841 M€ vuoteen 2020 ja 2 435 M€ vuoteen 2030 mennessä



5.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

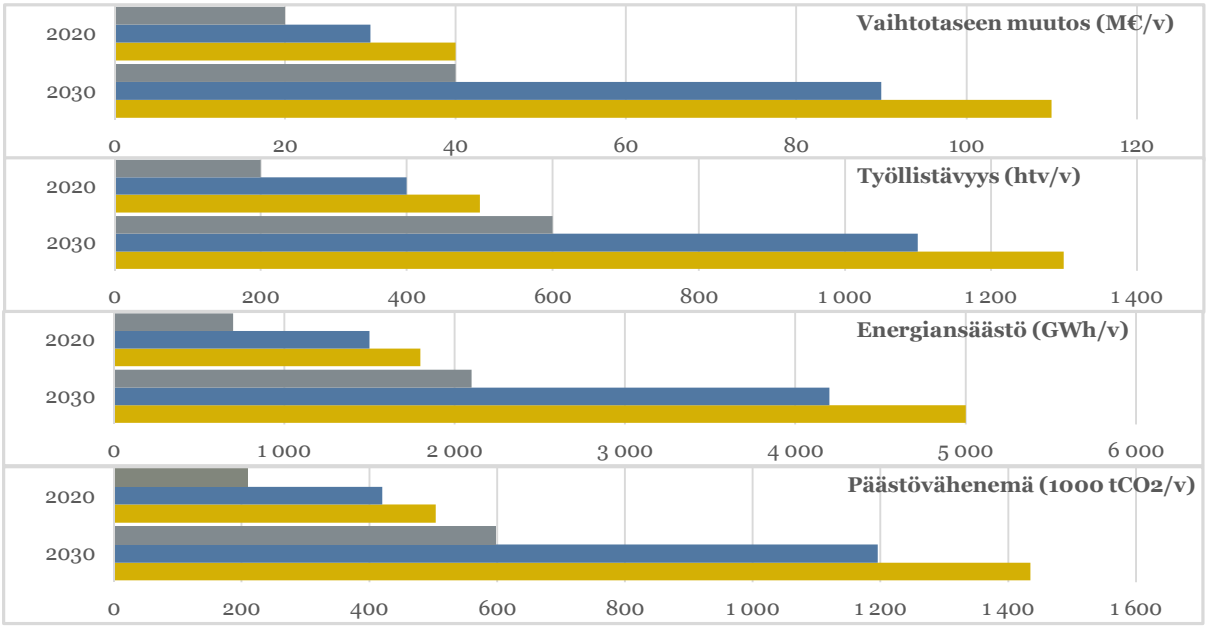
5.3.1 Maalämpöpumput

Maalämpöpumput ovat kasvattaneet suosiotaan etenkin pientalojen lämmitysmuotona koko 2000-luvun ajan. Tässä raportissa esitetyt lämpöpumppuja koskevat tulokset perustuvat

Copyright © Sitra, Gaia

suurimmaksi osaksi vuonna 2014 tehtyyn selvitykseen, jossa arvioitiin eri lämpöpumpputeknologioiden alue- ja kansantaloudellisia vaikutuksia[36].

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu maalämpöpumppujen avaimet käteen -toimituksen kustannukset olemassa olevissa rakennuksissa sekä käytön ja kunnossapidon kustannukset. Tarkasteltavat rakennustyypit ovat erillispientalot (ml. loma-asunnot), rivitalot, asuinkerrostalot sekä liike-, toimisto- ja varastorakennukset (kattavat 80 % rakennusalasta). Nykyisen rakennuskannan poistumaa ei ole otettu huomioon laskennassa.
Nykytila	Suomessa on noin 100 000 maalämpöpumppua, jotka tuottavat arviolta 2,1 TWh lämpöä vuosittain. Valtaosa pumpuista on asennettu pientaloihin.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Maalämmön tuotannon kasvu eri skenaarioissa (kumulatiivinen määrä): **Harmaa:** 1,1 TWh vuonna 2020 ja 3,1 TWh vuonna 2030 **Sininen:** 2,2 TWh vuonna 2020 ja 6,1 TWh vuonna 2030 **Keltainen:** 2,6 TWh vuonna 2020 ja 7,3 TWh vuonna 2030
	Maalämpöpumput korvaavat olemassa olevia lämmitysmuotoja riippuen kunkin rakennustyypin lämmitystapajakaumasta. Ensisijaisesti korvataan lämmitysmuotoja, joissa on vesikiertoinen lämmönjakotapa.
	Lämpöpumppuinvestointeja tuetaan asennustyön kotitalousvähennyksellä kotitalouksissa sekä investointituella yritysten tai yhteisöjen omistamissa kiinteistöissä (oletuksena tukien säilyminen nykyisellään koko tarkastelujakson ajan).
Investointikustannus	Uuden maalämpöjärjestelmän keskimääräinen yksikkökustannus on noin 17 000 €. Keskimääräinen yksikkökustannus on laskettu eri kokoluokkien painotettuna keskiarvona. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 902 M€ vuoteen 2020 ja 2 640 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 1 805 M€ vuoteen 2020 ja 5 280 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 2 165 M€ vuoteen 2020 ja 6 337 M€ vuoteen 2030 mennessä



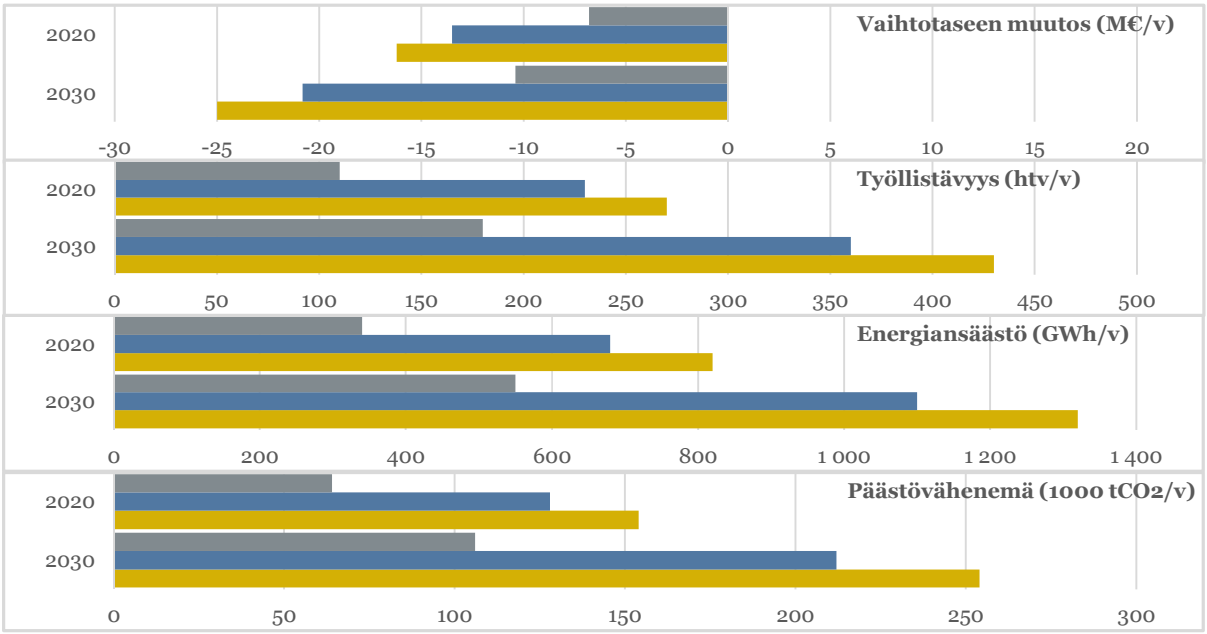
[36] Gaia Consulting Oy, 2014. Lämpöpumppuinvestointien alue- ja kansantaloudellinen tarkastelu. Esitetyt tulokset poikkeavat aiemmin lasketuista jonkin verran; tämä johtuu laskennassa käytettyjen lähtötietojen päivittymisestä (mm. sähkön ja polttoaineiden hinnat, verotus ym.).

Copyright © Sitra, Gaia

5.3.2 Ilma-ilmalämpöpumput

Ilma-ilmalämpöpumput ovat yleisin lämpöpumpputeknologia. Ilma-ilmalämpöpumppuja on Suomessa asennettu 2000-luvulla arviolta puoli miljoonaa kappaletta. Taulukon alla olevasta kuvasta ilmenee, että teknologian käyttöönotto lisää vaihtotaseen alijäämää. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että ilma-ilmalämpöpumpuilla korvataan lämmityksessä suurimmaksi osaksi sähköä, jonka tuontiarvo on alhaisempi kuin esimerkiksi öljyn, jota korvataan tehokkaammin muilla lämpöpumpputeknologioilla. Myös oletettu maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppuinvestointeja alhaisempi kotimaisuusaste vaikuttaa osin tulokseen.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu ilma-ilmalämpöpumppujen hankinnan kokonaiskustannukset olemassa olevissa rakennuksissa sekä käytön ja kunnossapidon kustannukset. Tarkasteltavat rakennustyypit ovat erillispientalot (ml. loma-asunnot) sekä rivitalot. Nykyisen rakennuskannan poistumaa ei ole otettu huomioon laskennassa.
Nykytila	Suomessa on noin 550 000 ilma-ilmalämpöpumppua, jotka tuottavat arviolta 2,6 TWh lämpöä vuosittain. Valtaosa pumpuista on asennettu pientaloihin.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Ilma-ilmalämpöpumppujen tuottaman lämmön kasvu eri skenaarioissa (kumulatiivinen määrä): **Harmaa:** 0,5 TWh vuonna 2020 ja 0,8 TWh vuonna 2030 **Sininen:** 1,0 TWh vuonna 2020 ja 1,7 TWh vuonna 2030 **Keltainen:** 1,2 TWh vuonna 2020 ja 2,0 TWh vuonna 2030
	Ilma-ilmalämpöpumput korvaavat olemassa olevia lämmitysmuotoja riippuen kunkin rakennustyypin lämmitystapajakaumasta. Ensisijaisesti korvataan suoraa sähkölämmitystä.
	Lämpöpumppuinvestointeja tuetaan asennustyön kotitalousvähennyksellä (oletuksena tukitason säilyminen nykyisellään koko tarkastelujakson ajan).
Investointikustannus	Uuden ilma-ilmalämpöpumpun keskimääräinen yksikkökustannus on noin 1 600 €. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 176 M€ vuoteen 2020 ja 280 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 352 M€ vuoteen 2020 ja 560 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 422 M€ vuoteen 2020 ja 672 M€ vuoteen 2030 mennessä

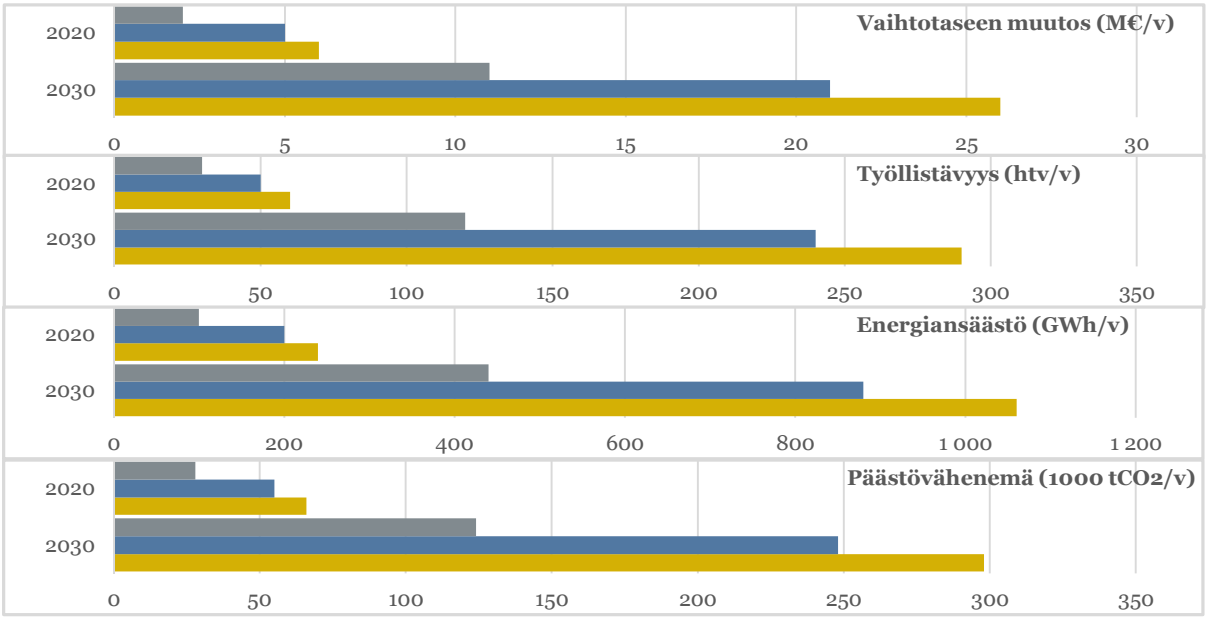


Copyright © Sitra, Gaia

5.3.3 Ilma-vesilämpöpumput

Ilma-vesilämpöpumput ovat uusin lämpöpumpputeknologia ja näiden määrä on vähäinen esimerkiksi ilma-ilmalämpöpumppuihin verrattuna. Investointikustannuksiltaan ja lämpöteholtaan ne asettuvat ilma-ilmalämpöpumppujen ja maalämpöpumppujen väliin.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu ilma-vesilämpöpumppujen avaimet käteen -toimituksen kustannukset olemassa olevissa rakennuksissa sekä käytön ja kunnossapidon kustannukset. Tarkasteltavat rakennustyypit ovat erillispientalot (ml. loma-asunnot), rivitalot sekä liike-, toimisto- ja varastorakennukset. Nykyisen rakennuskannan poistumaa ei ole otettu huomioon laskennassa. Ilma-vesilämpöpumpuilla voidaan vähentää tarkasteltujen rakennusten lämmitysenergia kulutusta, mutta lämpöpumppu ei toimi rakennuksen päälämmitysmuotona.
Nykytila	Suomessa on noin 4 000 ilma-vesilämpöpumppua, jotka tuottavat arviolta 75 GWh lämpöä vuosittain. Valtaosa pumpuista on asennettu pientaloihin.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Ilma-vesilämpöpumppujen tuottaman lämmön kasvu eri skenaarioissa (kumulatiivinen määrä): **Harmaa:** 0,15 TWh vuonna 2020 ja 0,66 TWh vuonna 2030 **Sininen:** 0,29 TWh vuonna 2020 ja 1,32 TWh vuonna 2030 **Keltainen:** 0,35 TWh vuonna 2020 ja 1,58 TWh vuonna 2030
	Ilma-vesilämpöpumput korvaavat olemassa olevia lämmitysmuotoja riippuen kunkin rakennustyypin lämmitystapajakaumasta. Ensisijaisesti korvataan öljylämmitystä ja muita lämmitystapoja, joissa lämpö jaetaan vesikiertoisella järjestelmällä.
	Lämpöpumppuinvestointeja tuetaan asennustyön kotitalousvähennyksellä sekä investointituella (oletuksena tukien säilyminen nykyisellään koko tarkastelujakson ajan).
Investointikustannus	Uuden ilma-vesilämpöpumpun keskimääräinen yksikkökustannus on noin 8 400 €. Keskimääräinen yksikkökustannus on laskettu eri kokoluokkien painotettuna keskiarvona. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 73 M€ vuoteen 2020 ja 330 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 145 M€ vuoteen 2020 ja 661 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 174 M€ vuoteen 2020 ja 793 M€ vuoteen 2030 mennessä

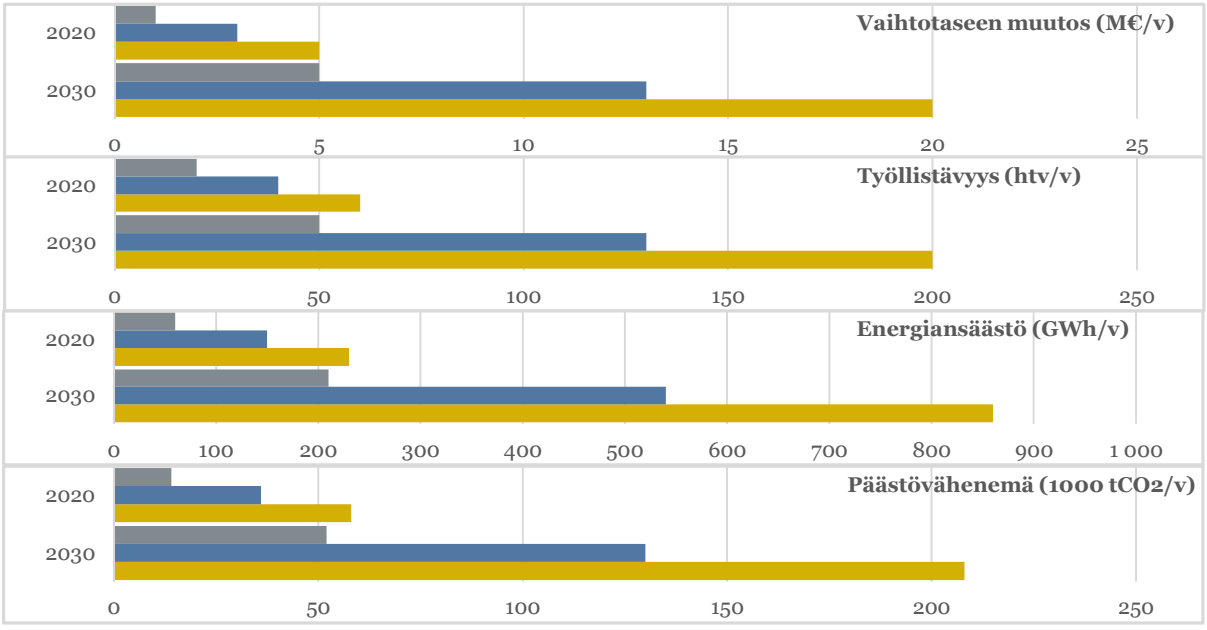


Copyright © Sitra, Gaia

5.3.4 Poistoilmalämpöpumput

Poistoilmalämpöpumput ovat yleistyneet hitaasti 2000-luvun aikana, mutta rakennusten kiristyvät energiamääräykset ovat tehneet niistä kilpailukykyisen ratkaisun saneerattavissa rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanpoisto. Poistoilmalämpöpumput soveltuvat kaiken kokoisiin rakennuksiin.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu poistoilmalämpöpumppujen avaimet käteen -toimituksen kustannukset olemassa olevissa rakennuksissa sekä käytön ja kunnossapidon kustannukset. Tarkasteltavat rakennustyypit ovat erillispientalot (ml. loma-asunnot), rivitalot, asuinkerrostalot sekä liike-, toimisto- ja varastorakennukset. Nykyisen rakennuskannan poistumaa ei ole otettu huomioon laskennassa.
Nykytila	Suomessa on reilu 10 000 poistoilmalämpöpumppua, jotka tuottavat arviolta 140 GWh lämpöä vuosittain. Valtaosa pumpuista on asennettu pientaloihin.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Poistoilmalämpöpumppujen tuottaman lämmön kasvu eri skenaarioissa (kumulatiivinen määrä): **Harmaa:** 0,08 TWh vuonna 2020 ja 0,30 TWh vuonna 2030 **Sininen:**0,21 TWh vuonna 2020 ja 0,75 TWh vuonna 2030 **Keltainen:** 0,33 TWh vuonna 2020 ja 1,20 TWh vuonna 2030
	Poistoilmalämpöpumput korvaavat olemassa olevia lämmitysmuotoja riippuen kunkin rakennustyypin lämmitystapajakaumasta. Ensisijaisesti korvataan öljy- ja kaukolämmitystä sekä muita lämmitystapoja, joissa lämpö jaetaan vesikiertoisella järjestelmällä.
	Lämpöpumppuinvestointeja tuetaan asennustyön kotitalousvähennyksellä sekä investointituella (oletuksena tukien säilyminen nykyisellään koko tarkastelujakson ajan).
Investointikustannus	Uuden poistoilmalämpöpumpun keskimääräinen yksikkökustannus on vuonna 2020 noin 13 000 € ja vuonna 2030 noin 16 000 €. Keskimääräisen yksikkökustannuksen kasvu johtuu siitä, että pumppuja arvioidaan asennettavan jatkuvasti suurempiin kohteisiin. Esitetyt yksikkökustannukset on laskettu eri kokoluokkien painotettuna keskiarvona. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 44 M€ vuoteen 2020 ja 144 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 109 M€ vuoteen 2020 ja 360 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 174 M€ vuoteen 2020 ja 575 M€ vuoteen 2030 mennessä



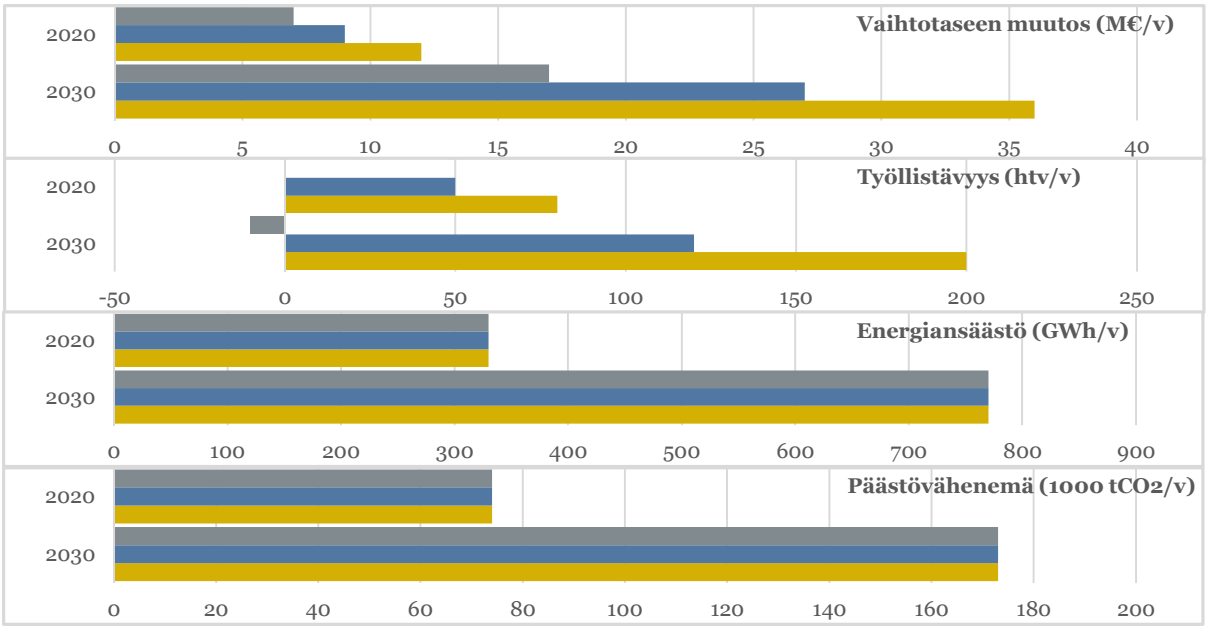
Copyright © Sitra, Gaia

5.3.5 LED-lamput

LED-lamppujen hinnat ovat laskeneet viime vuosina nopeasti ja samalla niiden laatu ja valontuotto on parantunut. Tämän vuoksi LED-lamppuja voidaan käyttää monissa sovelluksissa aina kotitalouskäytöstä ulkovalaistukseen. Pitkän käyttöiän vuoksi LED-lamppujen elinkaarikustannukset ovat kilpailukykyiset perinteisten lampputeknologioiden kanssa. Alla olevissa taulukoissa on tarkasteltu LED-lamppuja kolmessa eri käyttökohteessa.

Kotitaloudet

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on mukana kotitalouksien valaistuksen vaihtaminen nykyisestä (energiansäästölamput, halogeenilamput ja hehkulamput) LED-lamppuihin. Tarkastelussa on otettu energiatalouden kannalta huomioon ainoastaan sähkönkulutus, ei lamppujen synnyttämää lämpöä tai sen vaikutuksia.
Nykytila	Noin 2,5 miljoonan kotitalouden valaistussähkön kulutus on nykytilanteessa noin 1,2 TWh.[37] LED-lamppujen osuudeksi arvioidaan kotitalouksissa 10 % kaikista lamputyypeistä, jolloin ne kuluttavat noin 4 % kaikesta kotitalouksien valaistussähköstä.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	LED-lamppujen sähkönkulutus ja osuus valaistuksen kokonaissähkönkulutuksesta kotitalouksissa: **Kaikki skenaariot:** 0,17 TWh ja 19 % vuonna 2020 ja 0,41 TWh ja 90 % vuonna 2030
	Laskennassa on otettu huomioon, että LED-lamppujen eliniän aikana vältetään perinteisten lamppujen vaihtamisen aiheuttamat kustannukset (LED-lamppujen elinikä tarkastelujakson aikana selvästi pidempi kuin muilla lamputyypeillä).
Investointikustannus	Yhden kotitalouden osalta on arvioitu, että siirtyminen LED-lamppuihin maksaa tarkastelujakson aikana 50–100 € riippuen skenaario-oletuksista. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 77 M€ vuoteen 2020 ja 217 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 77 M€ vuoteen 2020 ja 182 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 77 M€ vuoteen 2020 ja 147 M€ vuoteen 2030 mennessä

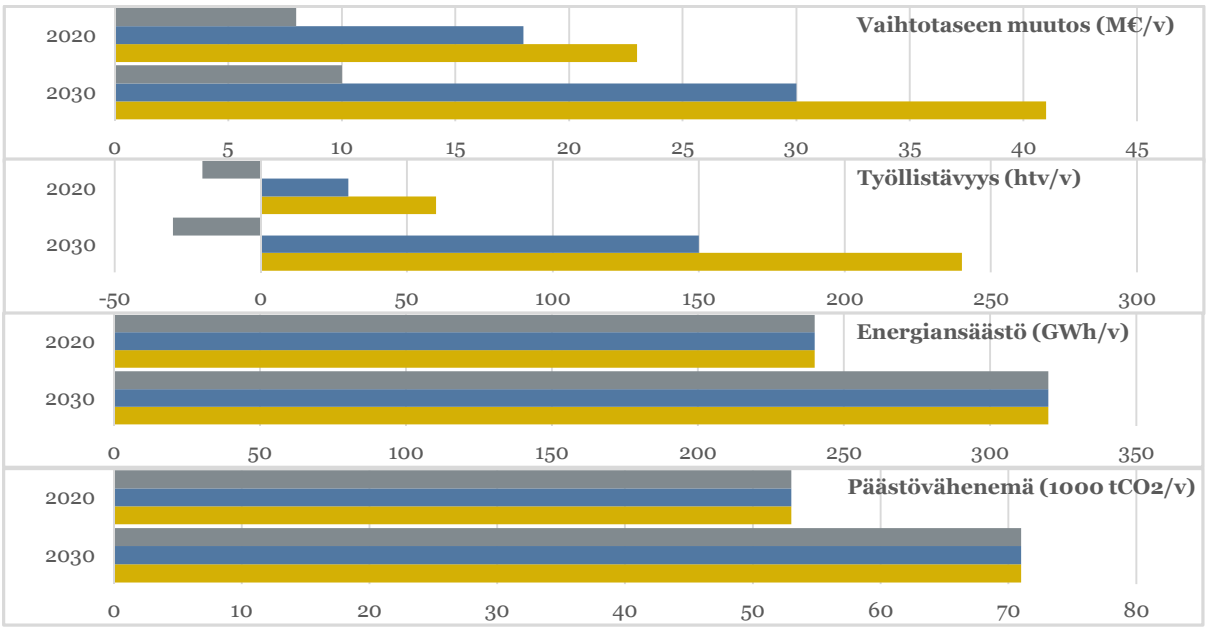


[37] Adato Energia Oy, 2013. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011.

Copyright © Sitra, Gaia

Palvelu- ja toimistorakennukset

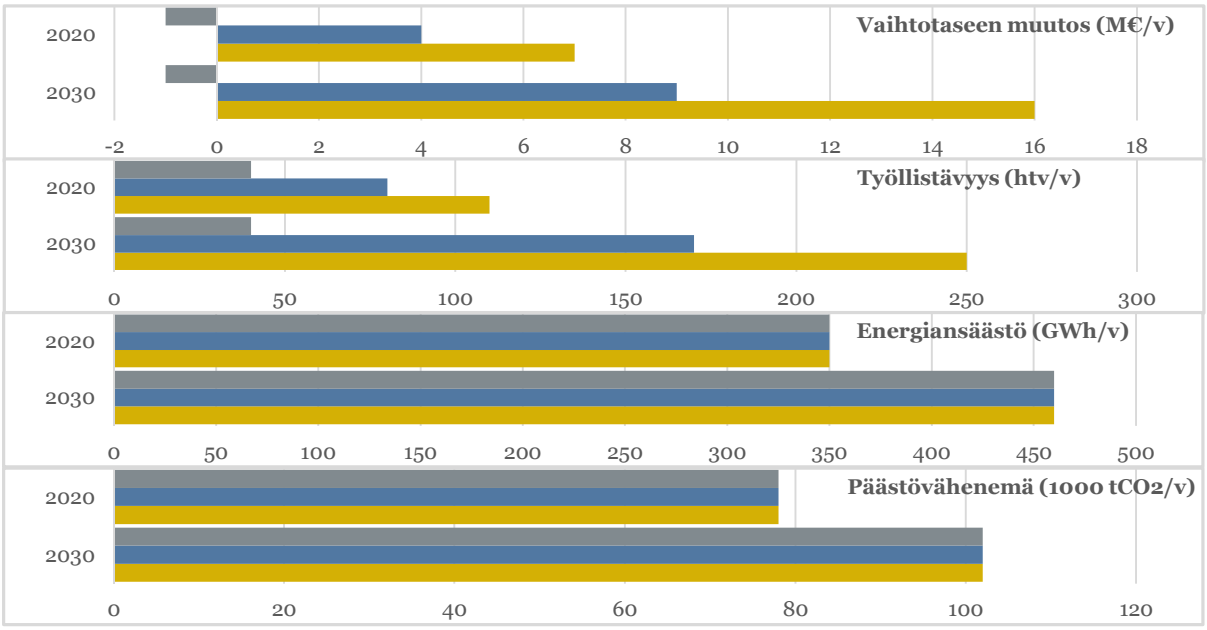
Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on mukana palvelu- ja toimistorakennusten valaistuksen vaihtaminen nykyisestä (pääosin loisteputkilamput) LED-lamppuihin. Käyttö- ja kunnossapitokustannuksia ei oleteta syntyvän. Tarkastelussa on otettu energiatalouden kannalta huomioon ainoastaan sähkönkulutus, ei lamppujen synnyttämää lämpöä tai sen vaikutuksia.
Nykytila	Palvelu- ja toimistorakennusten valaistussähkön kulutus on arvioitu nykytilanteessa olevan yhteensä noin 0,85 TWh. LED-lamppujen osuudeksi arvioidaan näissä rakennuksissa 10 % kaikista lampputyypeistä, jolloin ne kuluttavat noin 6 % valaistussähköstä.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	LED-lamppujen sähkönkulutus ja osuus valaistuksen kokonaissähkönkulutuksesta palvelu- ja toimistorakennuksissa: **Kaikki skenaariot:** 0,34 TWh ja 56 % vuonna 2020 ja 0,44 TWh ja 83 % vuonna 2030
	Laskennassa on otettu huomioon, että LED-lamppujen eliniän aikana vältetään perinteisten lamppujen vaihtamisen aiheuttamat kustannukset (LED-lamppujen elinikä tarkastelujakson aikana noin puolet pidempi kuin loisteputkilamppujen).
Investointikustannus	Siirtyminen LED-lamppuihin arvioidaan maksavan tarkastelujakson aikana 8–15 €/m² riippuen skenaario-oletuksista. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 530 M€ vuoteen 2020 ja 707 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 353 M€ vuoteen 2020 ja 471 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 283 M€ vuoteen 2020 ja 377 M€ vuoteen 2030 mennessä



Copyright © Sitra, Gaia

Katu- ja tievalaistus

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on mukana katu- ja tievalaistuksen teknologian vaihtaminen nykyisestä (suurpainenatrium-, elohopea- ja monimetallilamput) LED-lamppuihin. Uuteen teknologiaan siirtymiselle on allokoitu lampun ja valaisimen vaihto työkustannuksineen, mutta ei mahdollisia investointeja uusiin pylväisiin.
Nykytila	Katu- ja tievalaistuksen sähkönkulutus on nykytilanteessa noin 0,8 TWh.[38] LED-lamppujen osuudeksi arvioidaan 5 % kaikista lampputyypeistä, jolloin ne kuluttavat noin 2 % ulkovalaistuksen sähköstä.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	LED-lamppujen sähkönkulutus ja osuus katujen ja teiden valaistuksen kokonaissähkönkulutuksesta: **Kaikki skenaariot:** 0,20 TWh ja 45 % vuonna 2020 ja 0,26 TWh ja 76 % vuonna 2030
	Laskennassa on otettu huomioon, että LED-lamppujen eliniän aikana vältetään perinteisten lamppujen vaihtamisen aiheuttamat kustannukset (LED-lamppujen elinikä tarkastelujakson aikana noin viisinkertainen perinteisiin ulkovalaistuksessa käytettyihin lamppuihin verrattuna). Käyttö- ja kunnossapitokustannuksena per valaisin on käytetty 20 €/kpl.
Investointikustannus	Siirtyminen LED-lamppuihin arvioidaan maksavan tarkastelujakson aikana 150–400 € per valaisimen muutos riippuen skenaario-oletuksista. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 338 M€ vuoteen 2020 ja 416 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 254 M€ vuoteen 2020 ja 306 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 211 M€ vuoteen 2020 ja 250 M€ vuoteen 2030 mennessä



[38] Sippola, V., 2010. Eco-design -direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien lamppujen korvaaminen ulkovalaistuksessa.

Copyright © Sitra, Gaia

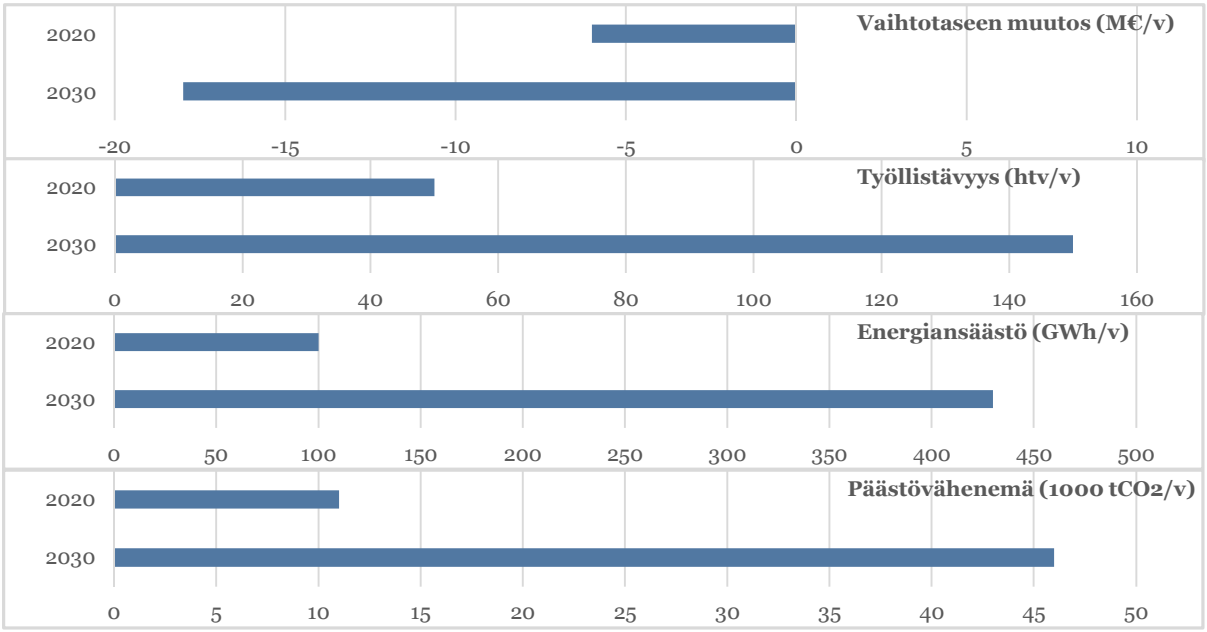
5.3.6 Lämmön talteenotto

Lämmön talteenottolaitteistoja (LTO) asennetaan käytännössä kaikkiin uudisrakennuksiin, joihin tämä tarkastelu rajataan. Korjausrakentamisessa LTO-laitteiston asentaminen on tapauskohtaista ja riippuu muun muassa kohteen ilmanvaihtojärjestelmästä. Pientaloihin LTO-laitteiston jälkikäteisasennukset ovat harvinaisia. Rakennusten kiristyvät energiatehokkuusvaatimukset kasvattavat LTO-laitteiden myyntiä energiatehokkuusmarkkinalla, jossa teknologia kilpailee etenkin erilaisten lämpöpumppujen kanssa.

Taulukon alla olevassa kuvassa näkyvä negatiivinen vaihtotasevaikutus johtuu pääosin teknologiatuonnista ja siitä, että LTO-teknologioilla ei korvata suoraan fossiilisia erillislämmöntuotannon (esim. kiinteistökohtaiset öljykattilat) polttoaineita, joilla olisi suurin positiivinen vaikutus vaihtotaseeseen.

Pientalot

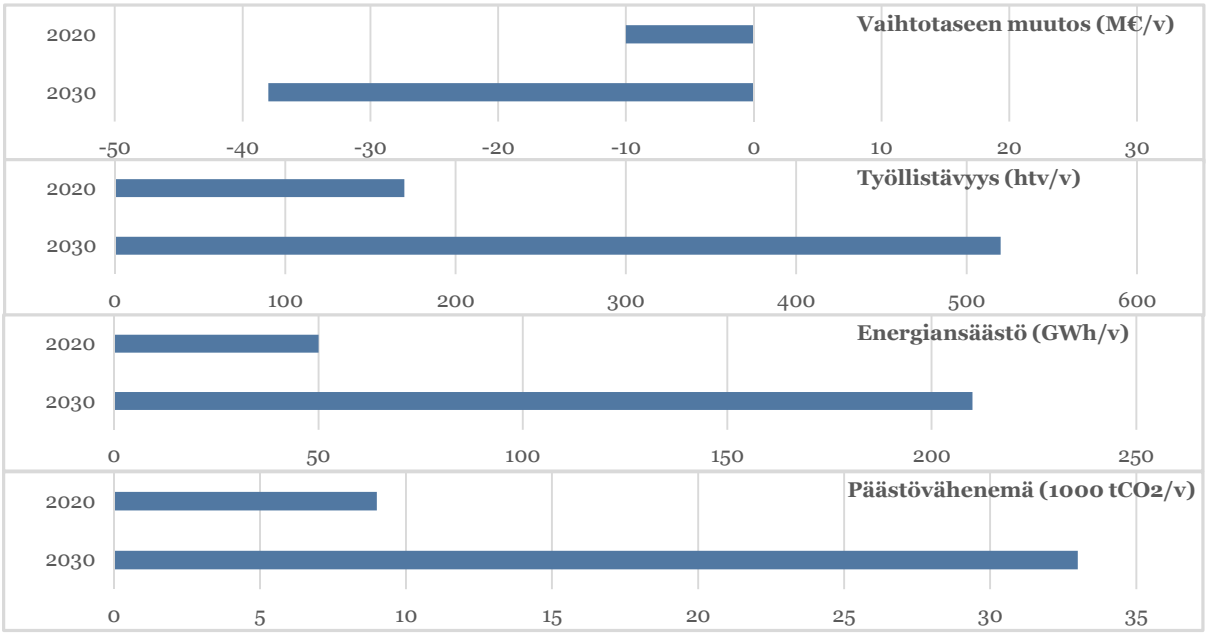
Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu lämmön talteenottolaitteiston investointikustannukset uusissa rakennuksissa sekä käytön ja kunnossapidon kustannukset. Oletuksena on, että kaikkiin uusiin pientaloihin tulee LTO-laitteisto. Koska kyseessä on vakiintunut teknologia uusissa rakennuksissa ja olemassa oleviin rakennuksiin tehtävät asennukset ovat harvinaisia, on teknologian osalta tarkasteltu ainoastaan yhtä skenaariota.
Nykytila	Asennetuista LTO-laitteistoista ei ole tarkkaa tietoa saatavilla.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	LTO-laitteistolla voidaan vähentää lämmöntarvetta vuonna 2020 noin 20 % verrattuna kohteeseen, johon ei tule LTO-laitteistoa. Vuonna 2030 lämmöntarpeen vähennyspotentiaali on 35 %.
	Käyttö- ja kunnossapitokustannuksena on käytetty 160 €/v/rakennus. Tämä koostuu lähinnä laitteiston suodattimen vaihdosta, joka tehdään itse.
Investointikustannus	Uuden pientalon osalta investointi on noin 4 000 €. Kumulatiivinen kokonaisinvestointi on näin ollen noin 232 M€ vuoteen 2020 ja noin 733 M€ vuoteen 2030 mennessä.



Copyright © Sitra, Gaia

Asuinkerrostalot

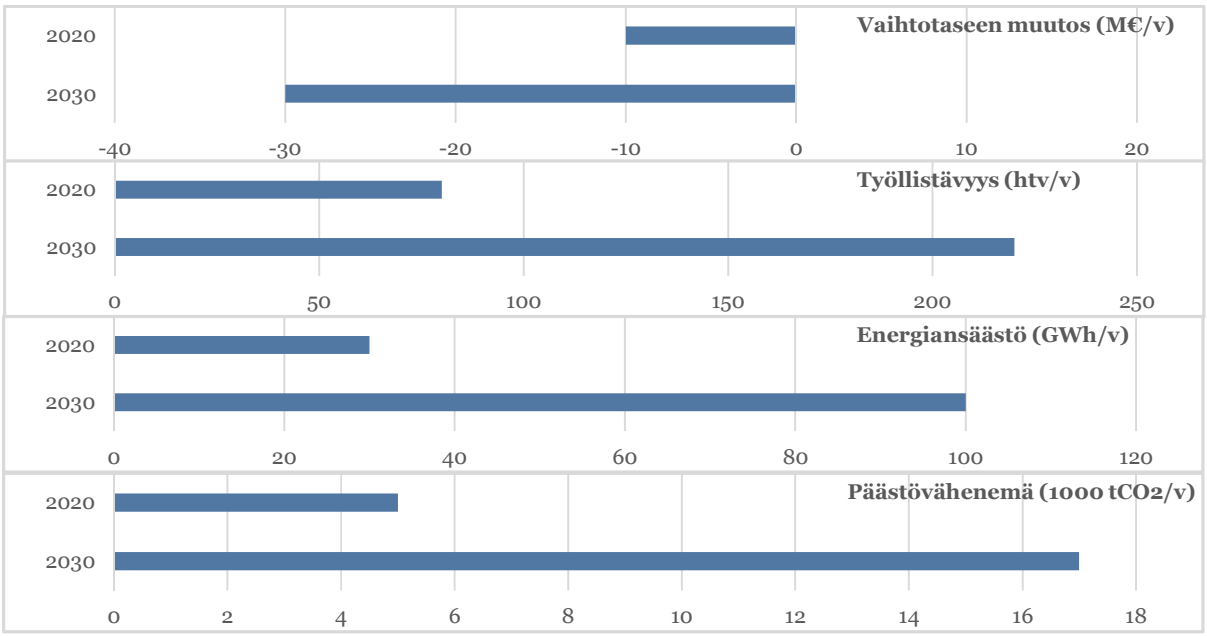
Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu lämmön talteenottolaitteiston investointikustannukset uusissa rakennuksissa sekä käytön ja kunnossapidon kustannukset. Oletuksena on, että kaikkiin uusiin asuinkerrostaloihin tulee huoneistokohtainen LTO-laitteisto. Koska kyseessä on vakiintunut teknologia uusissa rakennuksissa ja olemassa oleviin rakennuksiin tehtävät asennukset ovat tapauskohtaisia, on teknologian osalta tarkasteltu ainoastaan yhtä skenaariota.
Nykytila	Asennetuista LTO-laitteistoista ei ole tarkkaa tietoa saatavilla.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	LTO-laitteistolla voidaan vähentää lämmöntarvetta vuonna 2020 noin 20 % verrattuna kohteeseen, johon ei tule LTO-laitteistoa. Vuonna 2030 lämmöntarpeen vähennyspotentiaali on 35 %.
	Käyttö- ja kunnossapitokustannuksena on käytetty 80 €/v/huoneisto.
Investointikustannus	Uuden asuinkerrostalohuoneiston osalta investointi on noin 5 500 € vuonna 2020 ja noin 6 500 € vuonna 2030. Kumulatiivinen kokonaisinvestointi on näin ollen noin 508 M€ vuoteen 2020 ja noin 1 669 M€ vuoteen 2030 mennessä.



Copyright © Sitra, Gaia

Toimisto-, palvelu- ja teollisuusrakennukset

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu lämmön talteenottolaitteiston investointikustannukset uusissa rakennuksissa sekä käytön ja kunnossapidon kustannukset. Oletuksena on, että kaikkiin uusiin toimisto-, palvelu- ja teollisuusrakennuksiin tulee LTO-laitteisto. Koska kyseessä on vakiintunut teknologia uusissa rakennuksissa ja olemassa oleviin rakennuksiin tehtävät asennukset ovat tapauskohtaisia, on teknologian osalta tarkasteltu ainoastaan yhtä skenaariota.
Nykytila	Asennetuista LTO-laitteistoista ei ole tarkkaa tietoa saatavilla.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	LTO-laitteistolla voidaan vähentää lämmöntarvetta vuonna 2020 noin 30 % verrattuna kohteeseen, johon ei tule LTO-laitteistoa. Vuonna 2030 lämmöntarpeen vähennyspotentiaali on 50 %.
	Käyttö- ja kunnossapitokustannuksena on käytetty 1 000 €/v.
Investointikustannus	Uuden rakennuksen osalta investointi on noin 150 000 €. Kumulatiivinen kokonaisinvestointi on noin 320 M€ vuoteen 2020 ja noin 984 M€ vuoteen 2030 mennessä.

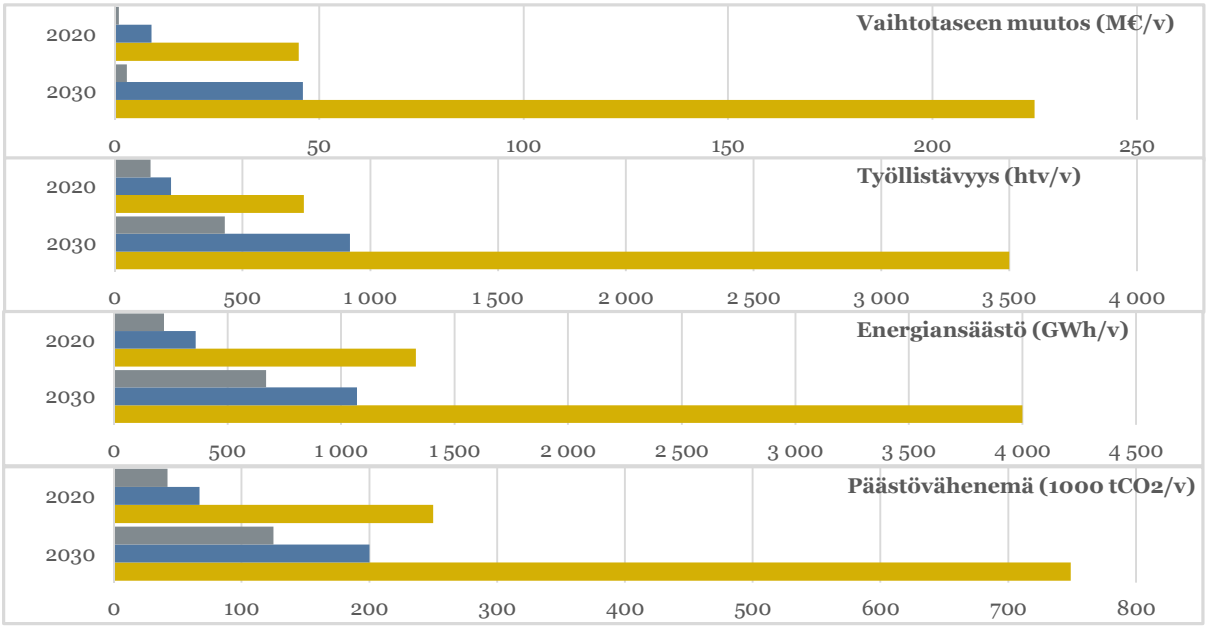


5.3.7 Energiatehokas korjausrakentaminen

Energiatehokkaalla korjausrakentamisella tarkoitetaan tässä korjausrakentamisen yhteydessä tehtyjä investointeja rakennuksen vaipan eristämiseen ja ikkunoiden vaihtamiseen energiatehokkaammiksi. Lämmön talteenottojärjestelmiä ei ole tarkasteltu korjausrakentamisen yhteydessä, sillä näiden asentaminen olemassa oleviin rakennuksiin on tapauskohtaista ja kustannukset vaihtelevat paljon, jolloin luotettavien laskelmien tekeminen ei ole tämän selvityksen puitteissa mahdollista. Erilaiset lämpöpumput puolestaan on käsitelty jo aiemmin erillisinä.

Copyright © Sitra, Gaia

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on allokoitu energiatehokkuudelle noin 20 % kustannuksista, joita syntyy korjausrakentamisen yhteydessä tehtävästä lisäeristämisestä ja ikkunoiden vaihdosta[39]. Käyttö- ja kunnossapitokustannuksia ei allokoida laskennassa energiatehokkuustoimille. Tarkastelussa on mukana ennen vuotta 1990 valmistuneet asuinrakennukset, toimistot, hoitoalan rakennukset sekä opetusrakennukset.
Nykytila	Tarkastelussa mukana olevan rakennuskannan kerrospinta-ala on noin 230 milj. m².
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Lisäeristämisellä ja ikkunoiden vaihdolla voidaan vähentää saneeratun rakennuksen lämmöntarvetta keskimäärin 5-12 %, riippuen skenaario-oletuksista. Eri lämmitysmuotojen tarve vähenee Suomen nykyisen lämmitystapajakauman mukaisesti.
	Tarkasteltavaa rakennuskantaa saneerataan harmaassa ja sinisessä skenaariossa 2 % ja keltaisessa skenaariossa 5 % vuosittain.
	Saneerattavien rakennusten kerrospinta-ala (kumulatiivinen määrä): **Harmaa:** 23 milj. m² vuonna 2020 ja 70 milj. m² vuonna 2030 **Sininen:** 23 milj. m² vuonna 2020 ja 70 milj. m² vuonna 2030 **Keltainen:** 58 milj. m² vuonna 2020 ja 175 milj. m² vuonna 2030
Investointikustannus	Korjausrakentamisen energiatehokkuuden parantamiselle allokoitu kustannus on arvioitu olevan 35 €/m². Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 818 M€ vuoteen 2020 ja 2 453 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 818 M€ vuoteen 2020 ja 2 453 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 2 044 M€ vuoteen 2020 ja 6 132 M€ vuoteen 2030 mennessä



[39] Oletuksena on, että 80 % kustannuksista kohdistuu asumismukavuuden parantamiseen. Toisin sanoen korjausrakentamista toteutetaan suurimmaksi osaksi muista kuin energiataloudellisista syistä.

Copyright © Sitra, Gaia

5.3.8 Sähköenergian kulutusjousto

Kulutusjouston ei oleteta tässä tarkastelussa säästävän energiaa, mutta kulutusjoustolla voidaan saavuttaa taloudellista hyötyä siirtämällä kulutusta ajankohdasta toiseen. Kysyntäjoustolla voi olla myös vaikutuksia muun sähköntuotannon ajojärjestykseen ja päästöihin. Käytännössä teknologian hyötyjen realisoituminen vaatii sähköjärjestelmältä älykkyyttä (älymittarit ja dynaaminen hinnoittelu). Sähkönkäyttäjä voi hyötyä siirtämällä kulutustaan kalliilta tunneilta halvemmille tunneille, jolloin sähkön kysyntä sähköjärjestelmässä tasoittuu. Kulutusjoustoa voidaan toteuttaa eri kokoluokissa aina kotitalouksista teollisuuskohteisiin. Tällä hetkellä merkittävää kulutusjoustokapasiteettia on Suomessa käytössä pääasiassa raskaassa teollisuudessa.

Kulutusjoustotuntien lukumääränä on laskennassa käytetty 178 h/v, joiden aikana kalliiden ja halpojen tuntien välinen keskimääräinen hintaero on noin 22 €/MWh[40]. Hintaero voi vaihdella vuosittain merkittävästikin ja sen voidaan olettaa kaventuvan kulutusjouston lisääntyessä. Hintaeron muutoksia kulutusjouston seurauksena ei ole otettu huomioon laskennassa.

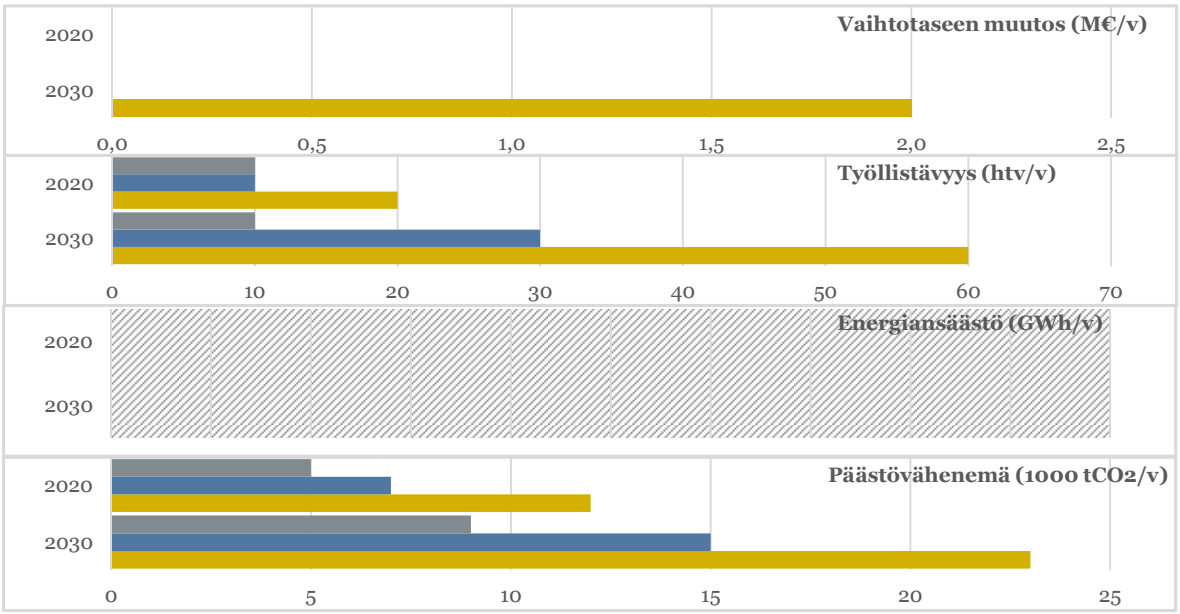
Alla olevissa taulukoissa on esitetty laskennan keskeiset rajaukset ja lähtötiedot kolmessa eri käyttökohteessa – kotitalouksissa, PK-sektorilla (esim. kauppakiinteistöt) sekä teollisuudessa. Tarkasteluissa on oletettu, ettei energiansäästöä synny.

Kotitaloudet

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu kulutusjoustolaitteiston investointikustannukset. Käyttö- ja kunnossapitokustannuksia ei oleteta syntyvän. Kotitaloudet ovat oikeutettuja kotitalousvähennykseen investoinnin työn osuudesta, mutta kustannuksia ei oleteta syntyvän riittävästi, jotta kotitalousvähennystä voidaan hyödyntää.
Nykytila	Asennetuista kulutusjoustolaitteistoista ei ole tarkkaa tietoa saatavilla.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Kotitalouksien sähkön kulutusjoustopotentiaaliksi (maksimipotentiaali) arvioidaan 3-5 % Suomen tehohuipusta vuonna 2020 ja 6-10 % vuonna 2030, riippuen skenaario-oletuksista. Tehohuipuksi on oletettu 16,5 GW vuosina 2020–2030. Kulutusjoustoon osallistuu joustotuntien aikana 60–90 % kotitalouksien maksimipotentiaalista, riippuen skenaario-oletuksista. Ajankohdasta toiseen siirretty sähköenergia on esitetty alla. **Harmaa:** 26 GWh/v vuonna 2020 ja 53 GWh/v vuonna 2030 **Sininen:** 41 GWh/v vuonna 2020 ja 82 GWh/v vuonna 2030 **Keltainen:** 66 GWh/v vuonna 2020 ja 132 GWh/v vuonna 2030
Investointikustannus	Laitteiston keskimääräiseksi investointikustannukseksi on arvioitu 300 € vuonna 2020 ja noin 150 € vuonna 2030. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 12 M€ vuoteen 2020 ja 19 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 17 M€ vuoteen 2020 ja 25 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 21 M€ vuoteen 2020 ja 31 M€ vuoteen 2030 mennessä

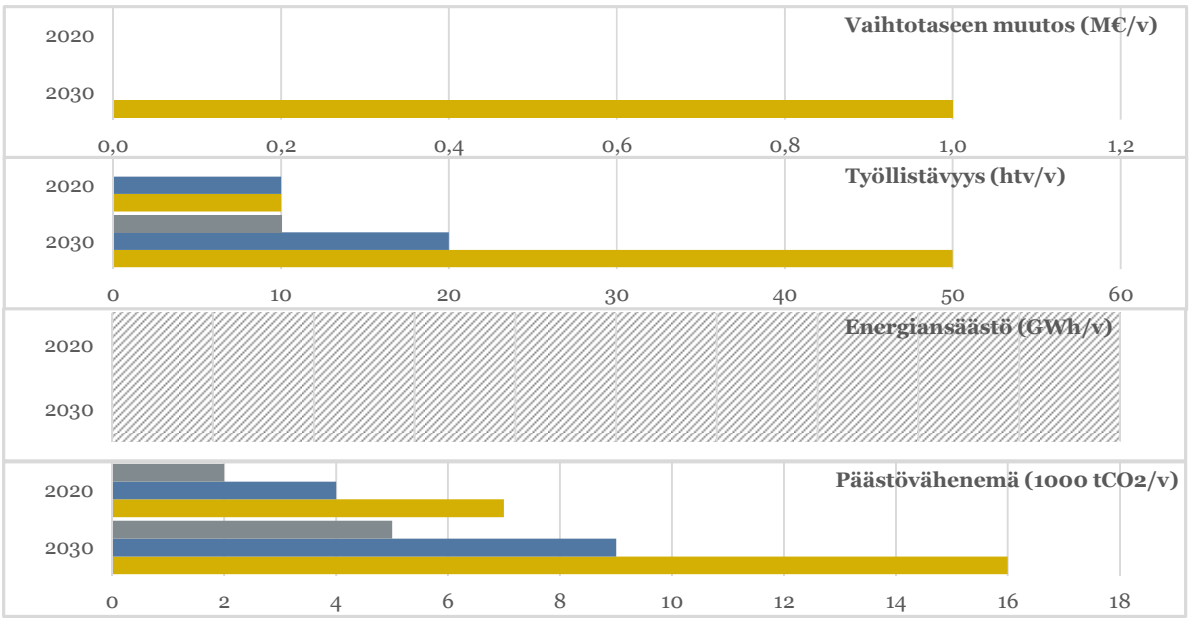
[40] Hintaeron keskiarvo talvikaudella vuorokauden kahden halvimman ja kalleimman tunnin erolle (NordPool aluehinnat vuosina 2001–2013).

Copyright © Sitra, Gaia



PK-sektori

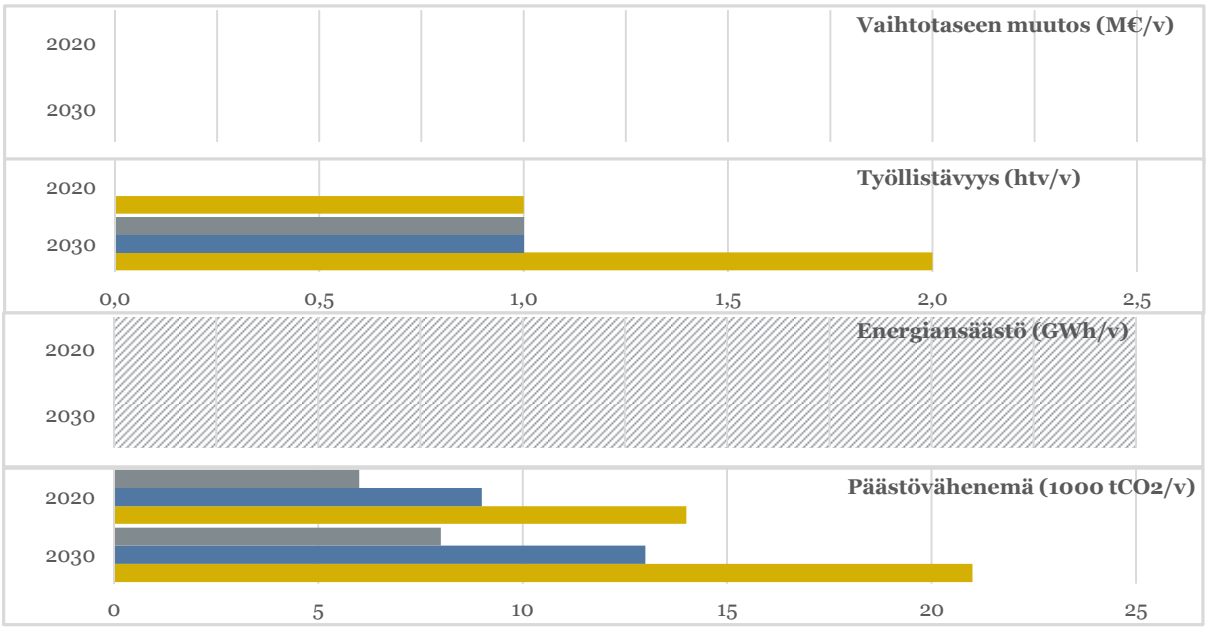
Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu kulutusjoustolaitteiston investointikustannukset. Käyttö- ja kunnossapitokustannukseksi on oletettu 200 €/v/laite.
Nykytila	Asennetuista kulutusjoustolaitteistoista ei ole tarkkaa tietoa saatavilla.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	PK-sektorin sähkön kulutusjouston maksimipotentiaaliksi arvioidaan 1-3 % Suomen tehohuipusta vuonna 2020 ja 3-7 % vuonna 2030, riippuen skenaario-oletuksista. Tehohuipuksi on oletettu 16,5 GW vuosina 2020–2030. Kulutusjoustoon osallistuu joustotuntien aikana 60–90 % PK-sektorin maksimipotentiaalista, riippuen skenaario-oletuksista. Ajankohdasta toiseen siirretty sähköenergia on esitetty alla. **Harmaa:** 9 GWh/v vuonna 2020 ja 26 GWh/v vuonna 2030 **Sininen:** 21 GWh/v vuonna 2020 ja 51 GWh/v vuonna 2030 **Keltainen:** 40 GWh/v vuonna 2020 ja 93 GWh/v vuonna 2030
Investointikustannus	Laitteiston keskimääräiseksi investointikustannukseksi on arvioitu 7 000 € vuonna 2020 ja n. 5 000 € vuonna 2030. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 4 M€ vuoteen 2020 ja 9 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 8 M€ vuoteen 2020 ja 16 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 12 M€ vuoteen 2020 ja 23 M€ vuoteen 2030 mennessä



Copyright © Sitra, Gaia

Teollisuus

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu kulutusjoustolaitteiston investointikustannukset. Käyttö- ja kunnossapitokustannukseksi on oletettu 2 000 €/v/laitteisto vuonna 2020 ja 1 600 €/v/laitteisto.
Nykytila	Asennetuista kulutusjoustolaitteistoista ei ole tarkkaa tietoa saatavilla.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Teollisuuden sähkön kulutusjoustopotentiaaliksi (maksimipotentiaali) arvioidaan 4–6 % Suomen tehohuipusta vuonna 2020 ja 5–9 % vuonna 2030, riippuen skenaario-oletuksista. Tehohuipuksi on oletettu 16,5 GW vuosina 2020–2030. Kulutusjoustoon osallistuu joustotuntien aikana 60–90 % PK-sektorin maksimipotentiaalista, riippuen skenaario-oletuksista. Ajankohdasta toiseen siirretty sähköenergia on esitetty alla. **Harmaa:** 35 GWh/v vuonna 2020 ja 44 GWh/v vuonna 2030 **Sininen:** 51 GWh/v vuonna 2020 ja 72 GWh/v vuonna 2030 **Keltainen:** 79 GWh/v vuonna 2020 ja 119 GWh/v vuonna 2030
Investointikustannus	Laitteiston investointikustannukseksi on arvioitu keskimäärin 100 000 € vuonna 2020 ja noin 80 000 € vuonna 2030. Kumulatiiviset okonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Kaikki skenaariot:** 0,5 M€ vuoteen 2020 ja 0,9 M€ vuoteen 2030 mennessä



5.4 Energian varastointi

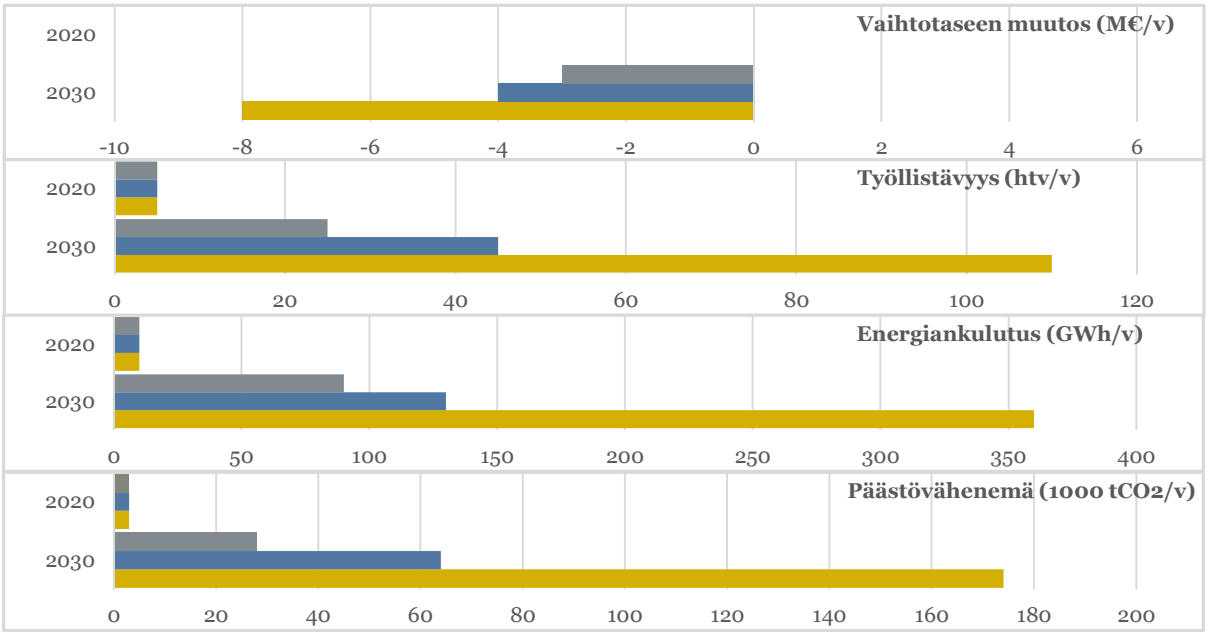
5.4.1 Pumppuvoimalaitokset

Pumppuvoimalaitoksia voidaan käyttää suurien sähkömäärien varastointiin. Laitosten taloudelliset edellytykset syntyvät hyödynnettäessä hintaeroja sähkömarkkinalla (veden pumppaus halvan sähkön aikana ja vesialtaan purkaminen korkean sähkönhinnan aikana). Teknologia vaatii toimiakseen vesialtaiden välisen korkeuseron sekä mahdollisesti suurtakin maastonmuokkausta. Suomessa lähiajan potentiaali on yksittäisissä kohteissa, joista merkittävin on Pyhäsalmen kaivoksen muuttaminen pumppuvoimalaitokseksi, kun kaivostoiminta alueella päättyy.

Copyright © Sitra, Gaia

Alla olevassa taulukossa on esitetty laskennan keskeiset rajaukset ja lähtötiedot. Taulukon alla olevassa kuvassa on esitetty teknologian keskeiset vaikutukset. Vaihtotaseen heikkeneminen johtuu teknologiatuonnin lisääntymisestä.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu pumppuvoimalaitoksen investointikustannukset sekä laitoksen käyttö- ja kunnossapitokustannukset, jotka ovat tarkastelujaksolla 5-8 €/MWh purettua sähköenergiaa.
Nykytila	Suomessa ei ole pumppuvoimalaitoksia.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Pumppuvoimaloiden potentiaalia on arvioitu perustuen Pyhäsalmelle ja Enontekiöön suunniteltujen voimaloiden arvioituun kapasiteettiin. Pumppuvoimaloilla tuotettu (varastosta purettu) sähköenergian määrä on esitetty alla. **Harmaa:** 25 GWh/v vuonna 2020 ja 275 GWh/v vuonna 2030 **Sininen:** 25 GWh/v vuonna 2020 ja 525 GWh/v vuonna 2030 **Keltainen:** 25 GWh/v vuonna 2020 ja 1 435 GWh/v vuonna 2030
Investointikustannus	Voimalan investointikustannukseksi on arvioitu 2 M€/MW vuonna 2020 ja 1,5–1,75 M€/MW vuonna 2030, riippuen skenaario-oletuksista. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 20 M€ vuoteen 2020 ja 195 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 20 M€ vuoteen 2020 ja 320 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 20 M€ vuoteen 2020 ja 620 M€ vuoteen 2030 mennessä



5.4.2 Sähköakut

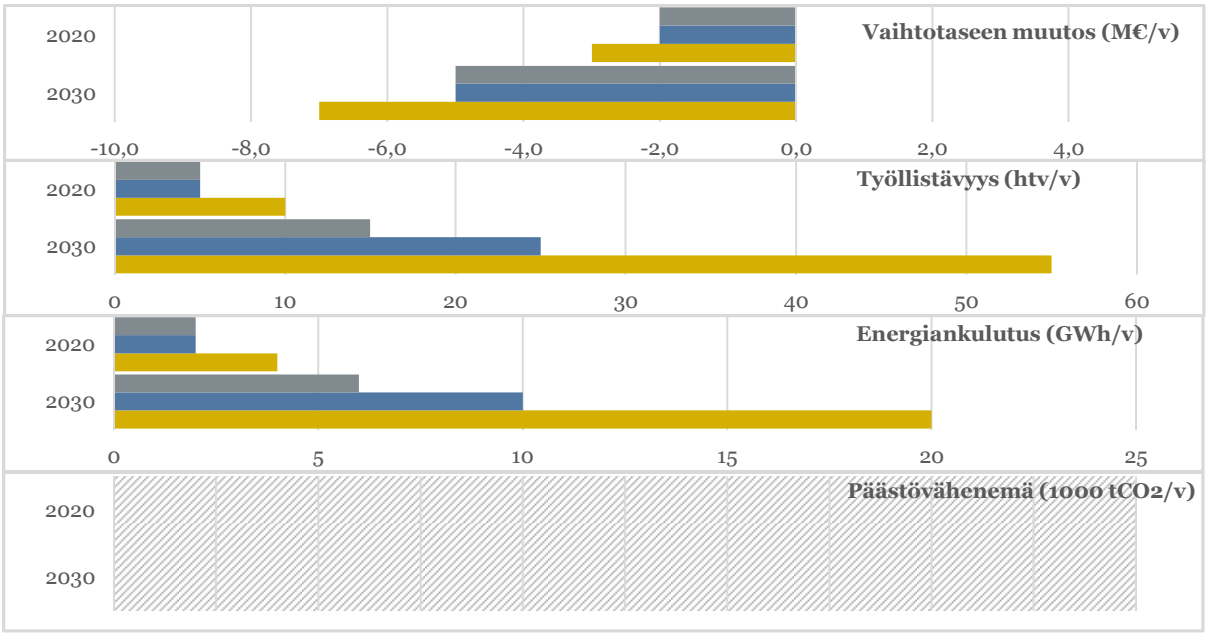
Sähköakkujen hinnat ovat alentuneet viime vuosina ja trendin ennustetaan jatkuvan myös lähitulevaisuudessa. Sähkön pientuottajien kannalta sähkön varastointi voi muodostua kannattavaksi, mikäli järjestelmä mitoitetaan oikein ja akkujen avulla voidaan kasvattaa tuotetun sähkön omakäyttöosuutta ja samalla välttää tuotannon verkkoon syöttöä. Tavallisesti akkuja on käytetty osana pientuotantojärjestelmiä sähköverkon ulkopuolella, mutta verkkosähkön hinnan noustessa ja akkuteknologian kustannustehokkuuden parantuessa järjestelmät saattavat yleistyä myös sähköverkon alueella. Suuremmassa kokoluokassa akuilla voidaan hyödyntää hintaeroja sähkömarkkinoilla sekä tasapainottaa sähköverkkoa.

Copyright © Sitra, Gaia

Alla olevissa taulukoissa on esitetty laskennan keskeiset rajaukset ja lähtötiedot kahdessa eri käyttökohteessa – kotitalouksissa ja teollisessa kokoluokassa energiayhtiöiden käytössä. Taulukoiden alla olevissa kuvissa on esitetty teknologian keskeiset vaikutukset tarkastelluissa käyttökohteissa. Vaihtotaseen alijäämä kotitalouskokoluokassa johtuu teknologiatuonnin lisääntymisestä.

Kotitaloudet

Laskennan rajaukset	Tarkastellaan litium-ioniakustoa, joka sisällytetään sähköverkkoon liitettyyn aurinkosähköjärjestelmään. Akkua käytetään varastoimaan aurinkosähkön tuotantoa, jolle ei tuotannon hetkellä ole tarvetta. Akusta puretaan sähköä silloin, kun aurinko ei paista ja sähkölle on tarvetta. Tarkastelussa on huomioitu akuston hankintakustannukset sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset, jotka ovat yhden akuston osalta noin 20 €/v.
Nykytila	Tarkkaa tietoa Suomessa käytössä olevista akuista osana verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä ei ole.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Akkujen potentiaalia on arvioitu tekemällä skenaariokohtaisia oletuksia siitä, kuinka suureen osaan Suomen pientaloista otetaan käyttöön aurinkosähköjärjestelmä, johon liitetään akusto. Oletus vaihtelee välillä 1-2 % vuonna 2020 ja 3-10 % vuonna 2030. Tällöin akkuja on asennettu pientaloihin seuraavasti (kpl ja purettu sähköenergia): **Harmaa:** 12 000 kpl ja 16 GWh/v vuonna 2020 ja 40 000 kpl ja 53 GWh/v vuonna 2030 **Sininen:** 12 000 kpl ja 16 GWh/v vuonna 2020 ja 66 000 kpl ja 89 GWh/v vuonna 2030 **Keltainen:** 24 000 kpl ja 32 GWh/v vuonna 2020 ja 131 000 kpl ja 177 GWh/v vuonna 2030
Investointikustannus	Akuston investointikustannukseksi on arvioitu 200–300 €/kWh (kapasiteetti) vuonna 2020 ja 100–150 €/kWh (kapasiteetti) vuonna 2030, riippuen skenaariooletuksista. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 36 M€ vuoteen 2020 ja 77 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 29 M€ vuoteen 2020 ja 94 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 48 M€ vuoteen 2020 ja 155 M€ vuoteen 2030 mennessä

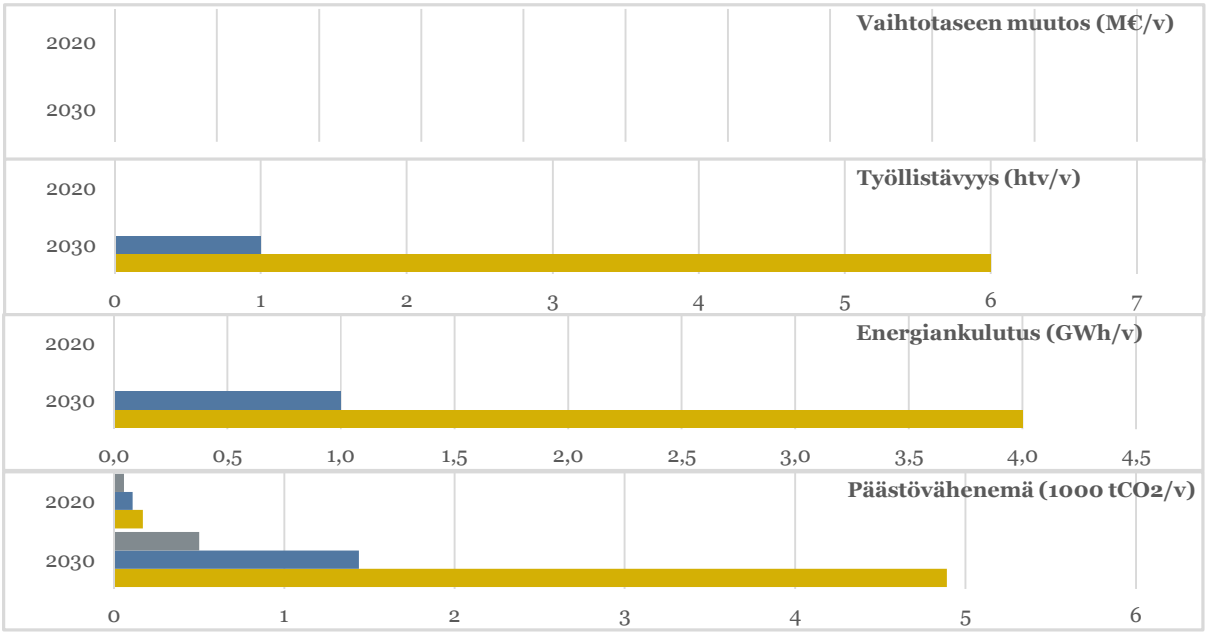


Akkuja käytetään tarkastelussa osana aurinkosähköjärjestelmää varastoimaan omaa tuotantoa. Järjestelmätasolla syntyy suoria päästövähenemiä, mutta näitä ei voida allokoida akuille.

Copyright © Sitra, Gaia

Energiayhtiöiden käyttämät suuren kokoluokan sähköakut

Laskennan rajaukset	Tarkastellaan suuren kokoluokan litium-ioniakustoa, joka liitetään sähköverkkoon. Akkua ladataan sähkön markkinahinnan ollessa alhainen ja puretaan kun sähkö on arvokkaampaa. Tarkastelussa on huomioitu akuston hankintakustannukset sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset, jotka on arvioitu olevan 5 €/MWh purettua sähköä.
Nykytila	Suomessa ei ole käytössä suuren kokoluokan sähköakkuja.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Akkujen potentiaalia on arvioitu tekemällä skenaariokohtaisia oletuksia siitä, kuinka monta suuren kokoluokan akkua Suomeen voisi tulla vuoteen 2030 mennessä. Oletuksena on, että vuonna 2020 Suomessa on käytössä 1-3 kpl 1 MW:n (0,5 MWh) akkuja ja vuonna 2030 akkuja tulee 4-17 kpl lisää (tehoväli 2-5 MW). Tällöin akkuja on käytössä seuraavasti (kpl ja purettu sähköenergia): **Harmaa:** 1 kpl ja 0,4 GWh/v vuonna 2020 ja 5 kpl ja 3,3 GWh/v vuonna 2030 **Sininen:** 2 kpl ja 0,7 GWh/v vuonna 2020 ja 10 kpl ja 9,5 GWh/v vuonna 2030 **Keltainen:** 3 kpl ja 1,1 GWh/v vuonna 2020 ja 20 kpl ja 32,1 GWh/v vuonna 2030
Investointikustannus	Akuston investointikustannukseksi on arvioitu 800–1 200 €/kW (teho) vuonna 2020 ja 400–600 €/kW (teho) vuonna 2030, riippuen skenaario-oletuksista. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 1,2 M€ vuoteen 2020 ja 6,0 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 2,0 M€ vuoteen 2020 ja 14,0 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 2,4 M€ vuoteen 2020 ja 36,4 M€ vuoteen 2030 mennessä



Vaihtotaseen muutos on niin vähäinen, että se ei näy kuvassa.

5.4.3 Power to gas

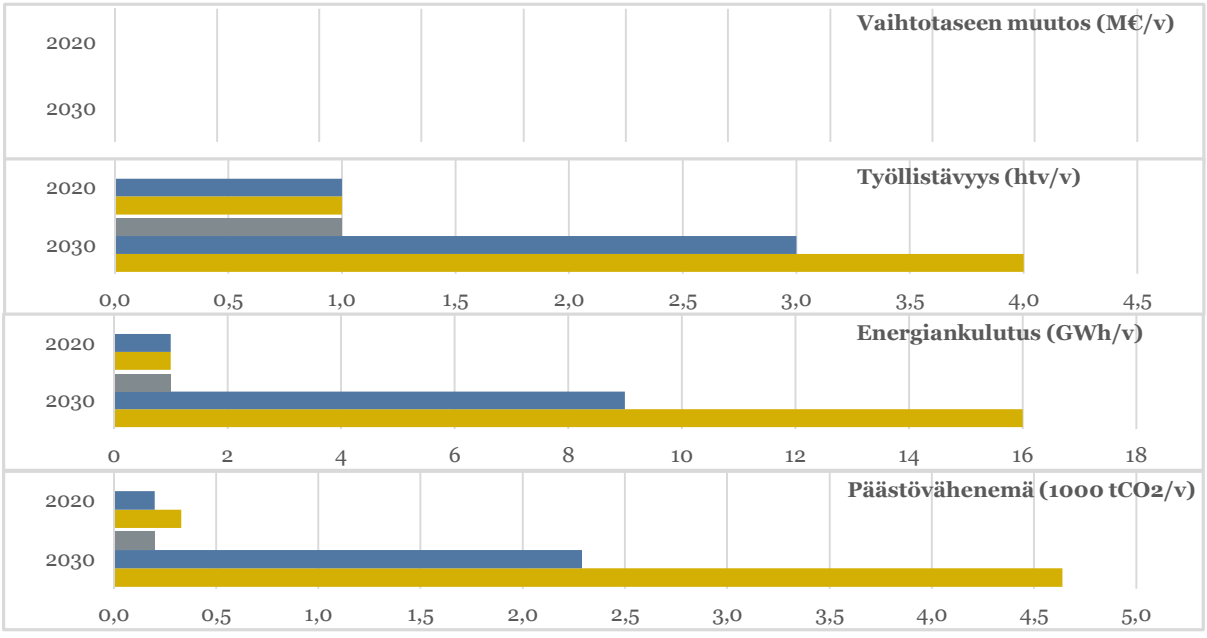
Power to gas -laitoksia voidaan käyttää teollisessa kokoluokassa kuten pumppuvoimalaitoksia ja akkuja, eli hyödyntämään sähkömarkkinan hintavaihteluita. Suurimpana erona edellisiin on, että sähköenergia varastoidaan polttoaineena – tässä tarkasteltavassa tapauksessa synteettisenä metaanina, joka valmistetaan elektrolyysillä. Metaania voidaan edelleen hyö-

Copyright © Sitra, Gaia

dyntää käyttötarkoituksessa, jossa sen arvo muodostuu suurimmaksi. Laskennassa on oletettu, että elektrolyysin kuluttamasta sähköstä maksetaan keskimäärin noin puolet sähkön keskimääräisestä markkinahinnasta ja metaani myydään maakaasun keskimääräiseen markkinahintaan. Elektrolyysin kuluttaman sähkön on oletettu olevan nollapäästöistä, sillä power to gas -laitoksia käytetään tyypillisesti silloin, kun hetkellinen tuotanto sähköverkossa perustuu päästöttömiin (ydin-, vesi- ja tuulivoima) tai lähes päästöttömiin tuotantomuotoihin.

Power to gas -laitosten sijainti ei ole niin riippuvainen maantieteellisistä sijainnista kuin pumppuvoimalaitoksien sijainti, mutta niiden hyötysuhde on heikompi. Käytännössä power to gas -laitokset on kuitenkin sijoitettava maakaasuverkoston varrelle.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu sähköstä metaania valmistavan laitoksen investointikustannukset sekä laitoksen käyttö- ja kunnossapitokustannukset, jotka ovat noin 3 % investoinnista. Laskennassa ei ole otettu huomioon hiilidioksidin hintaa metanoinnin (vedystä metaaniksi) yhteydessä.
Nykytila	Teknologiaa on otettu käyttöön etenkin Saksassa, jossa sitä hyödynnetään varastoimaan tuulivoiman ylituotantoa. Suomessa ei ole esitetty julkisesti suunnitelmia power to gas -laitoksien rakentamiseksi.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Power to gas -teknologian vaikutuksia on arvioitu perustuen oletuksiin uusien laitoksien lukumäärästä vuoteen 2030 mennessä. Arvioitu laitoksien lukumäärä ja vuotuinen metaanin tuotantomäärä eri skenaarioissa eri vuosina on esitetty alla. **Harmaa:** Ei laitoksia vuonna 2020 ja 1 laitos ja 1 GWh/v metaania vuonna 2030 **Sininen:** 1 laitos ja 1 GWh/v metaania vuonna 2020 ja 3 laitosta ja 12 GWh/v metaania vuonna 2030 **Keltainen:** 1 laitos ja 1,7 GWh/v metaania vuonna 2020 ja 3 laitosta ja 23 GWh/v metaania vuonna 2030
Investointikustannus	Voimalan investointikustannukseksi on arvioitu 1,8–2,0 M€/MW vuonna 2020 ja 1,0–1,8 M€/MW vuonna 2030, riippuen skenaario-oletuksista. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 0 M€ vuoteen 2020 ja 1,8 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 2,0 M€ vuoteen 2020 ja 9,2 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 1,8 M€ vuoteen 2020 ja 13,8 M€ vuoteen 2030 mennessä



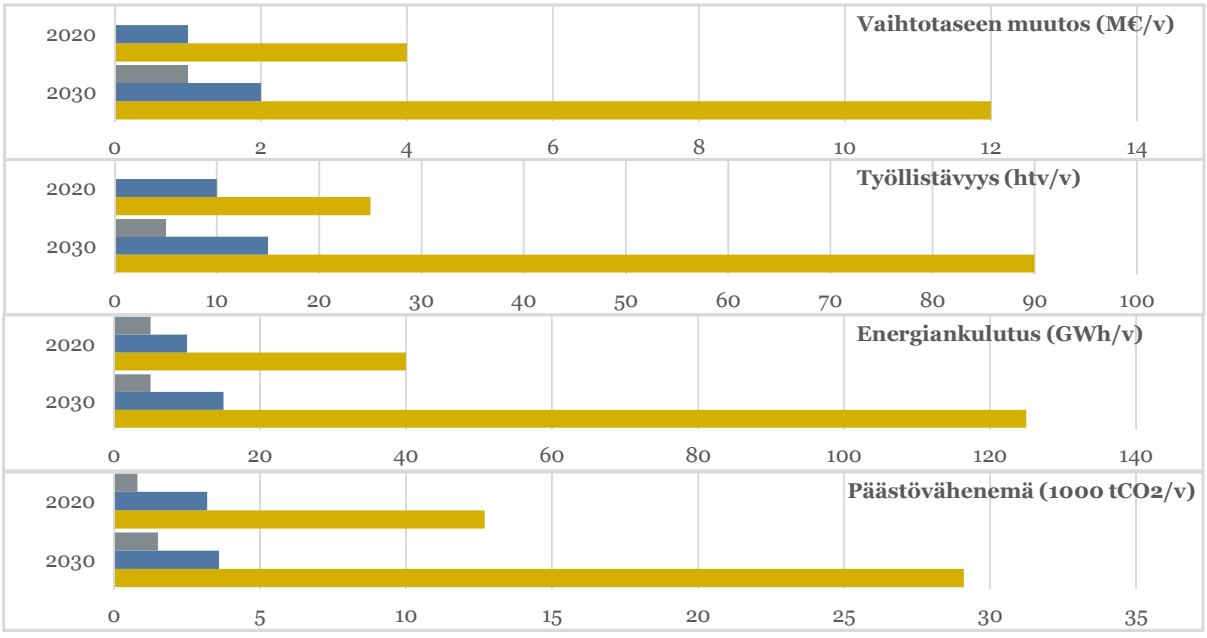
Vaihtotaseen muutos on niin vähäinen, että se ei näy kuvassa.

Copyright © Sitra, Gaia

5.4.4 Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä

Vesivarastoja (lämpöakkuja) hyödynnetään kaukolämpöjärjestelmässä ennen kaikkea lisäämään sähkön ja lämmön yhteistuotannon osuutta ja vähentämään kallista lämmön huipputuotantoa (usein fossiilisia polttoaineita käyttävä erillistuotanto). Suomeen rakennetut vesivarastot ovat tyypillisesti tilavuudeltaan 10 000-20 000 m³. Tätä suuremmat sovellukset ovat usein kalliolämpövarastoja, jollainen on käytössä mm. Oulussa.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu perinteisen vesisäiliöön perustuvan lämpövaraston investointikustannukset sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset, jotka on tässä oletettu olevan noin 5 €/MWh purettua lämpöä. Vesivarasto ladataan kaukolämmöllä, joka tuotetaan keskimääräisen polttoainejakauman mukaisesti. Purettu lämpö korvaa öljyllä ja maakaasulla tuotettua lämpöä kaukolämpöjärjestelmässä.
Nykytila	Suomessa on useita vähintään 10 000 m³ vesivarastoja, joita käytetään kaukolämpöverkossa.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Lämmön varastoinnin vaikutuksia on arvioitu perustuen oletuksiin uusien vesivarastojen lukumäärän kehittymisestä vuoteen 2030 asti. Arvioitu uusien varastojen lukumäärä verrattuna nykytilanteeseen sekä vuotuinen purettu lämpömäärä eri skenaarioissa eri vuosina on esitetty alla. **Harmaa:** 2 uutta varastoa ja 10 GWh/v vuonna 2020 ja 5 uutta varastoa ja 25 GWh/v vuonna 2030 **Sininen:** 3 uutta varastoa ja 38 GWh/v vuonna 2020 ja 5 uutta varastoa ja 63 GWh/v vuonna 2030 **Keltainen:** 3 uutta varastoa ja 150 GWh/v vuonna 2020 ja 10 uutta varastoa ja 500 GWh/v vuonna 2030
Investointikustannus	Vesisäiliövaraston investointikustannukseksi on arvioitu 100 €/m³ vuosina 2020–2030. Kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 2,0 M€ vuoteen 2020 ja 5,0 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 7,5 M€ vuoteen 2020 ja 12,5 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 15,0 M€ vuoteen 2020 ja 50,0 M€ vuoteen 2030 mennessä

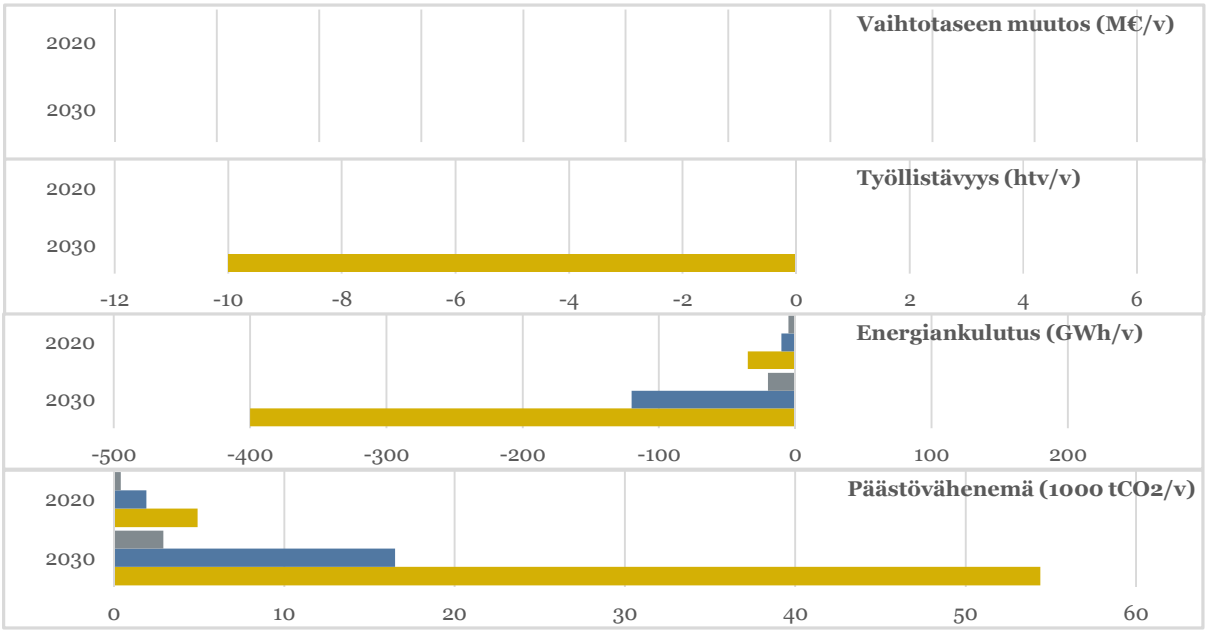


Copyright © Sitra, Gaia

5.4.5 Faasimuutosmateriaalit

Faasimuutosmateriaalien hyödyntäminen uudisrakentamisessa yleistyy. Materiaaleja käytetään lähinnä energian lyhytaikaiseen varastointiin matalissa lämpötiloissa ja niiden avulla voidaan vähentää sekä lämmityksen että jäähdytyksen tarvetta rakennuksissa integroimalla materiaaleja rakenteisiin. Faasimuutosmateriaalit leikkaavat muutoin jäähdytystä vaativat rakennusten sisäiset huippulämpötilat pois ja toisaalta vapauttavat lämpöä iltaisin ja öisin, jolloin yöaikainen lämmitystarve vähenee. Tämä johtaa sekä energiantarpeen että päästöjen vähenemiseen.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu uudisrakennusten rakenteisiin integroitavien faasimuutosmateriaalien investointikustannukset. Käyttö- ja kunnossapitokustannuksia ei oleteta syntyvän. Hyötyjä syntyy sekä lämmitys- että jäähdytysenergian tarpeen vähentyessä.
Nykytila	Tarkkaa tietoa faasimuutosmateriaalien hyödyntämisestä rakennusteollisuudessa ei Suomen osalta ole.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Energian varastoinnin potentiaalia on arvioitu perustuen arvioon uudisrakentamisen kehittymisestä sekä faasimuutosmateriaalien käytön yleistymisestä uudessa rakennuskannassa. Oletus uudisrakennusten pinta-alaosuudesta, jossa hyödynnetään faasimuutosmateriaaleja, vaihtelee välillä 1-4 % vuonna 2020 ja 3-12 % vuonna 2030. Faasimuutosmateriaalien sitoma ja vapauttama (ei häviöitä) energiamäärä eri skenaarioissa on esitetty alla. **Harmaa:** 2,3 GWh/v vuonna 2020 ja 15,9 GWh/v vuonna 2030 **Sininen:** 9,1 GWh/v vuonna 2020 ja 91,0 GWh/v vuonna 2030 **Keltainen:** 27,3 GWh/v vuonna 2020 ja 300 GWh/v vuonna 2030
Investointikustannus	Faasimuutosvarastojen investointikustannukseksi on arvioitu 40–50 €/kWh (varastointikapasiteetti) vuonna 2020 ja 30–50 €/kWh (varastointikapasiteetti) vuonna 2030. Kumulatiiviset kokonaisinvestoinnit on esitetty alla. **Harmaa:** 1,1 M€ vuoteen 2020 ja 8,0 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 3,6 M€ vuoteen 2020 ja 36,4 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 10,9 M€ vuoteen 2020 ja 92,8 M€ vuoteen 2030 mennessä



Vaihtotaseen muutos on niin vähäinen, että se ei näy kuvassa.

Copyright © Sitra, Gaia

5.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat

5.5.1 Bioetanolin tuotantoteknologiat

Biopolttoaineiden tuotanto on vahvasti kytketty RES-direktiiviin ja Suomen asettamiin biopolttoainetavoitteisiin[41,42]. Suomen kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelmassa mainittuun jakeluvelvoitteen mukaan biopolttoaineiden osuus jakelussa olisi 20 % vuonna 2020[43]. Tämä voi olla joko kotimaista tai ulkomailta tuotua. Globaalisesti biopolttoaineiden osuus liikenteen polttoaineista vuonna 2030 tulee eri skenaarioiden mukaan olemaan 8–17 % riippuen lähteestä[44].

Suuri osa biopolttoainevalmistajista tähtää sekoitettavien ”blend-in”-tuotteiden tuotantoon. E10-bensiini, jossa käytetään bioetanolia, on esimerkki tällaisesta. Suomen bioetanolin tuotanto on vielä vähäistä, mutta tavoitteena on lisätä sitä. Kotimaisen tuotannon kasvu vaatii toimivat raaka-aineen tuotantoketjut sekä investointeja. Suomessa kestäväksi ja kilpailukykyiseksi luokitellut raaka-aineet ovat biojätteet, peltobiomassat sekä puubiomassat.

Bioetanolia on valmistettu sokeri- ja tärkkelyspitoisista kasveista maailmanlaajuisesti jo pitkään, mutta koska nämä kasvit kilpailevat ruoantuotannon kanssa, direktiivit ja tutkimuspanostukset suuntaavat nyt tähde- ja jätepohjaisiin ratkaisuihin, joissa ligniinin ja selluloosan hyödyntäminen on oleellinen tekijä. Suomi on vahvan metsäteollisuuden johdosta edelläkävijä metsäbiomassan käytössä sekä lignoselluloosan tutkimuksessa[45].

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu laitosinvestoinnit, laitosten käyttö ja kunnossapito, tuotannon vaatimat resurssit ja tuotetun bioetanolin käyttö. Raaka-ainetuotannon investoinnit, energiankulutus ja päästöt on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Vientipotentiaalia ei ole arvioitu, koska tästä ei saatu lähtötietoja[46].

[41] EU:n komission syksyllä 2012 julkaisemassa ehdotuksessa esitetään, että vuonna 2020 liikenteessä käytetyistä biopolttoaineista enintään 5 % voisi olla perinteisiä nk. ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita, joiden raaka-aineet kilpailevat ruoantuotannon kanssa. Komission tavoitteena on lisätä jäte- ja tähdepohjaisten sekä muiden ruokaketjun ulkopuolisten raaka-aineiden käyttöä biopolttoainetuotannossa.

[42] Tulevina vuosina biovelvoitteen tiukentuessa Suomella on tavoitteena lisätä omaa biopolttoainetuotantoa, jossa hyödynnetään direktiivien kirjaus niin kutsutuista kaksoislaskettavista biopolttoaineista. Tällöin tietyistä raaka-aineista valmistetut biopolttoaineet voidaan laskea biopolttoainevelvoitteeseen kaksinkertaisina. Kaksoislaskettaviksi raaka-aineiksi hyväksytään biopolttoaineet, jotka on valmistettu jätteistä, tähteistä tai muiden kuin ruoka-aineiden selluloosasta ja lignoselluloosasta. Suomessa tuotettu jätepohjainen bioetanoli sekä metsätähdepohjainen biodiesel täyttävät kaksoislaskettavien biopolttoaineiden kriteerit. Näissä raaka-aineena käytetään jätettä, tähteitä tai muuta kuin ruoka-aineiden selluloosaa ja lignoselluloosaa.

[43] TEM, Biopolttoaineiden jakeluvelvoite.

[44] Remap 2030: 17 %, BP Energy Outlook 2030: 8%, IEA World Energy Outlook (2012) “450”: 10%

[45] Lignoselluloosan hyödyntämisen ongelmat ovat samat sekä agropohjaisten että metsäpohjaisten jäännösmateriaalien käsittelyssä.

[46] Sekä St1 Biofuels, että Chempolis markkinoivat teknologiaansa ulkomaille. Samoin vientipotentiaali on entsyymiteknologialla ja fraktiointiteknologialla, joka kehittyy entisestään Suomen ensimmäisten selluloosaa käsittelevien laitosten myötä. Teknologian vientipotentiaalia ei ole otettu mukaan tähän tarkasteluun, mutta tulevaisuudessa potentiaalia on.

Copyright © Sitra, Gaia

Nykytila	Suomessa on kuusi bioetanolia tuottavaa laitosta, joiden yhteiskapasiteetti on 110 GWh/v[47]. Tästä 80 % menee liikennekäyttöön.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Biopolttoaineiden kokonaistuotannon kehittyminen Suomessa eri skenaarioissa: **Harmaa:** Jakeluvelvoitteet katetaan myös ulkomailla tuotetuilla biopolttoaineilla. **Sininen:** Suomen liikennepolttoaineista 20 % on uusiutuvia sekä vuonna 2020 että vuonna 2030. Uusiutuvasta osuudesta 80 % katetaan kotimaisilla biopolttoaineilla vuonna 2020 ja 100 % vuonna 2030. **Keltainen:** Jakeluvelvoite katetaan täysin kotimaisilla biopolttoaineilla vuonna 2020 ja vuoden 2030 arvioitu biopolttoaineiden tarve, 58 GWh [48], katetaan täysin kotimaisilla biopolttoaineilla (noin 30 % liikennepolttoaineista on uusiutuvia vuonna 2030). Skenaariot ja tavoitteet eivät ota kantaa siihen miten biopolttoaineet jakautuvat bioetanolin, biodieselin ja biokaasun välissä. Tästä syystä eri biopolttoaineiden skenaariot on rakennettu yritysten olemassa olevaan kapasiteetteihin, suunnitelmiin ja Suomen tavoitteisiin perustuen. Vuoden 2020 skenaario perustuu siihen, että voimassa olevat suunnitelmat sekä jo rakenteilla olevat laitokset toteutuvat[49] ja tuotantokapasiteetti lasketaan näistä. Myös isoimpien valmistajien tuotantokapasiteettien kasvusuunnitelmat huomioidaan laskelmissa.
	Suomen bioetanolituotannon kehitys liikennekäyttöön eri skenaarioissa: **Harmaa:** 0,7 TWh/v vuonna 2020 (8 laitosta) ja 0 TWh/v vuonna 2030 (tuotanto ohjautunut kemikaalikäyttöön)[50] **Sininen:** 0,7 TWh/v vuonna 2020 (8 laitosta) ja 0,9 TWh/v vuonna 2030 (12 laitosta) **Keltainen:** 1,0 TWh/v vuonna 2020 ja 1,3 TWh/v vuonna 2030
	Suomessa tuotettu bioetanoli korvaa bioetanolin tuontia[51].
	Bioetanolilaitokset saavat investointitukea[52].
	Päästöjen laskennassa on huomioitu bioetanolituotannon energiankulutus, joka lisää päästöjä Suomessa (oletettu, ettei vähennä bioetanolituotantoa ulkomailla). Liikenteen päästöissä ei tapahdu muutosta, koska autoihin tankataan samanlaista E10-bensiiniä kuin nykytilanteessa. Tuontietanoli toki vapautuu käytettäväksi toisaalla, mutta tämä vaikutus on rajattu tarkastelun ulkopuolelle, koska vaikutus ei välttämättä ole Suomessa ja sen käyttökohteesta ei ole tietoa.
Investointikustannus	Kumulatiivinen investointikustannus tuotantolaitoksiin (mukana vain liikennekäyttöön ohjautuvalle bioetanolille allokoitu osuus kustannuksista): **Harmaa:** 56 M€ vuoteen 2020 mennessä (vuonna 2030 koko tuotanto ohjautunut muuhun kuin liikennekäyttöön) **Sininen:** 56 M€ vuoteen 2020 ja 77 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 90 M€ vuoteen 2020 ja 120 M€ vuoteen 2030 mennessä

[47] Viisi biojätepohjaista etanolia tuottavaa laitosta (1 000—9 000 m3 bioetanolia/v, St1 Biofuels) ja yksi peltobiomassapohjaista etanolia tuottava laitos (5000 m3 bioetanolia/v, Chempolis). Tuotanto vastaa 0,2 % Suomen käytetystä liikenteen bensiinimäärästä ja 3 % Suomen bioetanolitarpeesta. Euroopan bioetanoli tuotanto oli 42 TWh vuonna 2013 (Eurostat).

[48] Low Carbon Finland 2050: biopolttoaineiden kokonaiskulutus Suomessa 2020 11 TWh, 2030: 16 TWh

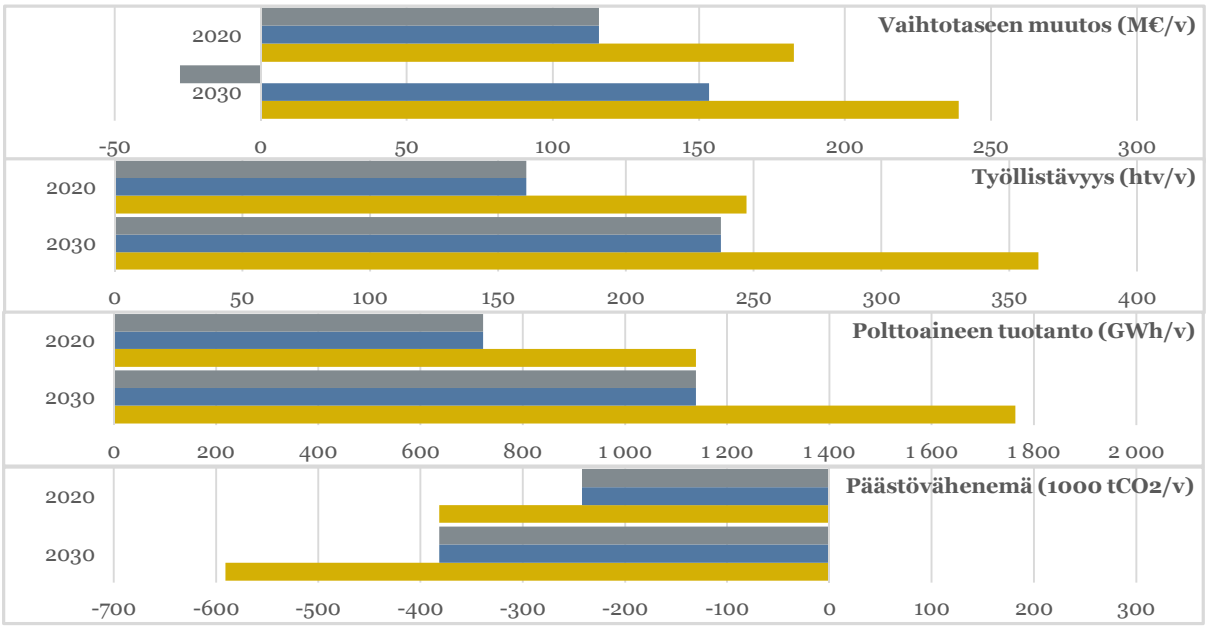
[49] Suunnitelmista kaupalliseen tuotantoon vie 3-10 vuotta.

[50] Sahanpurupohjaista etanolia tuottava laitos (10 000 m3 bioetanolia/vuosi, St1 Biofuels) on käynnistetty. Lisäksi yksi suurempi peltobiomassaa käyttävä bioetanolilaitos, kahdesta suunnitteilla olevista laitoksista, on pystytetty. Bioetanolin käyttö raaka-aineena kemikaalien tuotannossa tai0 bioetanolilaitosten muokkaaminen kemikaalien tuotantoon soveltuvaksi on mahdollinen skenaario vuonna 2030, jolloin Suomessa tuotettu bioetanoli siirtyisi pois liikennekäytöstä.

[51]

[52] Suomen valtion budjetissa vuonna 2014 korvamerkitty raha bioetanolilaitosten investointitukiin on oletuksena laskennassa. Oletuksena oli, että sama summa, 70 M€, annetaan kerran ennen vuotta 2020 ja kerran ennen vuotta 2030.

Copyright © Sitra, Gaia



5.5.2 Biodieselin tuotantoteknologiat

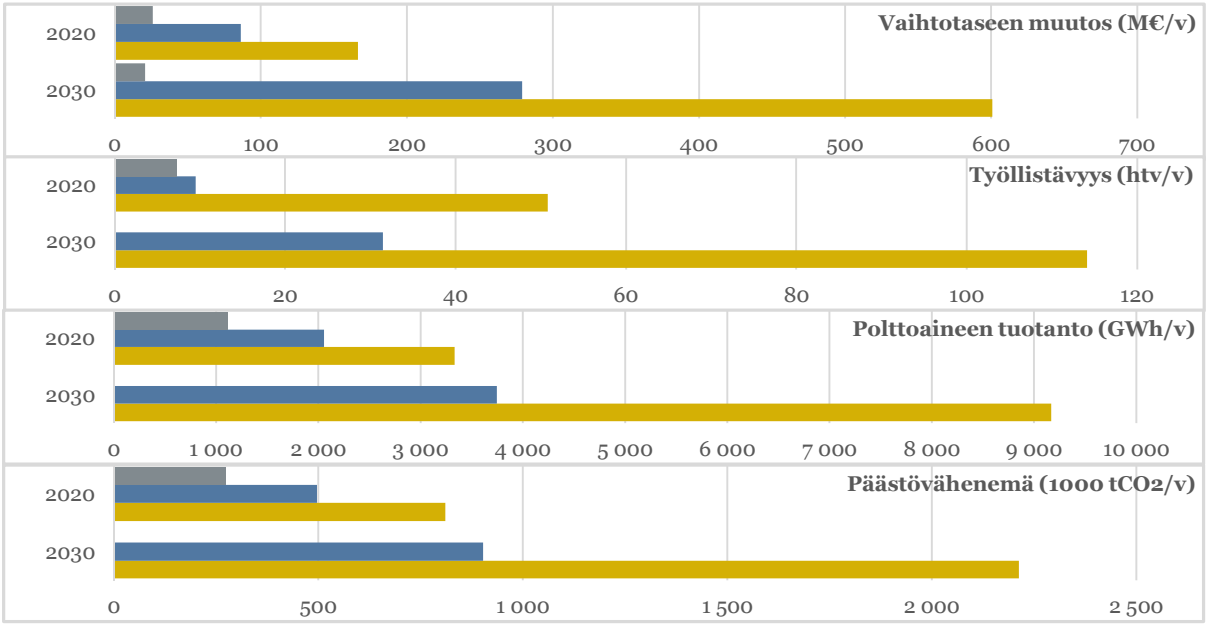
Suomi on edelläkävijä biodieselin tuotannossa[53]. Moderni biodiesel soveltuu sellaisenaan dieselmoottoreihin. Teknologia on kypsä ja pystyy käsittelemään rasvatähteitä, kasviöljyjä ja mäntyöljyä[54]. Myös pyrolyysiöljyä[55] voidaan jatkojalostaa biodieseliksi, mutta nykyään sen kustannukset ovat vielä korkeat.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu laitosinvestoinnit, laitoksen käyttö ja kunnossapito, tuotannon vaatimat resurssit, tuotetun biodieselin käyttö ja fossiilisten polttoaineiden kulutuksen väheneminen. Raaka-ainetuotannon investoinnit, energiankulutus ja päästöt on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Vientipotentiaalia ei ole arvioitu, koska tästä ei saatu lähtötietoja[56].
Nykytila	Suomessa on kaksi biodieseliä tuottavaa laitosta, joiden yhteiskapasiteetti on 4,7 TWh/v[57,58].
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Biopolttoaineiden kokonaistuotannon kehittyminen vastaavasti kuin bioetanolituotannon kohdalla on selitetty.

[53] Neste Oililla on tuotantolaitoksia Euroopassa ja Aasiassa.
[54] Mäntyöljyä syntyy sivutuotteena selluntuotannossa (noin 2 % tuotetusta sellumäärästä). Ruotsissa SunPine (Chemrec) ja Preem ovat edelläkävijöitä mäntyöljystä tehdyn biodieselin tuotannossa. Suomessa mäntyöljystä on tehty korkeakemikaaleja sekä polttoöljyä. Raaka-aineen tuonti ulkomailta on mahdollista, kotimaisesta raaka-aineesta on kilpailua.
[55] Pyrolyysiöljyn jalostus ei Neste Oilin nykyteknologialla onnistu yhteisjalostamalla sitä raakaöljyn kanssa. Yhdysvalloissa ja muualla Euroopassa kehitetään kovalla vauhdilla yhteisjalostusteknologiaa. Yhteisjalostamon tuote on 10 % biopolttoainetta sisältävä diesel. Jos öljyjalostamot Suomessa tuottavat biodieseliä pyrolyysiöljystä, niin todennäköisin tuotantoreitti olisi UOP-menetelmän kautta, jolloin lopputuote on 100 % biodiesel.
[56] Teknologian vientipotentiaalia on, mutta yritykset eivät halunneet antaa tästä tietoja.
[57] Lisäksi 1 tuotantolaitos on juuri aloittanut tuotantonsa, mutta tämä kapasiteetti on laskettu mukaan vuoden 2020 skenaarioon. Kyseessä on UPM:n 1 TWh laitos, joka käyttää mäntyöljyä raaka-aineena.
[58] 32 % Suomen käytetystä liikenteen dieselmäärästä. Euroopan biodieseltuotanto oli 116 TWh vuonna 2013. (Eurostat)

Copyright © Sitra, Gaia

	Biodieseltuotannon kehitys eri skenaarioissa: **Harmaa:** 5,8 TWh/v vuonna 2020 (mäntyöljypohjaisen biodieselin tuotanto nousee täyteen kapasiteettiin) ja 4,7 TWh /v vuonna 2030 (mäntyöljyn tuotanto vähenee Suomessa tai sen käyttö painottuu kemikaalikäyttöön) **Sininen:** 6,8 TWh /v vuonna 2020 (jätepohjaisen biodieselin tuotanto kasvaa ja mäntyöljypohjaisen biodieselin tuotanto nousee täyteen kapasiteettiin) ja 8,5 TWh /v vuonna 2030 **Keltainen:** 8,1 TWh /v vuonna 2020 ja 13,9 TWh /v vuonna 2030
	Biodiesel korvaa fossiilisen dieselin käyttöä.
	Päästöjen laskennassa on huomioitu biodieseltuotannon energiankulutus, joka lisää päästöjä Suomessa (oletettu, ettei vähennä muuta dieseltuotantoa). Liikenteen päästöt vähenevät, kun fossiilinen polttoaine korvataan. Päästövaikutuksissa on huomioitu myös Suomessa tuotettu, ulkomaille myyty biodiesel.
Investointikustannus	Kumulatiivinen investointikustannus tuotantolaitoksiin: **Harmaa:** 78 M€ vuoteen 2020 mennessä (vuonna 2030 mäntyöljy on ohjautunut muuhun kuin biodieselin jalostuskäyttöön, muu tuotanto samalla tasolla kuin 2015) **Sininen:** 120 M€ vuoteen 2020 ja 330 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 530 M€ vuoteen 2020 ja 1 150 M€ vuoteen 2030 mennessä



5.5.3 Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat

Kaasun käyttö Suomen liikenteessä on nykyisin vähäistä sekä biokaasun että maakaasun osalta. Muissa maissa, esimerkiksi Ruotsissa, on jo nähty voimakasta kasvua biokaasun tuotannossa ja kaasuautojen määrissä[59]. Kaasuautot ovat yleistymässä myös Suomessa. Biokaasun tuotanto on yleistymässä, mutta pääasiallisesti biokaasulaitokset toimivat jätteenkäsitte-

[59] Ruotsin nykyinen liikenteen biokaasun tuotanto on 1,7 TWh. Arvioitu potentiaalinen kasvu vuoteen 2030 on 22 TWh. (Svenskt Gastekniskt Centers)

Copyright © Sitra, Gaia

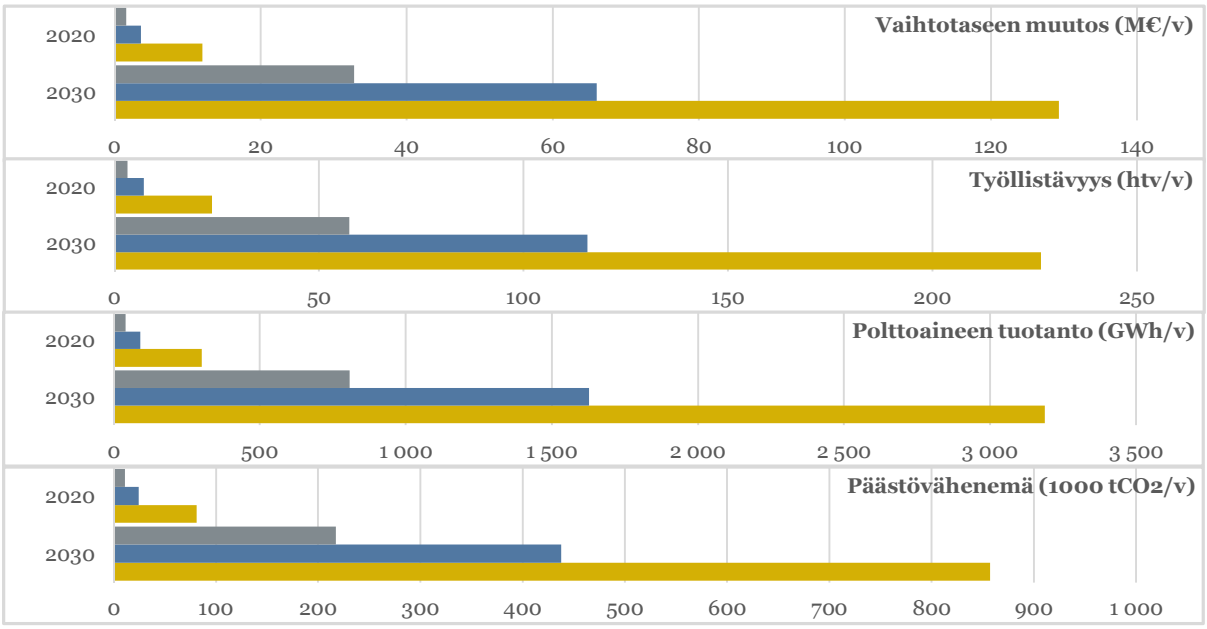
lylaitoksina, joiden sivutuotteita ovat sähkö ja lämpö. Biokaasuntuottajat ovat kuitenkin kiinnostuneita liikenteen biokaasun tuottamisesta.[60]

Kaasulla kulkevat autot ovat hinnaltaan ja moottorin tehokkuudessa samalla tasolla kuin bensiini- ja dieselautot, mutta kaasu on nykyisillä verokannoilla halvempi polttoaine. Kaasuautojen yleistymisen esteenä ovat lähinnä kaasun saatavuus ja tottumukset. Raaka-aineeksi biokaasun tuotannolle sopivat sekä jätevedenpuhdistamoiden lietteet että bio-, maatalous- ja teollisuusjätteet.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu laitosinvestoinnit, laitoksen käyttö ja kunnossapito, tuotannon vaatimat resurssit, tuotetun biokaasun käyttö ja fossiilisten polttoaineiden kulutuksen väheneminen. Raaka-ainetuotannon investoinnit, energiankulutus ja päästöt on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Laskenta on rajattu henkilöautojen käyttämään liikennebiokaasuun. Autojen hankinnan kustannukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.
Nykytila	Suomessa on 1600 kaasukäyttöistä henkilöautoa[61] ja viisi biokaasua jalostavaa laitosta[62]. Lisäksi on Suomessa on käytössä pieni määrä kaasukäyttöisiä linjaautoja, mutta ne on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Biokaasua käyttävien henkilöautojen määrän kehitys eri skenaarioissa[63]: **Harmaa:** 6500 autoa vuonna 2020 ja 105 000 autoa vuonna 2030 **Sininen:** 13 000 autoa vuonna 2020 ja 210 000 autoa vuonna 2030 **Keltainen:** 40 000 autoa vuonna 2020 ja 410 000 autoa vuonna 2030
	18 % autoista on täyskaasuautoja[64]. Hybridiauton energiankulutuksesta 80 % on kaasua[65].
	Liikennebiokaasun tuotantoa kasvatetaan kysynnän mukaan[66]. Biokaasu korvaa bensiinin ja dieselin käyttöä Suomen liikenteessä.
	Suomen vientipotentiaaliksi on arvioitu 0 % Euroopan markkinasta[67].
	Energiankulutus ei kasva, koska biokaasulaitos hyödyntää tuotannossaan energiana omaa tuotettaan. Liikenteen päästöt Suomessa vähenevät, kun fossiilinen polttoaine korvataan.
Investointikustannus	Kumulatiivinen investointikustannus tuotantolaitoksiin: **Harmaa:** 12 M€ vuoteen 2020 mennessä ja 200 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 27 M€ vuoteen 2020 ja 400 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 90 M€ vuoteen 2020 ja 790 M€ vuoteen 2030 mennessä

[60] Biovakka Suomi Oy ja Envor Oy pohtivat liikenteen biokaasun tuottamista. Gasum Oy suunnittelee jakeluverkon kasvattamista.
[61] Biokaasurekisteri
[62] Suuri osa tuotetusta biokaasusta menee prosessin omaan käyttöön. Liikennebiokaasun tuotantopaikkoja eli biokaasun jalostuslaitoksia on viisi ja niillä kaikilla on eri operaattori. Ne sijaitsevat (käyttöönottojärjestyksessä) Laukaassa (Metener, 2002), Kouvolassa (KSS Energia, 2011), Haapajärvellä (Metaenergia, 2012), Espoossa (Gasum, 2012) ja Forssassa (Envor Biotech, 2013). Jalostuslaitoksista kaksi syöttää kaasun Suomen kaasuverkon kautta tankkausasemilla ja kolme suoraan tankkausasemille. Biokaasu on peräisin jätevedestä sekä kiinteästä yhdyskuntien, teollisuuden ja maatalouden biojätteistä. Liikenteen käyttöön tuotetaan tällä hetkellä 28 GWh biokaasua ja sähkön ja lämmön tuotantoa varten 560 GWh, josta 48 % biojätteistä ja 52 % kaatopaikkakaasusta (suomenbiokaasuyhdistys.net). Tuotanto vastaa 0,1 % Suomen nykyisestä liikenteen polttoainemäärästä.
[63] Sininen skenaario perustuu LVM:n Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluverkkosuunnitelman laadinnan tueksi koottu ad hoc -ryhmän arvioon (luonnosvaiheen raportti), keltainen skenaario vastaavasti kuin sähköautojen kehitykselle, harmaa skenaario 50 % sinisestä skenaariosta.
[64] Trafi 31.12.2014
[65] Liikennebiokaasu.fi
[66] Kulutetusta liikennemetaanista 27 % oli biokaasua vuonna 2013. Oletettu, että Suomessa kaasuautot käyttävät tulevaisuudessa 100 % kotimaista biokaasua.
[67] Biokaasuteknologia on kehittynyt muualla ja Suomen on vaikea päästä kilpailuun kiinni enää.

Copyright © Sitra, Gaia



5.5.4 Vedyn tuotanto (vesielektrolyysi)

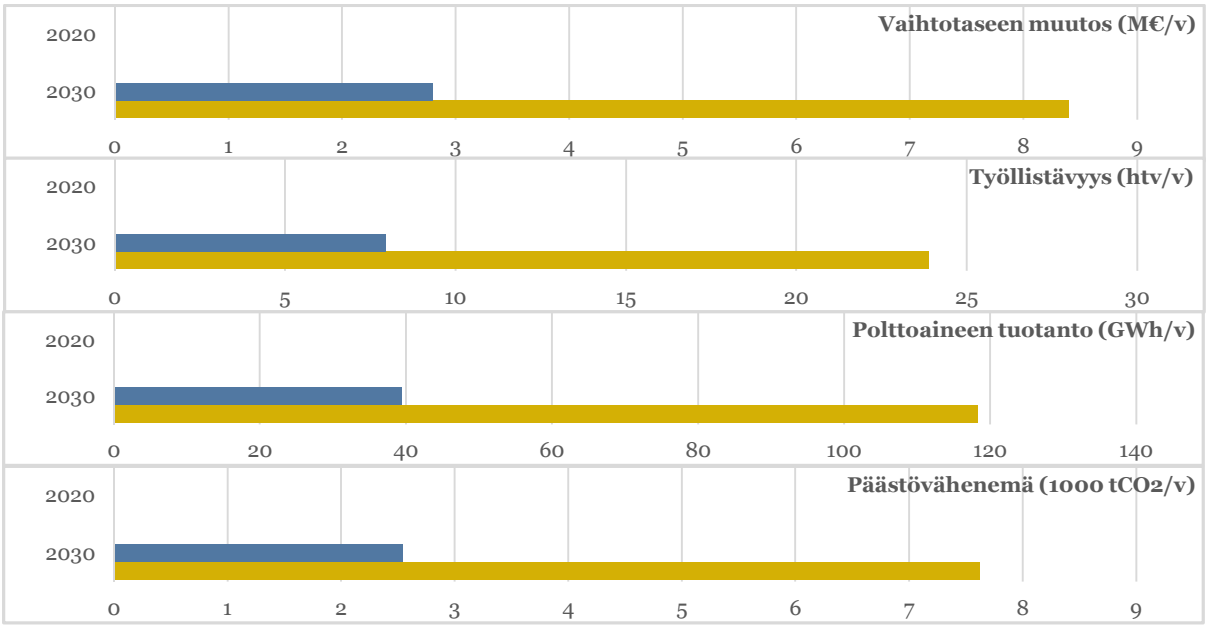
Suomessa on pitkä kokemus vedyn käsittelystä muun muassa öljynjalostuksessa ja kemian teollisuudessa[68]. Kemianteollisuuden sivutuotteena syntyy myös merkittäviä määriä vetyä, jota voisi puhdistettuna myydä liikenteen polttoaineeksi. Sivutuotevedyn on arvioitu jo yksinään riittävän kattamaan lähes koko vetypolttoainetarpeen liikennekäytössä 2030 asti.[69] Tässä tarkastelu on kuitenkin käytännön syistä rajattu yhteen tuotantoteknologiaan, vesielektrolyysilaitoksiin[70]. Sivutuotevetyyn liittyvät kustannukset ovat liikesalaisuuksia.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu laitosinvestoinnit, laitoksen käyttö ja kunnossapito, tuotannon vaatimat resurssit, tuotetun vedyn käyttö ja fossiilisten polttoaineiden kulutuksen väheneminen. Vedyn jakelutoiminta on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Autojen hankinnan kustannukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.
Nykytila	Suomessa on yksi vesielektrolyysilaitos[71].
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Vesielektrolyysilaitosten määrän kehitys eri skenaarioissa[72]: **Harmaa:** ei muutosta nykytilaan **Sininen:** ei muutosta nykytilaan vuonna 2020 ja 1 uusi laitos vuonna 2030 **Keltainen:** ei muutosta nykytilaan vuonna 2020 ja 3 uutta laitosta vuonna 2030
	Oletettu, että kaikki laitoksissa tuotettu vety korvaa bensiinin ja dieselin käyttöä

[68] VTT (2013), Vetytiekartta
[69] Woikoski Oy:n mukaan sivutuotevetyä syntyy teollisuudessa 1500 t/vuosi. Tästä hyödynnetään nykyisellään selvästi alle puolet. Suuri osa sivutuotevedystä päästetään vapaaksi ilmaan.
[70] Vesielektrolyysi on puhtain vedyn tuotantoteknologioista ja sen kehittämiseen panostetaan Suomessa (VTT (2013), Vetytiekartta).
[71] Woikoski Oy:n Kokkolan tehdas
[72] Woikoski, 2015

Copyright © Sitra, Gaia

	liikenteessä. Todellisuudessa vetyä voidaan käyttää myös muissa kohteissa.
	Teknologiavientipotentiaalia ei ole arvioitu olevan Suomella.
	Energiankulutus Suomessa kasvaa, kun vesielektrolyysiin tarvitaan sähköä. Tuotannon sähkönkäyttö lisää päästöjä, mutta liikenteen päästöt vähenevät samalla, kun fossiilinen polttoaine korvataan.
Investointikustannus	Kumulatiivinen investointikustannus tuotantolaitoksiin: **Harmaa:** 0 € **Sininen:** 0 € vuoteen 2020 ja 10 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 0 € vuoteen 2020 ja 30 M€ vuoteen 2030 mennessä



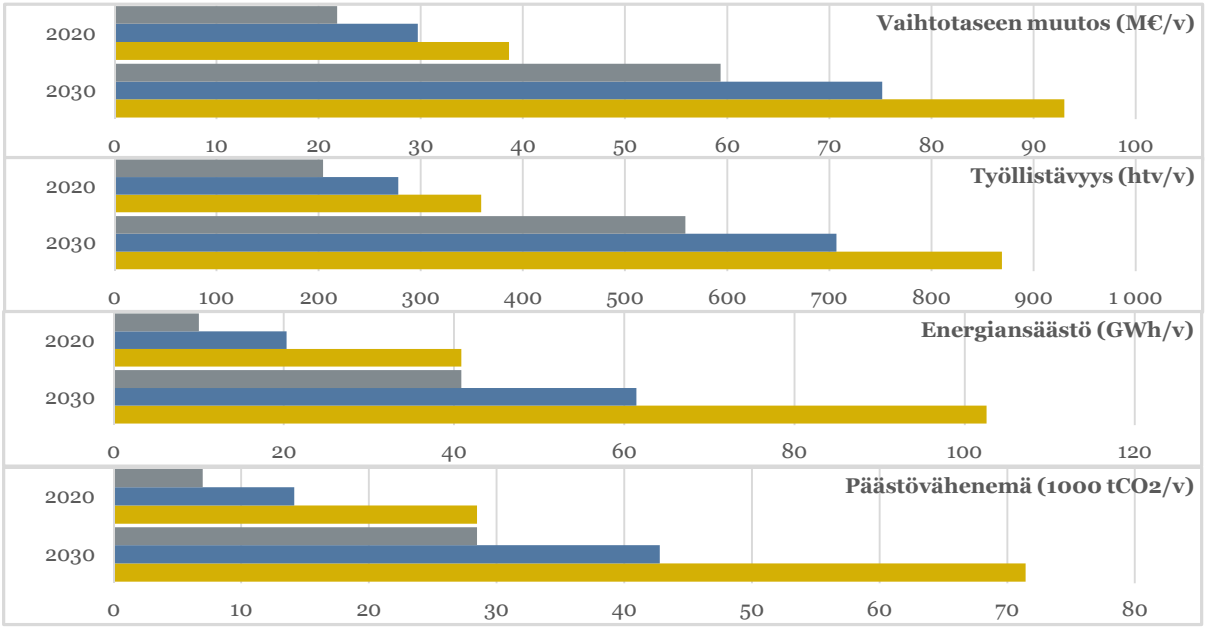
5.5.5 Vetyautojen tankkausteknologia

Kansainvälinen autoteollisuus on ilmoittanut tuovansa polttokennoautoja kuluttajamarkkinoille 2015 alkaen[73]. Ensimmäinen vetyauto tuotiin testikäyttöön Suomeen vuonna 2014[74]. Vetypolttoaine sopii hyvin esimerkiksi takseille ja jakeluautoille, jotka liikkuvat suppealla maantieteellisellä alueella eli tässä tapauksessa harvalukuisten tankkausasemien läheisyydessä. Woikoski Oy:n arvion mukaan Euroopassa kysyntä vetytankkausasemille on kuitenkin huomattavasti Suomea suurempi ja Suomen teknologiavientipotentiaali on merkittävä.

[73] VTT (2013), Vetytiekartta
[74] www.hyundai.fi/suomen-ensimmainen-vetykayttoinen-hyundai-ix35/ (viitattu 15.3.2015)

Copyright © Sitra, Gaia

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu tankkausasemainvestoinnit, tankkausasemilta jaellun vedyn käyttö ja fossiilisten polttoaineiden kulutuksen väheneminen. Vedyn tuotanto on rajattu laskennan ulkopuolelle. Autojen hankinnan kustannukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Vientipotentiaalin laskenta on rajattu tankkausasemateknologiaan.
Nykytila	Suomeen on rakennettu vuoden 2015 alkuun mennessä kaksi vetytankkausasemaa[75].
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Vetytankkausasemien määrän kehitys eri skenaarioissa (kumulatiivinen määrä)[76]: **Harmaa:** 5 asemaa vuonna 2020 ja 20 vuonna 2030 **Sininen:** 10 asemaa vuonna 2020 ja 30 vuonna 2030 **Keltainen:** 20 asemaa vuonna 2020 ja 50 vuonna 2030
	Vety korvaa bensiinin ja dieselin käyttöä liikenteessä.
	Vetytankkausasemien viennin määrän kehitys eri skenaarioissa (kumulatiivinen määrä)[77]: **Harmaa:** 30 asemaa vuonna 2020 ja 80 vuonna 2030 **Sininen:** 40 asemaa vuonna 2020 ja 100 vuonna 2030 **Keltainen:** 50 asemaa vuonna 2020 ja 120 vuonna 2030
	Energiankulutus Suomessa vähenee, kun siirrytään polttomoottoriautoista polttokennoautoihin. Liikenteen päästöt vähenevät, kun fossiilinen polttoaine korvataan.
Investointikustannus	Kumulatiivinen investointikustannus vetytankkausasemiin: **Harmaa:** 5 M€ vuoteen 2020 ja 27 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 12 M€ vuoteen 2020 ja 42 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 27 M€ vuoteen 2020 ja 72 M€ vuoteen 2030 mennessä



[75] Helsingin Vuosaari ja Voikoski, Vuosaaressa trukit kulkevat vedyllä
[76] Woikoski Oy:n arviona 5-15 asemaa vuonna 2020 ja 20-40 asemaa vuonna 2030. Harmaa ja sininen skenaario on luotu näistä arvioista. Keltainen skenaario edustaa optimistisempaa arviota.
[77] Woikoski Oy:n arviona 30-50 asemaa vuonna 2020 ja 100 asemaa vuonna 2030.

Copyright © Sitra, Gaia

5.5.6 Sähköautojen latausteknologia

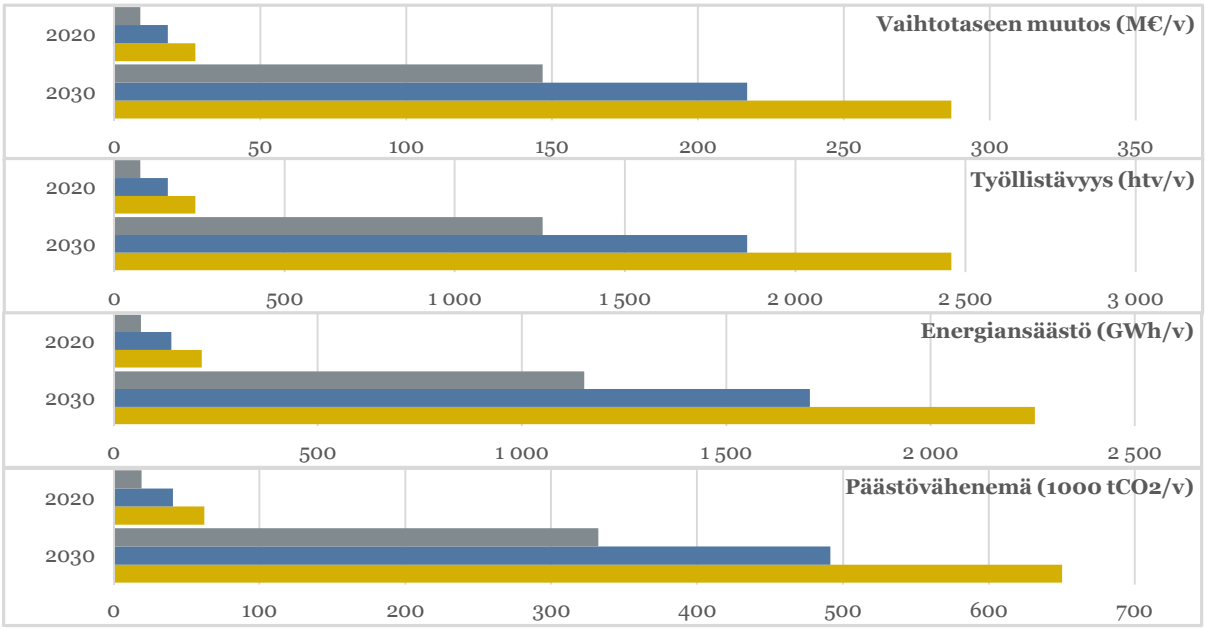
Suomessa on tällä hetkellä vähän sähköautoja, mutta kasvun ennustetaan olevan nopeaa muun muassa akkuteknologian hintojen laskiessa[78]. Sähköisen liikenteen kasvu vaatii riittävän kattavan latausverkoston.

Suomella on arvioitu olevan vientipotentiaalia latausteknologiassa. Lisäksi suomalaisilla yrityksillä on arvioitu olevan merkittävää potentiaalia mm. ohjelmistotoimittajana älykkään liikenteen ja älykkään sähköverkon toteuttamisessa.[79] Sähköautot voivat toimia myös osana energiajärjestelmää: mm. sähköverkon taajuusohjattuna reservinä.

Laskennan rajaukset	Tarkastelu on rajattu henkilöautojen lataukseen ja siinä on huomioitu laturien hankinta, lataussähkön käyttö ja fossiilisten polttoaineiden kulutuksen väheneminen. Autojen hankinnan kustannukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Vientipotentiaalin laskenta on rajattu latausteknologiaan.
Nykytila	Suomessa on 913 sähkökäyttöistä henkilöautoa[80] (täyssähköautot ja ladattavat hybridit yhteensä) ja 144 julkista sähköautojen latauspistettä[81].
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Sähköautojen määrän kehitys eri skenaarioissa (kumulatiivinen määrä): **Harmaa:** 13 000 autoa vuonna 2020 ja 210 000 autoa vuonna 2030[82] **Sininen:** 26 500 autoa vuonna 2020 ja 310 000 autoa vuonna 2030[83] **Keltainen:** 40 000 autoa vuonna 2020 ja 410 000 autoa vuonna 2030[84]
	Jokainen uusi sähköauto korvaa yhden polttomoottoriauton (diesel tai bensiini). Täyssähköautojen osuus sähköautoista on 50 %.
	Kotilatauspisteitä rakennetaan suhteessa 1:1 verrattuna automäärään, työpaikkalatauspisteitä suhteessa 2:1 ja julkisia latauspisteitä suhteessa 10:1 (näistä 10 % teholatausta ja 90 % hidasta latausta)[85].
	Euroopan latausteknologiamarkkinan koon on arvioitu olevan 100-kertainen verrattuna Suomen markkinaan. Suomen vientipotentiaaliksi on arvioitu 2 % Euroopan markkinasta[86].
	Energiankulutus Suomessa vähenee, kun siirrytään polttomoottoriautoista sähköautoihin. Liikenteen päästöt vähenevät, kun fossiilinen polttoaine korvataan sähköllä (jonka ominaispäästönä on Suomen keskimääräinen sähköntuotannon päästö).
Investointikustannus	Kumulatiivinen investointi sähkölatauspisteisiin: **Harmaa:** 25 M€ vuoteen 2020 ja 430 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 53 M€ vuoteen 2020 ja 640 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 81 M€ vuoteen 2020 ja 840 M€ vuoteen 2030 mennessä

[78] Mm. liikenne- ja viestintäministeriö, VTT, Aalto-yliopisto.
[79] Gaia Consulting Oy (2015), Sähköisen liikenteen dynaamiset vaikutukset (Teknologiateollisuus ry:n tilaama selvitys).
[80] Trafilta saatu tieto 21.1.2015. Huom! Trafin tilastoinnissa 2014 ja aiemmin ladattavat hybridit on osin tilastoitu tavallisiin polttomoottoriautoihin ja siksi julkaistuissa tilastoissa sähköautomäärä on em. lukua pienempi. Trafi täsmentää tilastointiaan 2015 kuluessa.
[81] Sähköinenliikenne.fi, www.sahkoinenliikenne.fi/suomen-julkiset-latauspisteet, viitattu 5.3.2015.
[82] Teknologiateollisuus ry:n maltillisen SEURAAJA-skenaarion mukaisesti. Lähde: Gaia Consulting Oy (2015), Sähköisen liikenteen dynaamiset vaikutukset (Teknologiateollisuus ry:n tilaama selvitys).
[83] Keskiarvo Teknologiateollisuuden skenaarioista.
[84] Teknologiateollisuus ry:n tavoitteellisen MAHDOLLISTAJA-skenaarion mukaisesti.
[85] Gaia Consulting Oy (2015), Sähköisen liikenteen dynaamiset vaikutukset (Teknologiateollisuus ry:n tilaama selvitys).
[86] Gaia Consulting Oy (2015), Sähköisen liikenteen dynaamiset vaikutukset (Teknologiateollisuus ry:n tilaama selvitys).

Copyright © Sitra, Gaia



5.5.7 Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat

Polttomoottorien tehostamismahdollisuuksia tutkitaan intensiivisesti. On arvioitu, että kaikki teknologiaparannukset johtavat yhteensä jopa 61 % säästöön henkilöautoissa ja 34 % säästöön raskaassa liikenteessä[87]. Yhteisvaikutus syntyy aerodynamiikasta, kevyemmistä materiaaleista ja taloudellisesta ajotavasta[88], mutta ennen kaikkea tehokkaammasta moottoriteknologiasta[89]. Tässä on valittu tarkasteluun polttoainekäyttöä optimoivaa RCCI-teknologiaa hyödyntävän dual-fuel-moottorin asennus olemassa olevaan autokantaan[90]. Tämä voidaan implementoida olemassa olevaan autokantaan kohtuullisilla muutoksilla.

Suomesta löytyy vahvaa moottoritekniikka-alan osaamista ja alan kehitykselle on iso potentiaali[91]. Autoja ei tulla valmistamaan Suomessa ainakaan suuressa mittakaavassa, mutta teknologian kehitystyössä, laiva- ja voimalaitosmoottoreiden kehityksessä sekä asennustöissä on vientipotentiaalia Suomelle. Riippumatta siitä, mikä polttoainekulutusta vähentävä tek-

[87] Henkilöautoille arvioitu 39–61 %, kuorma-autoille 25–34 %, lentokoneille 30–50 %, laivoille 0–13 % ja junaliikenteelle 20–30 % parempi energiatehokkuus (NREL, 2013, Transportation Energy Futures -projektin raportit)

[88] Selvityksen mukaan kuljettajat säästivät 10–20% polttoainetta, kun heillä oli mittari, joka ilmoitti polttoainekulutuksen reaaliajassa (Motiva).

[89] Bensiinin kulutus on jo pitkään ollut laskusuunnassa, kun energiatehokkuutta lisäävä tekninen kehitys pienentää autojen polttoaineenkulutusta ja autoverotus suosii vähän polttoainetta kuluttavia autoja. Moottoribensiiniä myytiin vuonna 2014 noin kaksi miljardia litraa, kaksi prosenttia edellisvuotta vähemmän (Öljy- ja biopolttoaineala ry).

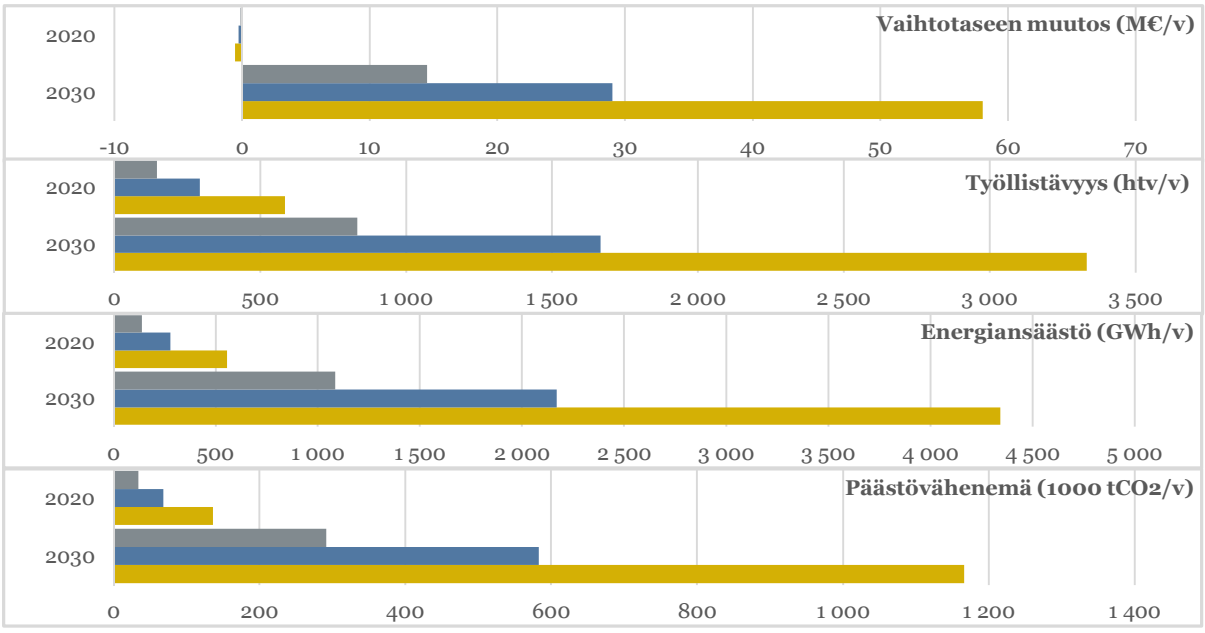
[90] Reactivity Controlled Compression Ignition

[91] Suomella on Wärtsilän kautta vahva asema maailmalla laivamoottoreiden ja voimalaitosten suunnitellussa ja tuotannossa. Alalla tarvitaan automaatioalan ihmisiä, kemistejä, koneinsinöörejä ja konepajatyöskentelyosaamista, mikä kaikki löytyy Suomesta. Polttotekniikan mallintaminen ja simulointi on myös vahva tutkimusala.

Copyright © Sitra, Gaia

nologia lyö läpi, tässä tarkastelussa esitetty esimerkki näyttää suuruusluokan, mikä on mahdollista saavuttaa.

Laskennan rajaukset	Tarkastelussa on huomioitu polttoaineen kulutusta vähentävän teknologian asennus autoihin (henkilöautot, pakettiautot, kuorma-autot sekä linja-autot) sekä fossiilisten polttoaineiden kulutuksen väheneminen näissä autoissa. Autokannan muut muutokset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.
Nykytila	RCCI:tä hyödyntäviä dual-fuel-moottoreita ei vielä markkinoilla.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Polttoainekulutuksen väheneminen eri skenaarioissa on bensiinimoottoreille 35 % vuonna 2020 ja 40 % vuonna 2030 ja dieselmoottoreille 12 % vuonna 2020 ja 15 % vuonna 2030[92].
	Asennusasteen kehitys: **Harmaa:** Teknologia asennettu 5 % autokannasta 2020 ja 10 % autokannasta 2030 **Sininen:** Teknologia asennettu 10 % autokannasta 2020 ja 20 % autokannasta 2030 **Keltainen:** Teknologia asennettu 20 % autokannasta 2020 ja 40 % autokannasta 2030
	Energiankulutus ja päästöt Suomessa vähenevät, kun polttoainetta käytetään vähemmän.
Investointikustannus	Laskennassa on oletettu teknologia-asennuksen hinnaksi 2000 euroa/auto sisältäen asennuskustannukset. Arvio teknologian kumulatiivisesta kokonaiskustannuksesta kuluttajille ja liikennöitsijöille yhteensä: **Harmaa:** 100 M€ vuoteen 2020 ja 600 M€ vuoteen 2030 mennessä **Sininen:** 210 M€ vuoteen 2020 ja 1 200 M€ vuoteen 2030 mennessä **Keltainen:** 420 M€ vuoteen 2020 ja 2 400 M€ vuoteen 2030 mennessä



[92] http://www.greencarcongress.com/2015/01/20150105-rcci.htm; Curran et al. (2014), Reactivity-controlled compression ignition drive cycle emissions and fuel economy estimations using vehicle system simulations

Copyright © Sitra, Gaia

5.5.8 Liikenteen energiankulutusta vähentävät ohjausjärjestelmät

Liikenteen energiankulutusta vähennetään erilaisilla älykkäillä ratkaisuilla[93]. Tässä tarkastelussa on karkeasti mallinnettu Suomessa kehitettyä Mobility as a Service (MaaS) -konseptia, joka yhdistää eri liikennepalvelut mobiilisovelluksen kautta tavoitettaviksi. Käyttäjä maksaa kuukausihintaa valitsemastaan palvelutasosta (mm. vasteaika tilaukselle ja maksimikilometrit eri kulkutavoilla). Palvelu yhdistää eri liikennemuodoista liikkumistarpeeseen sopivimman yhdistelmän. Tulevaisuudessa palvelu perustuisi pääasiassa robottiautoihin[94] sekä tehokkaisiin raideväleihin.[95]

Suomen ja samalla maailman ensimmäinen MaaS-operaattori julkaistiin helmikuussa 2015[96]. Maailman liikkumismarkkinan koko on 10 000 miljardia euroa vuodessa. Monilla muilla aloilla on jo tehostettu toimintaa digitalisoitumisen myötä, mutta liikkuminen perustuu vielä pitkälti autojen omistamiseen. Kun liikkumisen vapaus mahdollistuu vaivattomasti ilman auton omistamista, on liikkumismarkkinalla merkittävä liiketoimintapotentiaali uusille toimijoille. Suomalaisilla yrityksillä voi olla tässä merkittävää vientipotentiaalia.

Laskennan rajaukset	Rajattu kuluttajien liikkumiseen.
Nykytila	MaaS-palvelua ei vielä tarjolla.
Keskeiset lähtötiedot ja oletukset	Oletettu, että tarvittava teknologia ja palvelut ovat olemassa jo vuonna 2020.
	MaaS-palvelun käyttäjämäärät eri skenaarioissa (% suomalaisista) [97]: **Harmaa:** 1 % vuonna 2020 ja 10 % vuonna 2030 **Sininen:** 5 % vuonna 2020 ja 20 % vuonna 2030 **Keltainen:** 10 % vuonna 2020 ja 50 % vuonna 2030
	Oletettu, MaaS-käyttäjissä on yhtä paljon sekä nykyisiä autojen omistajia kuin niitä, jotka eivät omista autoja. Oletettu, että 10 % autoja omistavista MaaS-käyttäjistä luopuu omista autoista vuoteen 2020 mennessä ja 30 % vuoteen 2030 mennessä.
	Vientipotentiaalia on mahdoton arvioida luotettavasti, koska liiketoimintakonseptia vasta 2015 aikana. Jos Suomi onnistuu palvelun konseptoinnissa, voi tässä olla merkittävää vientipotentiaalia. Laskennassa on arvioitu, että Suomen osuus voisi olla parhaimmillaan 1 % maailman MaaS-markkinasta. Maailman MaaS-markkinan koko on skaalattu Suomen markkinan koosta samassa suhteessa kuin liikkumispalvelut nyt ovat.
	Energiankulutus ja päästöt Suomessa vähenevät, kun yksityisautoilu vähenee. MaaSin energiakäyttöä ei ole tässä vaiheessa mahdollista arvioida riittävällä tarkkuudella, koska konseptia vasta suunnitellaan. Vaikka henkilöliikennesuorit-

[93] Mm. ajantasaisen liikenteen seurannan, tiedotuksen ja ohjauksen avulla, navigointisovelluksilla ja joukkoliikenteen ajantasaisilla aikataulu- ja reittioppailla. Myös dynaamisella hinnoittelulla (ruuhkamaksut ja joukkoliikenneliput) voidaan ohjata liikkumista.

[94] Joka neljäs auto voisi olla robottiauto vuonna 2030. Tekniikka ja Talous, http://www.tekniikkatalous.fi/autot/gartner+yha+harvempi+kuski+ajaa+kohta+taysin+itse++joka+neljas+auto+robottiauto+2030+mennessa/a1022788 (viitattu 5.3.2015).

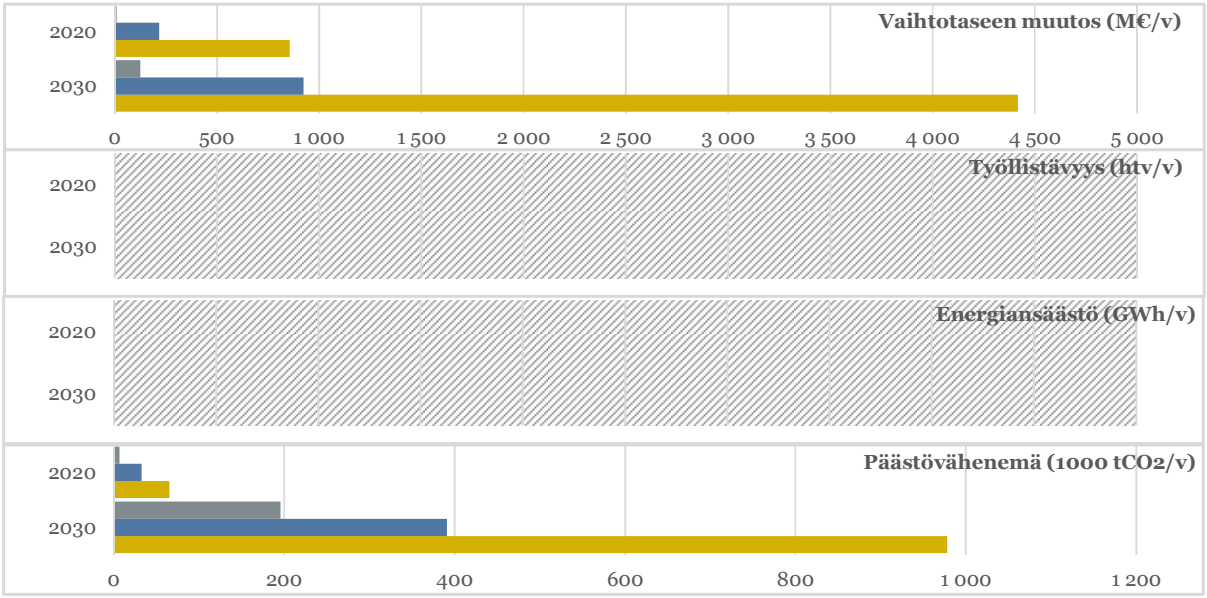
[95] ITS-Finlandin haastattelu

[96] ITS-Finland, http://www.its-finland.fi/index.php/fi/uutiset/92-digitalisation-to-enable-more-freedom-of-choice-in-traffic.html (viitattu 5.3.2015).

[97] Arviot perustuen ITS-Finlandin haastatteluun

 Copyright © Sitra, Gaia

	teen määrä ei vähene, liikenteen kokonaisenergiantarve laskee vähentyneen ajoneuvosuoritteen ansiosta (korkeampi käyttöaste). Päästöjen osalta on arvioitu, että MaaS on lähes nollapäästöinen vaihtoehto.
Investointikustannus	Ei saatavilla.



Työllistävyyttä ja energiansäästöä ei ollut tässä selvityksessä mahdollista arvioida riittävällä tarkkuudella.

6 Cleantech-teknologioiden vertailu

Tässä luvussa on koottu yhteen edellä esitetyt teknologiakohtaiset arviot, jotta eri teknologioita voidaan verrata keskenään. Tarkastelu tehdään teknologiakohtaisten sinisten skenaarioiden luvuilla vuoden 2030 tilanteessa. Vertailtavat vaikutukset ovat päästövaikutukset (tCO2/v), työllisyysvaikutukset (htv/v) sekä vaihtotasevaikutukset (M€/v). Näitä kokonaisvaikutuksia suhteutetaan vuoteen 2030 mennessä teknologiakohtaiseen investoituun rahamäärään (M€) sekä energiamäärään (GWh/v), jotka on esitetty luvussa 6.1. Vertailukohtana oleva energiamäärä vaihtelee teknologiaryhmän perusteella seuraavasti:

- Energiantuotantoteknologiat – Tuotettu energiamäärä vuodessa
- Energiantuotannon polttoaineet – Tuotetun polttoaineen energiasisältö vuodessa
- Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat – Säästetty energiamäärä vuodessa
- Energian varastointiteknologiat – Varastosta purettu energiamäärä vuodessa
- Liikenteen polttoaineet – Tuotetun polttoaineen energiasisältö vuodessa
- Liikenteeseen liittyvät muut teknologiat – Säästetty energiamäärä vuodessa

Vertailu esitetään luvuissa 6.2–6.4 käyttäen kuvia, joissa vaaka-akselilla vaikutuksia suhteutetaan teknologiakohtaisesti investoituun rahamäärään ja pystyakselilla teknologiaryhmälle ominaiseen energiamäärään (ks. lista yllä). Kuvissa olevien pallojen koko kuvaa absoluuttista vaikutusta.

Copyright © Sitra, Gaia

Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että suhteutettaessa vaikutuksia teknologiakohtaisesti investoituun rahamäärään, heikentää tämä pääomavaltaisten teknologioiden (esim. tuuli- ja aurinkoenergiateknologiat) potentiaalia suhteessa teknologioihin, joiden elinkaaren aikaiset kustannukset syntyvät pääosin käyttövaiheessa.

6.1 Vaaditut investoinnit ja tarkasteltu energiamäärä

Luvuissa 6.1.1–6.1.5 on esitetty teknologiakohtaisten sinisten skenaarioiden mukaisesti eri teknologioihin investoitu rahamäärä vuoteen 2030 mennessä (kumulatiivinen) sekä teknologiaryhmästä riippuen joko energian tai polttoaineen tuotantomäärä[98], säästetty energiamäärä tai varastosta purettu energiamäärä. Esitetyt luvut ovat laskentatuloksia, joiden laskennassa käytetyt lähtötiedot ja -oletukset on esitetty tiivistetysti luvussa 5 ja yksityiskohtaisemmin raportin liitteessä 2. Investointiluvut ovat puhtaasti teknologiakohtaisia arvioita eivätkä sellaisenaan kuvaa kokonaisjärjestelmän investointeja.

6.1.1 Energiantuotanto

Alla olevassa taulukossa on esitetty sekä keskitetyt että hajautetut energiantuotantoteknologiat. Hajautetulla tarkoitetaan tässä tuotantoa, joka tapahtuu pääosin kulutuskohteen yhteydessä; nämä teknologiat on merkitty taulukossa tähdellä (*). Keskitetty tuotanto puolestaan syötetään kokonaisuudessaan sähkö- tai kaukolämpöverkkoon.

Energiantuotantoteknologiat (tarkastelu sinisten skenaarioiden mukaisilla luvuilla v. 2030)	Investoinnit v. 2030 mennessä [M€]	Sähkön tuotanto v.2030 [GWh/v]	Lämmön tuotanto v. 2030 [GWh/v]
1. Vesivoima suuri	740	774	0
2A. Pientuulivoima*	30	11	0
2B. Maatuulivoima suuri	4 400	11 000	0
2C. Merituulivoima suuri	770	1 000	0
3A. Aurinkosähkö pieni*	990	1 098	0
3B. Aurinkosähkö keskikokoinen*	1 530	2 191	0
3C. Aurinkosähkö suuri	940	1 700	0
4A. Aurinkolämpö pieni ja keskikokoinen*	285	0	258
4B. Aurinkolämpö suuri	10	0	15
5A. Biomassakattilat pieni*	1 460	0	1 978
5B. Biomassakattilat keskikokoinen	70	0	315
5C. Biomassakattilat suuri	1 140	3 900	6 630
6A. Biokaasupolttokennot pieni*	1	6	6
6B. Biokaasupolttokennot keskikokoinen*	5	12	12

[98] Tässä tarkastelussa ei ole otettu kantaa lämpö- ja sähköenergian keskinäiseen arvoon, vaan vertailtu näitä suoraan toisiinsa ja yhteistuotantoteknologioiden osalta laskettu molemmat energiamuodot sellaisenaan (painottamatta) yhteen.

Copyright © Sitra, Gaia

7A. Biokaasumoottorit keskikokoinen*	25	83	165
7B. Biokaasumoottorit suuri	15	98	128
8. Teolliset lämpöpumput suuri	340	0	1 920
9. Geoterminen lämpö suuri	135	0	420
0A. Ydinvoima	6 140	9 830	0
0B. Maakaasukombilaitos	880	6 784	4 263
0C. Hiilivoimalaitos	870	4 000	7 500
0D. Soodakattila	120	987	1 110
0E. POK-lämpölaitos	5	0	125

6.1.2 Energiantuotannon polttoaineet

Polttoaineet (tarkastelu sinisten skenaarioiden mukaisilla luvuilla v. 2030)	Investoinnit v. 2030 mennessä [M€]	Polttoaineen tuotantomäärä v. 2030 [GWh/v]
1. Biohiilen tuotanto	410	8 600
2. Pyrolyysiöljyn tuotanto	360	3 000
3. Biometaani	1 460	5 500

6.1.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat (tarkastelu sinisten skenaarioiden mukaisilla luvuilla v. 2030)	Investoinnit v. 2030 mennessä [M€]	Energiansäästö v.2030 [GWh/v]
1. Maalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)	5 300	4 200
2. Ilma-ilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)	560	1 100
3. Ilma-vesilämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)	660	880
4. Poistoilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)	360	540
5. LED-valot kotitaloudet (olemassa olevat rakennukset)	180	770
6. LED-valot toimisto- ja palvelurakennukset (olemassa olevat rakennukset)	470	320
7. LED-valot katu- ja tievalaistus (olemassa olevat valaisimet)	310	460
8. Lämmön talteenotto pientalot (uudisrakennukset)	730	430
9. Lämmön talteenotto kerrostalot (uudisrakennukset)	1 670	210
10. Lämmön talteenotto muut rakennukset (uudisrakennukset)	980	100
11. Energiatehokas korjausrakentaminen (eristys ja ikkunat)[99]	2 450	1 100
12. Kulutusjousto kotitaloudet	25	0
13. Kulutusjousto PK-sektori	15	0
14. Kulutusjousto teollisuus	1	0

[99] Vain energiansäästölle allokoitu osuus (noin 20 % kokonaisinvestoinnista).

Copyright © Sitra, Gaia

6.1.4 Energian varastointi

Energian varastointiteknologiat (tarkastelu sinisten skenaarioiden mukaisilla luvuilla v. 2030)	Investoinnit v. 2030 mennessä [M€]	Purettu energiamäärä v.2030 [GWh/v]
1. Pumppuvoimalat (sähkön varastointi)	320	525
2. Akut pientalokokoluokka (sähkön varastointi)	95	90
3. Akut teollinen kokoluokka (sähkön varastointi)	15	10
4. Power to gas (sähkön varastointi polttoaineena)	10	10
5. Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä (lämmön varastointi)	15	65
6. Faasimuutosmateriaalit rakennuksissa (lämmön varastointi)	35	90

6.1.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat

Liikenteeseen liittyvät teknologiat (polttoaineet) (tarkastelu sinisten skenaarioiden mukaisilla luvuilla v. 2030)	Investoinnit v. 2030 mennessä [M€]	Polttoaineen tuotantomäärä v.2030 [GWh/v]
1. Bioetanolin tuotantoteknologiat	80	1 140
2. Biodieselin tuotantoteknologiat	330	3 740
3. Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat	400	1 630
4. Vedyn tuotantoteknologiat (vesielektrolyysi)	10	40
Liikenteeseen liittyvät teknologiat (muut) (tarkastelu sinisten skenaarioiden mukaisilla luvuilla v. 2030)	**Investoinnit v. 2030 mennessä [M€]**	**Energiansäästö v. 2030 [GWh/v]**
5. Vetyautojen tankkausteknologia	40	60
6. Sähköautojen latausteknologia	640	1 700
7. Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat (dual-fuel, RCCI)	1 200	300
8. Liikenteen ohjausjärjestelmät (MaaS)	-	-

6.2 Hiilidioksidipäästöjen vertailu

6.2.1 Energiantuotanto

Kun tarkastellaan energiantuotantoteknologioiden tehokkuutta hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä tuotettua energiayksikköä kohti, nousee vesivoima (teknologia 1) muita korkeammalle. Tämä johtuu vesivoiman osalta pitkälti siitä, että laskennassa vesivoiman on oletettu olevan säädeltävää, jolloin sillä voidaan korvata huippukulutustuntien fossiilista lauhdevoimaa. Vaikka vesivoimaa on mahdollista rakentaa Suomeen vain rajallisesti lisää, niin valittuna tarkasteluajanjaksona vuoteen 2030 mennessä vesivoiman päästövähennyspotentiaali (pallon koko alla olevassa kuvassa[100]) on kuitenkin keskisuuri. Muita päästövähennyksiltään tehokkaita teknologioita ovat keskikokoiset biomassakattilat (5B) sekä biokaasumoottorit (7A). Konventionaalisista teknologioista ydinvoima (0A) sekä sellutehtaiden soodakattilat

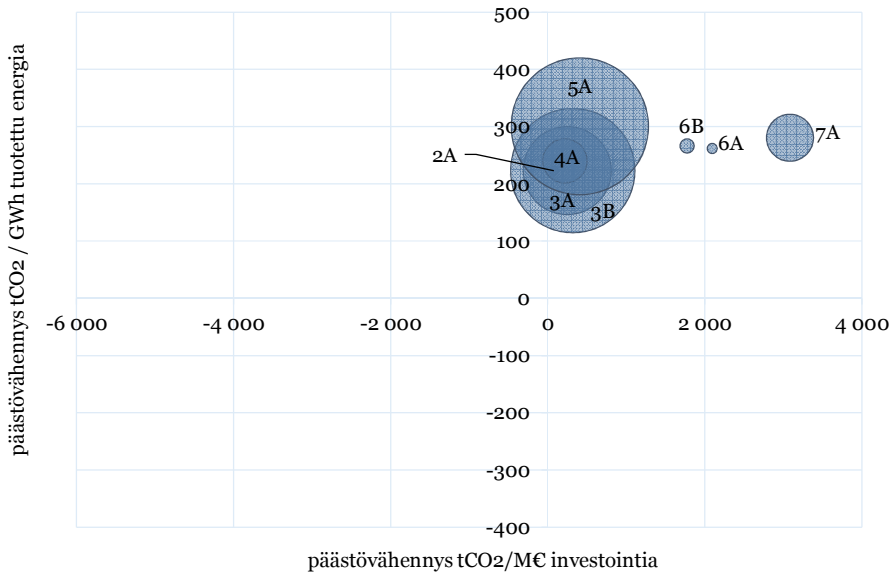
[100] Huomattava, että päästövähennyksessä negatiivisia arvoja saaville teknologioille (0B, 0C ja 0E) pallon koko kuvaa itse asiassa päästöjen lisääntymistä.

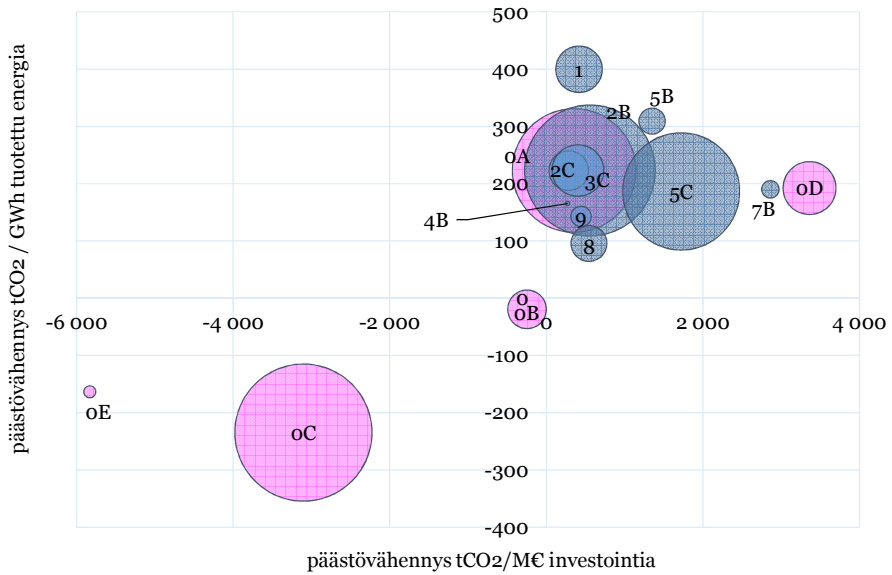
Copyright © Sitra, Gaia

(0D) ovat päästövähennystehokkuudessaan tuotettua energiayksikköä kohti rinnastettavissa tuulivoimaan (2A-2C) ja aurinkosähköön (3A-3C).

Päästövähennyspotentiaalin (pallon koko) mukaan tarkasteltuna merkittävimmät cleantech-teknologiat ovat maatuulivoima (2B) ja biomassakattilat (5A-5C), jotka vetävät vertoja ydinvoiman (0A) potentiaalille vähentää hiilidioksidipäästöjä. Kuvassa cleantech-teknologiat on piirretty sinisellä ja konventionaaliset verrokkiteknologiat vaaleanpunaisella. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on esitetty hajautetut ja oikeanpuoleisessa keskitetyt cleantech-ratkaisut.

Copyright © Sitra, Gaia



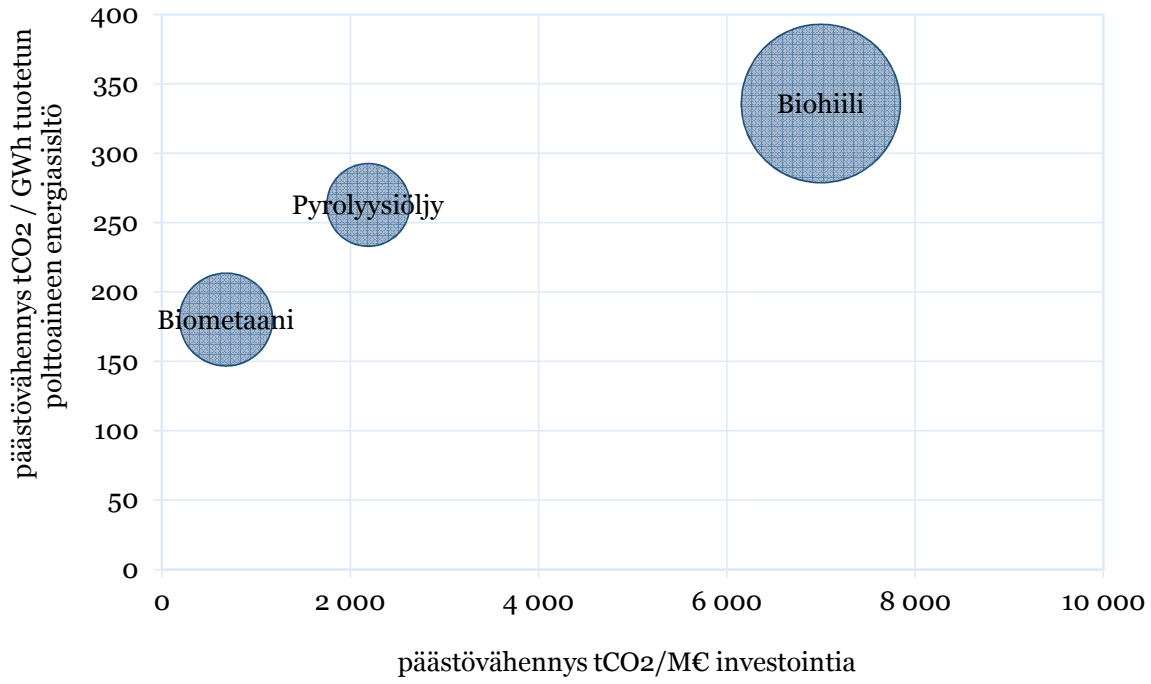


1. Vesivoima suuri
2A. Pientuulivoima
2B. Maatuulivoima suuri
2C. Merituulivoima suuri
3A. Aurinkosähkö pieni
3B. Aurinkosähkö keskikokoinen
3C. Aurinkosähkö suuri
4A. Aurinkolämpö pieni ja keskikokoinen
4B. Aurinkolämpö suuri
5A. Biomassakattilat pieni
5B. Biomassakattilat keskikokoinen
5C. Biomassakattilat suuri
6A. Biokaasupolttokennot pieni
6B. Biokaasupolttokennot keskikok.
7A. Biokaasumoottorit keskikokoinen
7B. Biokaasumoottorit suuri
8. Teolliset lämpöpumput suuri
9. Geoterminen lämpö suuri
0A. Ydinvoima
0B. Maakaasukombilaitos
0C. Hiilivoimalaitos
0D. Soodakattila
0E. POK-lämpölaitos

Copyright © Sitra, Gaia

6.2.2 Energiantuotannon polttoaineet

Seuraavassa kuvassa on esitetty energiantuotannon biopolttoaineiden päästövähennyspotentiaali (pallon koko) ja suhteellinen tehokkuus olettaen, että pyrolyysiöljyllä korvataan kevyttä polttoöljyä, biohiilellä kivihiiltä ja biometaanilla maakaasua. Biohiili osoittautuu tässä tarkastelussa kaikilla mittareilla tehokkaimmaksi, mikä johtuu mm. alhaisemmasta investointikustannuksesta sekä sillä korvattavan kivihiilen korkeammasta päästökertoimesta. Biometaanin heikko tehokkuus päästöjen vähentämisessä johtuu siitä, että laskennassa on oletettu biometaanilla korvattavan varsin vähäpäästöistä maakaasua.



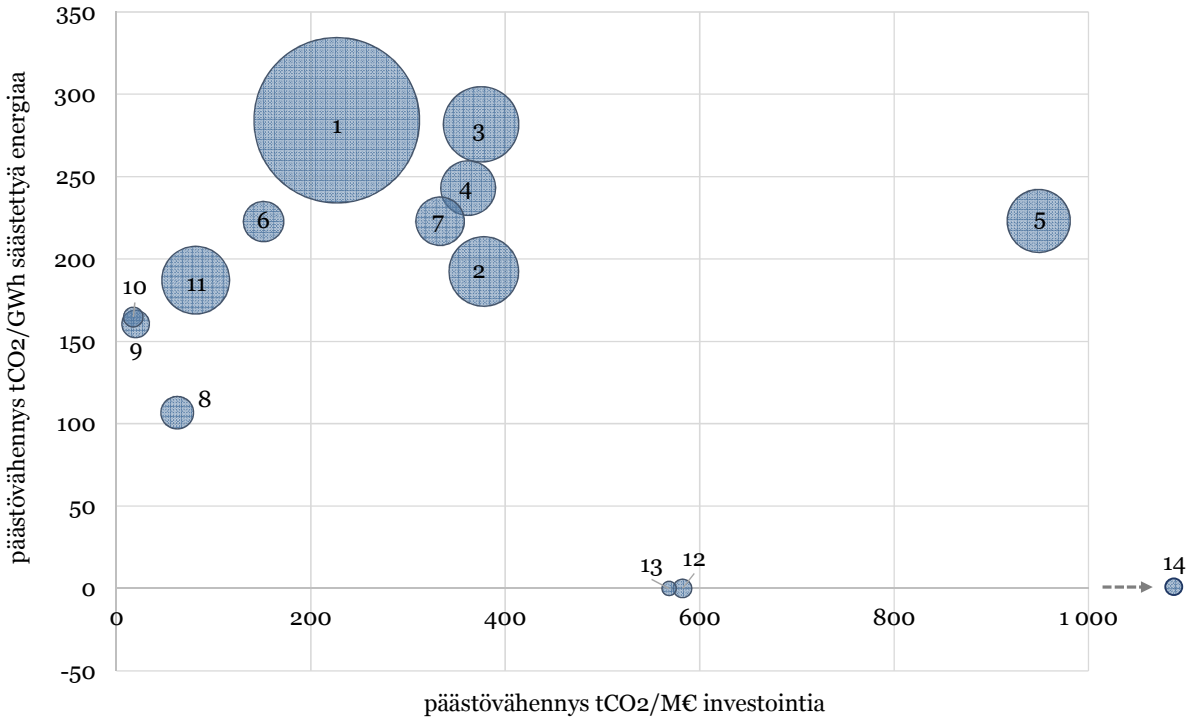
6.2.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

Tarkasteltavista energiatehokkuusteknologioista päästövähennyspotentiaalin määrä suhteessa investoituun rahamäärään on suurin kotitalouksien LED-lampuilla (kuvassa numero 5) sekä sähkön kulutusjoustoteknologioilla (12 ja 13). Kulutusjoustoteknologioiden absoluuttinen päästövähennyspotentiaali on kuitenkin pieni verrattuna esimerkiksi lämpöpumppuihin (1-4) ja energiatehokkaaseen korjausrakentamiseen (11). Teollisuuden kulutusjouston (14) vaikutusta ei ole esitetty varsinaisessa kuvassa, sillä tälle laskettu päästövähennyspotentiaali investoitua miljoonaa euroa kohden on luokkaa 13 000 tCO2, joka on merkittävästi suurempi kuin muiden kuvassa esitettyjen teknologioiden. Vaikutuksia tarkasteltaessa on syytä huomata, että kulutusjoustoteknologiat eivät säästä energiaa, vaan ohjaavat kulutusta pois huippukulutustunneilta, jolloin on oletettu sähkön päästökertoimen olevan keskimääräistä korkeampi.

Mikäli päästövähennyspotentiaalia suhteuttaa säästettyyn/korvattuun energiamäärään, eivät erot teknologioiden välillä ole merkittäviä (kun ei huomioida kulutusjoustoteknologioita). Teknologian sijoittuminen pystyakselilla riippuu siitä, kuinka suuripäästöisiä energiamuoto-

Copyright © Sitra, Gaia

ja teknologialla oletetaan säästettävän tai korvattavan. Esimerkiksi maalämpö korvaa olemassa olevissa rakennuksissa usein öljylämmitystä, kun taas esimerkiksi lämmön talteenottojärjestelmien (8-10) voidaan olettaa korvaavan uusissa pientaloissa lähinnä maalämpöä ja kaukolämpöä, joiden ominaispäästö on selvästi öljylämmitystä alhaisempi.

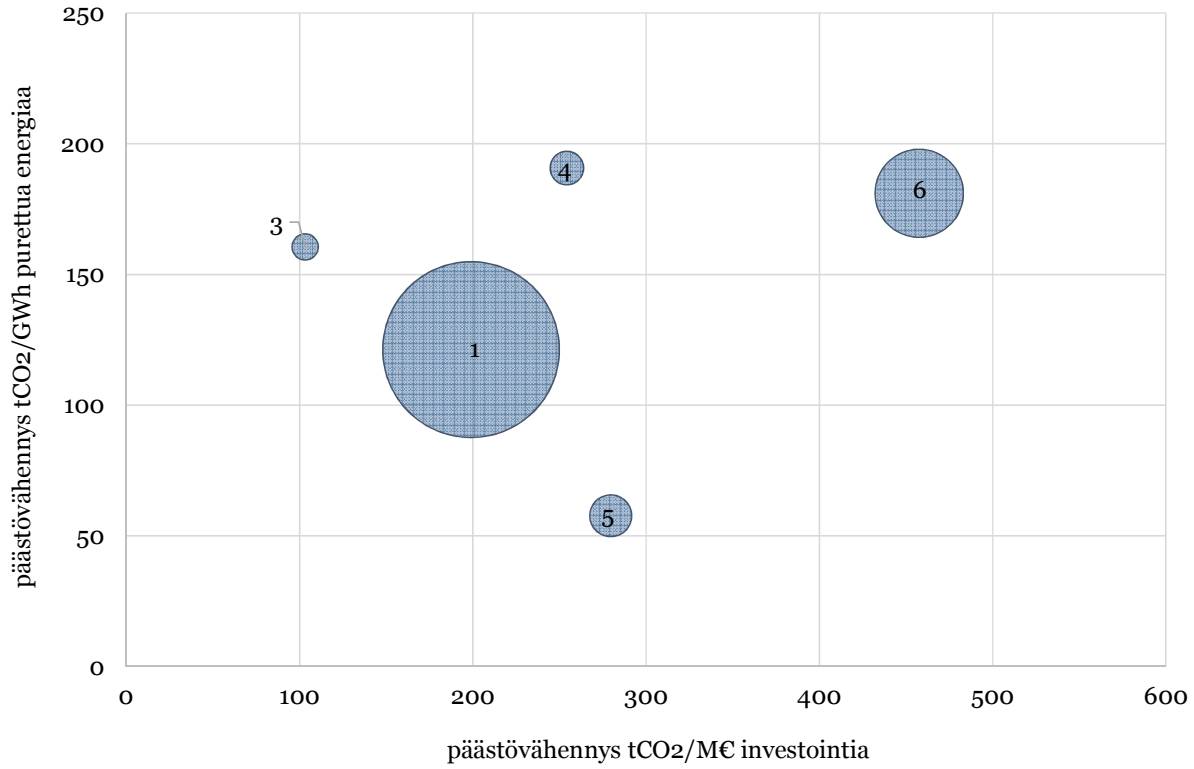


1. Maalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
2. Ilma-ilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
3. Ilma-vesilämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
4. Poistoilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
5. LED-valot kotitaloudet (olemassa olevat rakennukset)
6. LED-valot toimisto- ja palvelurakennukset (olemassa olevat rakennukset)
7. LED-valot katu- ja tievalaistus (olemassa olevat valaisimet)
8. Lämmön talteenotto pientalot (uudisrakennukset)
9. Lämmön talteenotto kerrostalot (uudisrakennukset)
10. Lämmön talteenotto muut rakennukset (uudisrakennukset)
11. Energiatehokas korjausrakentaminen (eristys ja ikkunat)
12. Sähkön kulutusjousto kotitaloudet
13. Sähkön kulutusjousto PK-sektori
14. Sähkön kulutusjousto teollisuus **(kuvan ulkopuolella oikealla)**

6.2.4 Energian varastointi

Rakennuksiin integroitavat faasimuutosvarastot (kuvassa numero 6) nousee varastointiteknologioiden kuvassa esiin kustannustehokkaana tapana vähentää päästöjä. Sen potentiaali on myös keskiluokkaa. Suurin absoluuttinen päästövähenemä tehdyillä laskentaoletuksilla taas voidaan saavuttaa pumppuvoimalaitoksilla (1). Power to gas -teknologia (4), vesivarastot (5) ja suuren kokoluokan sähköakut (3) vähentävät päästöjä absoluuttisesti jotakuinkin yhtä paljon.

Copyright © Sitra, Gaia



1. Pumppuvoimalat (sähkön varastointi)
2. Akut pientalokokoluokka **(ei päästövähennystä[101])**
3. Akut suuri kokoluokka (sähkön varastointi)
4. Power to gas (sähkön varastointi polttoaineena)
5. Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä (lämmön varastointi)
6. Faasimuutosmateriaalit rakennuksissa (lämmön varastointi)

6.2.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat

Liikenteen teknologiat on tarkasteltu kahdessa osassa. Ensimmäisessä kuvassa on esitetty liikenteen polttoaineiden tuotanto. Vaikutuksissa on huomioitu koko Suomessa tuotetun polttoaineen käyttö, vaikka osa siitä tapahtuisikin Suomen rajojen ulkopuolella.

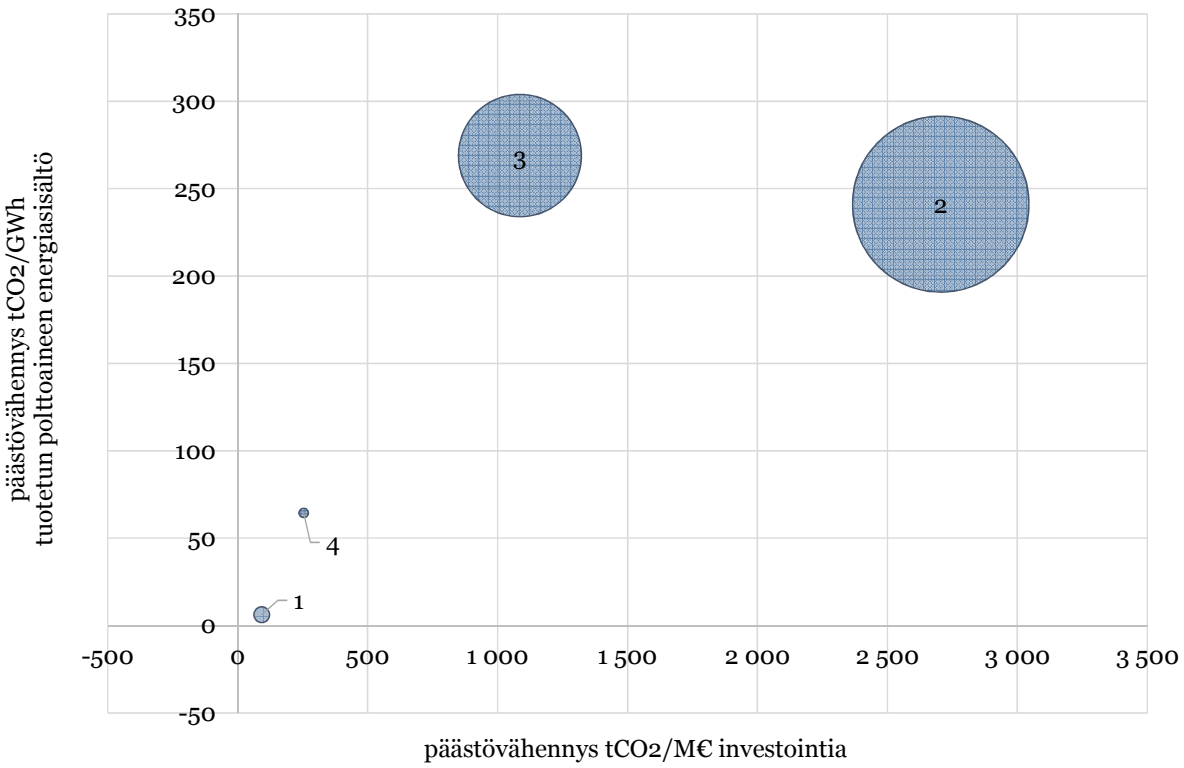
Biodieselin tuotanto (2) vähentää eniten CO_2-päästöjä, koska tuotannon volyymi on suurta ja se korvaa kokonaisuudessaan fossiilista polttoainetta. Liikennebiokaasun tuotanto (3) puolestaan on kaikkein tehokkain, kun tarkastellaan päästövähennyspotentiaalia suhteessa tuotetun polttoaineen energiasisältöä kohti. Senkin absoluuttinen päästövähennyspotentiaali on merkittävä.

Bioetanolin tuotanto (1) puolestaan ei juuri vaikuta liikenteen päästöihin, koska sen on oletettu korvaavan etanolin tuontia (kuvassa näkyvä päästövähenemä on syntynyt bioetanoli-

[101] Akkuja käytetään tarkastelussa osana aurinkosähköjärjestelmää varastoimaan omaa tuotantoa. Järjestelmätasolla syntyy suoria päästövähenemiä, mutta näitä ei voida allokoida akuille.

Copyright © Sitra, Gaia

tuotannon siirtymisestä nollapäästöiseen energiaan). Jos bioetanolilla korvattaisiin fossiilista bensiiniä, olisi se kaikkein tehokkain päästövähentäjä suhteutettuna investointeihin tai tuotetun polttoaineen energiasisältöön.



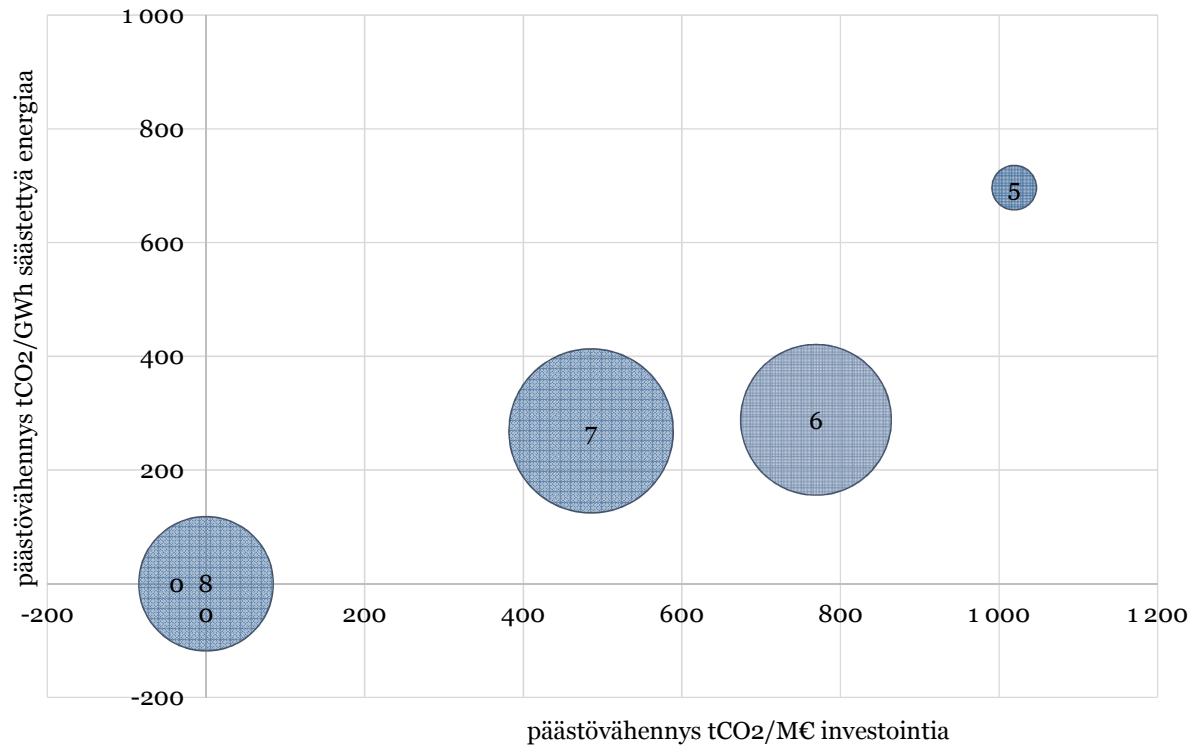
1. Bioetanolin tuotantoteknologiat
2. Biodieselin tuotantoteknologiat
3. Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat
4. Vedyn tuotanto (vesielektrolyysi)

Toisessa kuvassa on esitetty liikenteen energiansäästöteknologiat. Energiankulutuksen ja päästöjen osalta vaikutukset on arvioitu vain Suomen rajojen sisällä. Investoinneissa on huomioitu vastaavasti myös ainoastaan investoinnit Suomessa, ei vientiä.

Sähköautojen latausteknologia (6) ja polttoaineen kulutusta vähentävät teknologiat (7) ovat absoluuttisesti suurimmat päästöjen vähentäjät liikenteen energiankulutusta vähentävistä teknologioista. Vetytankkauksen merkitys on selvästi pienempi, mutta sen kuitenkin kaikkein tehokkain päästöjen vähentäjä suhteessa investoituun rahamäärään. Tämä johtuu siitä, että tuotettu vety on tehtyjen oletusten perusteella nollapäästöistä. On syytä huomioida, että investoinnissa on otettu huomioon vain tankkausverkoston hankinta, eikä esimerkiksi autokannan uusimista.

Lisäksi huomioitavaa on, että investoinnin arvoa ja energiansäästöä ei ole arvioitu Mobility as a Service (MaaS) -palvelulle (8), joten siksi tätä teknologiaa kuvaavan ympyrän sijainti ei ole vertailukelpoinen muihin teknologioihin.

Copyright © Sitra, Gaia



5. Vetyautojen tankkausteknologia

6. Sähköautojen latausteknologia

7. Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat (dual-fuel, RCCI)

8. Liikenteen ohjausjärjestelmät (MaaS)

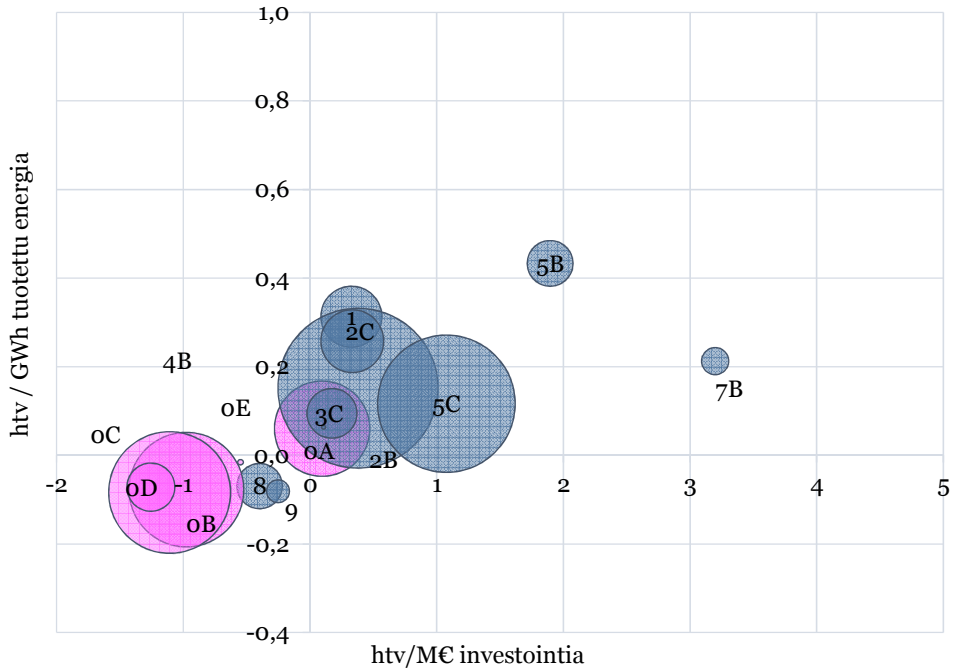
6.3 Työllisyysvaikutusten vertailu

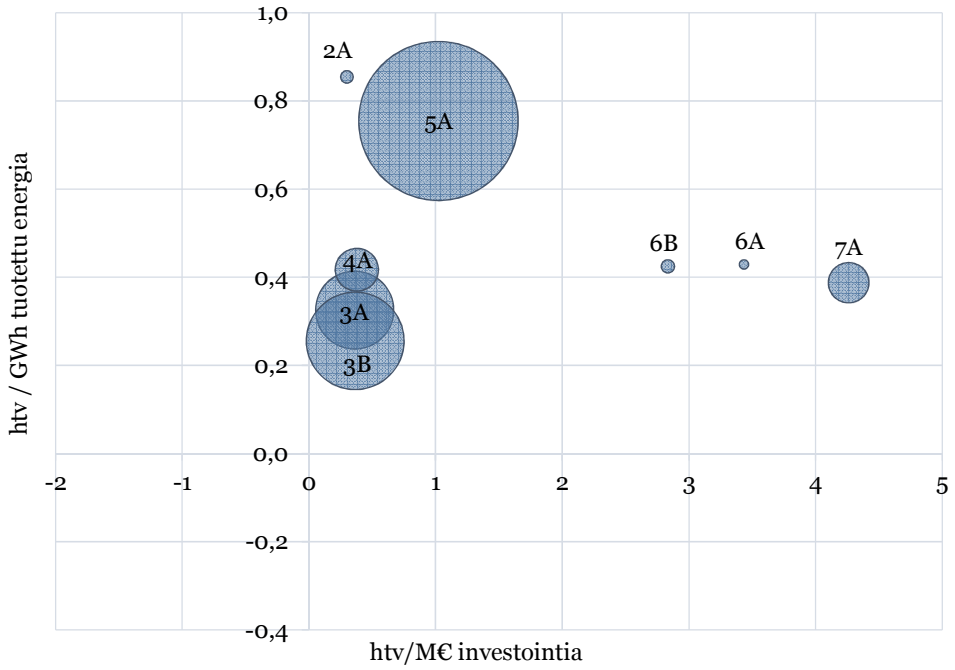
6.3.1 Energiantuotanto

Polttoaineketjun työllistävyys näkyy biokaasua polttoaineena käyttävien teknologioiden (6A ja 6B sekä 7A ja 7B) sekä puuhaketta (5A-5C) käyttävien biomassakattiloiden eroamisena muusta joukosta. Teknologian rakentamiseen, käyttöön ja laitteiden valmistukseen liittyvä työllisyys nousee merkittäväksi lähinnä maatuulivoiman (2B) osalta.

Yksityiskohtana on huomattava, että teollisten lämpöpumppujen (8) ja geotermisen lämmön (9) työllisyysvaikutukset ovat negatiiviset, koska niiden on laskettu vähentävän työllisyyttä kaukolämmön tuotannossa ja kotimaisten polttoaineiden hankintaketjussa enemmän kuin ne itse työllistävät. Energiatuotannon työllisyysvaikutusten vasemmanpuoleisessa kuvassa on esitetty hajautetut ja oikeanpuoleisessa keskitetyt cleantech-ratkaisut. Kuvia vertaamalla voidaan nähdä, että hajautetun tuotannon ratkaisut vaativat tyypillisesti enemmän työpanosta kuin keskitetyt ratkaisut energiayksikköä kohti. Kuvassa cleantech-teknologiat on piirretty sinisellä ja konventionaaliset verrokkiteknologiat vaaleanpunaisella.

Copyright © Sitra, Gaia





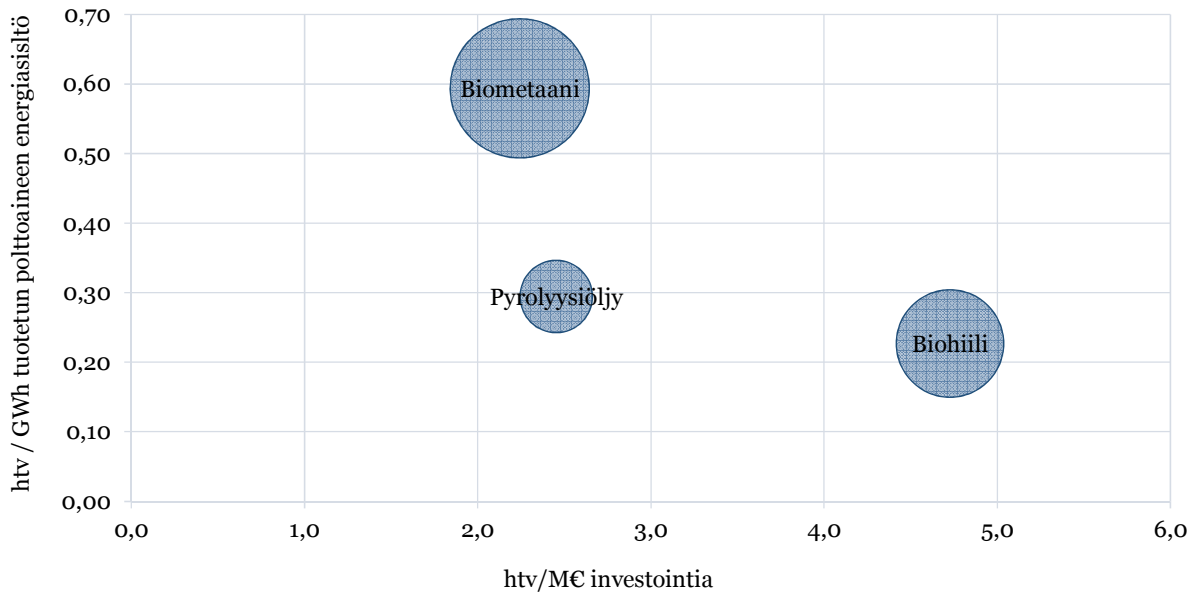
1. Vesivoima suuri
2A. Pientuulivoima
2B. Maatuulivoima suuri
2C. Merituulivoima suuri
3A. Aurinkosähkö pieni
3B. Aurinkosähkö keskikokoinen
3C. Aurinkosähkö suuri
4A. Aurinkolämpö pieni ja keskikokoinen
4B. Aurinkolämpö suuri
5A. Biomassakattilat pieni
5B. Biomassakattilat keskikokoinen
5C. Biomassakattilat suuri
6A. Biokaasupolttokennot pieni
6B. Biokaasupolttokennot keskikok.
7A. Biokaasumoottorit keskikokoinen
7B. Biokaasumoottorit suuri
8. Teolliset lämpöpumput suuri
9. Geoterminen lämpö suuri
0A. Ydinvoima
0B. Maakaasukombilaitos
0C. Hiilivoimalaitos
0D. Soodakattila
0E. POK-lämpölaitos

Copyright © Sitra, Gaia

6.3.2 Energiantuotannon polttoaineet

Työllisyysvaikutusten osalta biometaani erottautuu muista selkeästi suurempana työllistäjänä (pallon koko). Biometaani myös työllistää suhteessa enemmän tuotettua energiamäärää kohden. Tärkein tähän vaikuttava tekijä on se, että biometaanin on raaka-aineiden hajanaisen sijainnin vuoksi mallinnettu tuotettavaksi lukuisassa joukossa pieniä biokaasulaitoksia. Tällöin investointien työllistävä vaikutus korostuu.

Erot biohiilen ja pyrolyysiöljyn välillä eivät ole yhtä selkeät kuin edellä päästövaikutuksen kohdalla, jolloin biohiili osoittautui kaikilla mittareilla paremmaksi. Jos tarkastellaan työllistävää vaikutusta tuotettua polttoaineen energiasisältöä kohden, niin pyrolyysiöljy nousee, tosin marginaalisella erolla, biohiiltä työllistävämmäksi. Molempien teknologioiden osalla merkittävin työllistävä vaikutus syntyy raaka-aineena käytettävän biomassan hankinnan kautta.

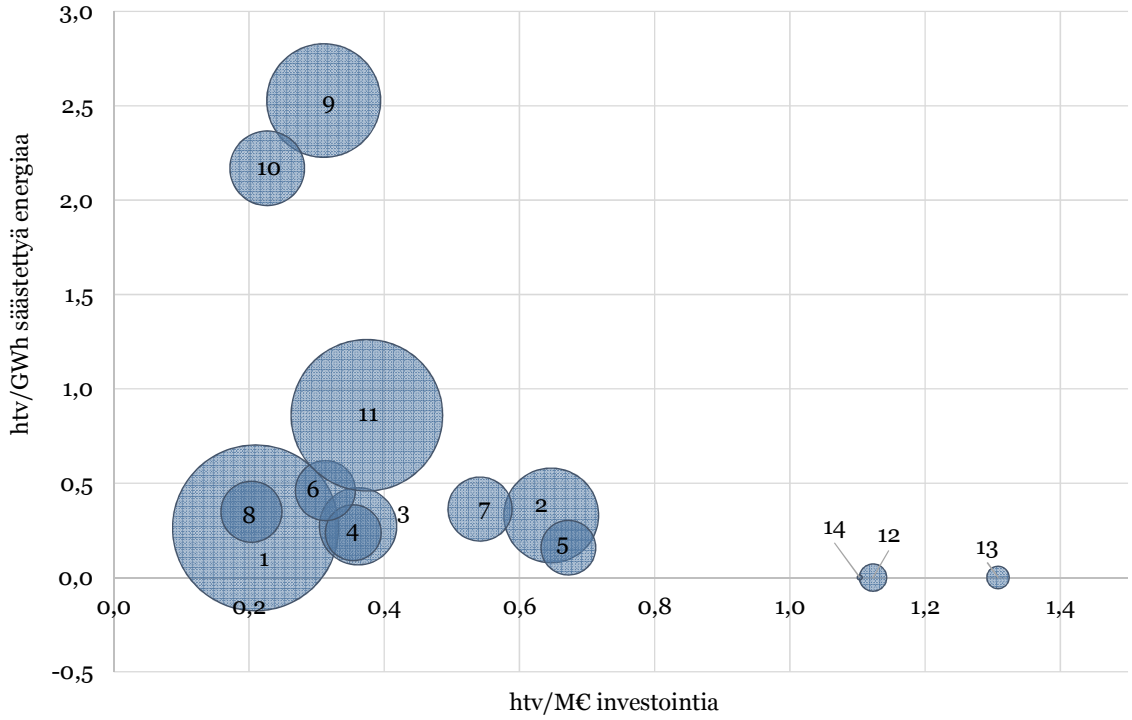


6.3.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

Energiatehokkuudessa merkittävimpiä työllisyysvaikutuksia voidaan synnyttää maalämpöpumpuilla (1), energiatehokkaalla korjausrakentamisella (11) sekä lämmön talteenottoteknologioilla (8-10). Kun työllisyysvaikutuksia suhteutetaan investoituun rahamäärään ja energiansäästöpotentiaaliin, sijoittuu moni teknologia samaan suuruusluokkaan. Poikkeuksina nousevat esiin sähkön kulutusjousto (12–14) sekä lämmön talteenotto uusissa kerrostaloissa, toimisto- ja palvelurakennuksissa sekä teollisuuskiinteistöissä (9 ja 10). Kulutusjouston absoluuttinen työllistävyyspotentiaali on pieni, mutta investoituun rahamäärään suhteutettuna kuitenkin selvästi suurempi kuin tarkastellussa teknologiaryhmässä keskimäärin. Suurten kiinteistöjen lämmön talteenottoteknologioissa puolestaan työllistävyys on suurta suhteessa säästettyyn energiamäärään. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että pientaloissa säästetyn energiamäärän suhde investoituun rahamäärään on suurempi kuin muissa tarkastelluissa

Copyright © Sitra, Gaia

rakennustyypeissä ja työllistävyys johdetaan laskentamallissa investoinnista (korkeat investointikustannukset korreloivat työllisyyden kanssa).

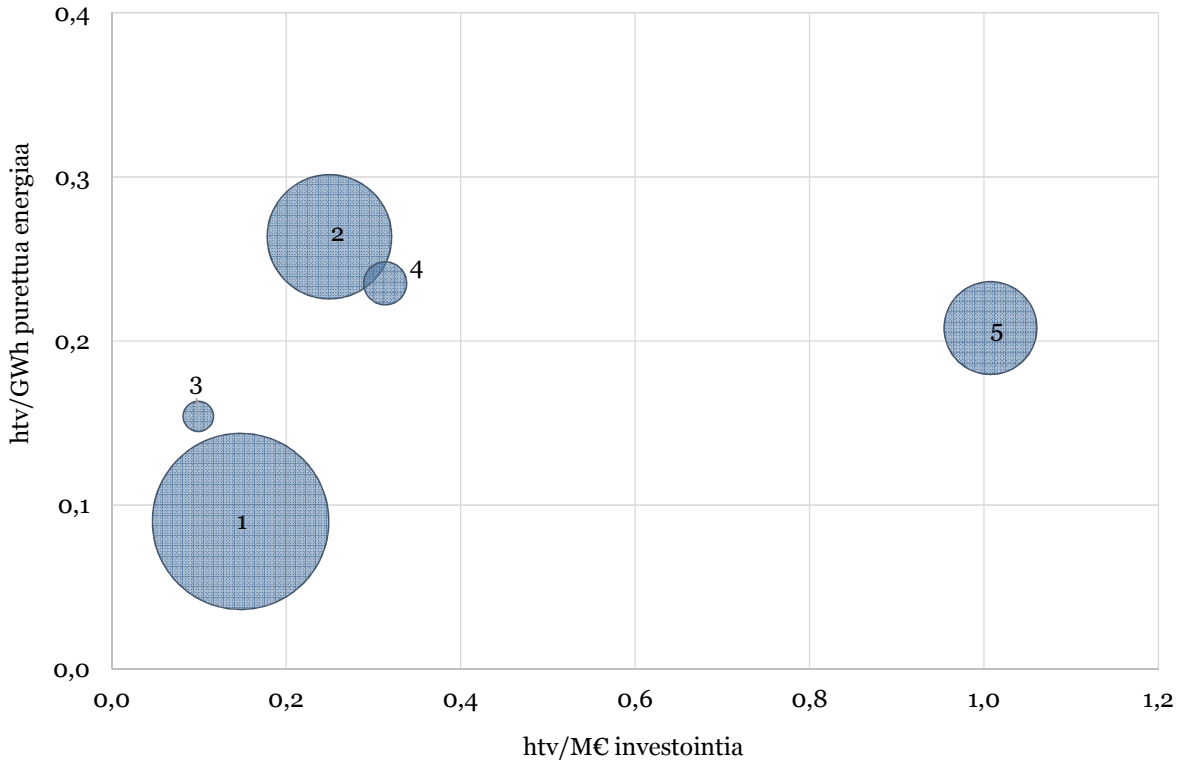


1. Maalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
2. Ilma-ilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
3. Ilma-vesilämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
4. Poistoilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
5. LED-valot kotitaloudet (olemassa olevat rakennukset)
6. LED-valot toimisto- ja palvelurakennukset (olemassa olevat rakennukset)
7. LED-valot katu- ja tievalaistus (olemassa olevat valaisimet)
8. Lämmön talteenotto pientalot (uudisrakennukset)
9. Lämmön talteenotto kerrostalot (uudisrakennukset)
10. Lämmön talteenotto muut rakennukset (uudisrakennukset)
11. Energiatehokas korjausrakentaminen (eristys ja ikkunat)
12. Sähkön kulutusjousto kotitaloudet
13. Sähkön kulutusjousto PK-sektori
14. Sähkön kulutusjousto teollisuus

6.3.4 Energian varastointi

Tarkasteltavista varastointiteknologioista työllistävyyden määrä suhteessa investoituun rahamäärään on selvästi suurin kaukolämpöjärjestelmien vesivarastoilla (5), joiden investoinnin kotimaisuusaste on korkea. Suurin absoluuttinen työllistävyys tehdyillä laskentaoletuksilla voidaan saavuttaa pumppuvoimalaitoksilla (1). Faasimuutosmateriaalien käyttöönoton työllistämisvaikutus on tässä vähäinen, sillä vaikka materiaalien arvoketjun voidaan olettaa synnyttävän työpaikkoja, vähenee työpaikkoja lämmityspolttoaineiden arvoketjussa, jolloin työllistävyyden nettovaikutus on lähellä nollaa. Myöskään suuren kokoluokan sähköakut tai power to gas -teknologian käyttöönotto ei lisää kotimaisia työpaikkoja merkittävästi.

Copyright © Sitra, Gaia

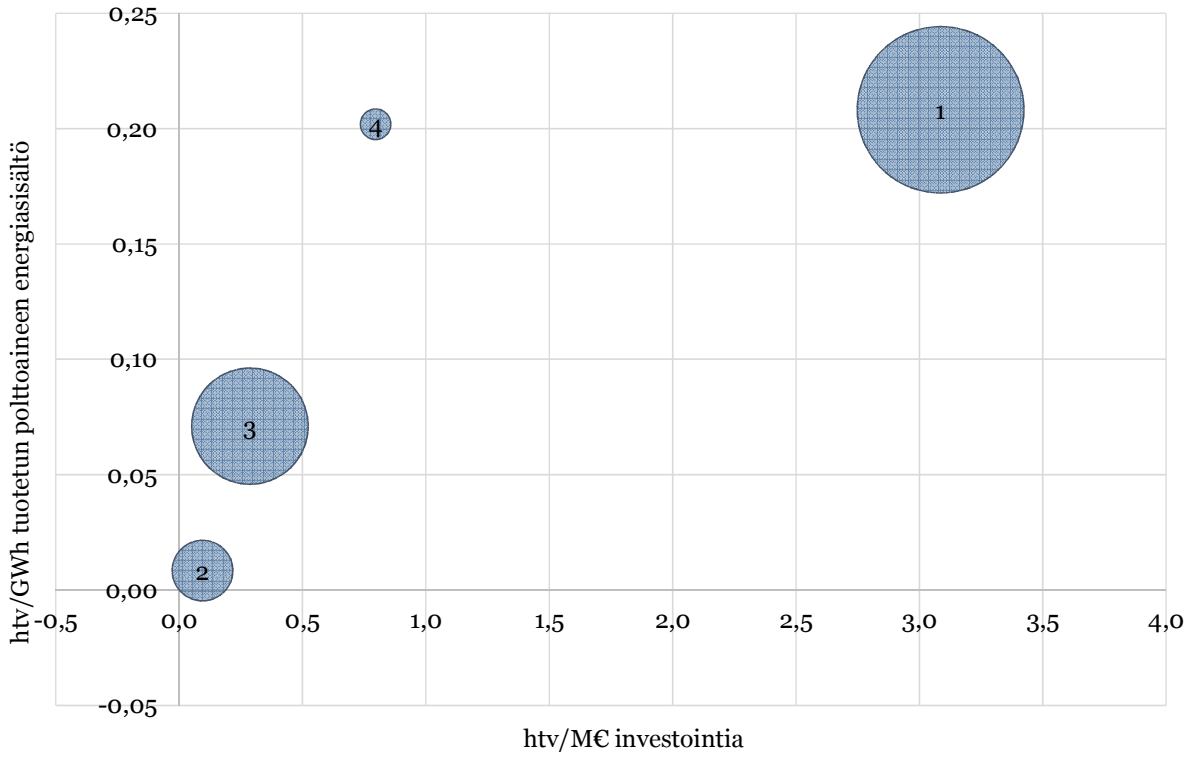


1. Pumppuvoimalat (sähkön varastointi)
2. Akut pientalokokoluokka (sähkön varastointi)
3. Akut suuri kokoluokka (sähkön varastointi)
4. Power to gas (sähkön varastointi polttoaineena)
5. Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä (lämmön varastointi)
6. Faasimuutosmateriaalit rakennuksissa (lämmön varastointi)

6.3.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat

Bioetanolituotanto (1) erottuu muista tarkastelluista liikenteen polttoaineteknologioista selvästi suurimpana työllistäjänä. Selityksenä tähän on työvoimaa vaativa peltobiomassan raaka-aineketju, kun muut biopolttoaineteknologiat perustuvat pääosin tähteiden ja jätteiden jalostamiseen. Toiseksi suurin työllistämispotentiaali on liikennebiokaasulla, jonka raaka-aineen hankintaketju työllistää kohtuullisen paljon.

Copyright © Sitra, Gaia

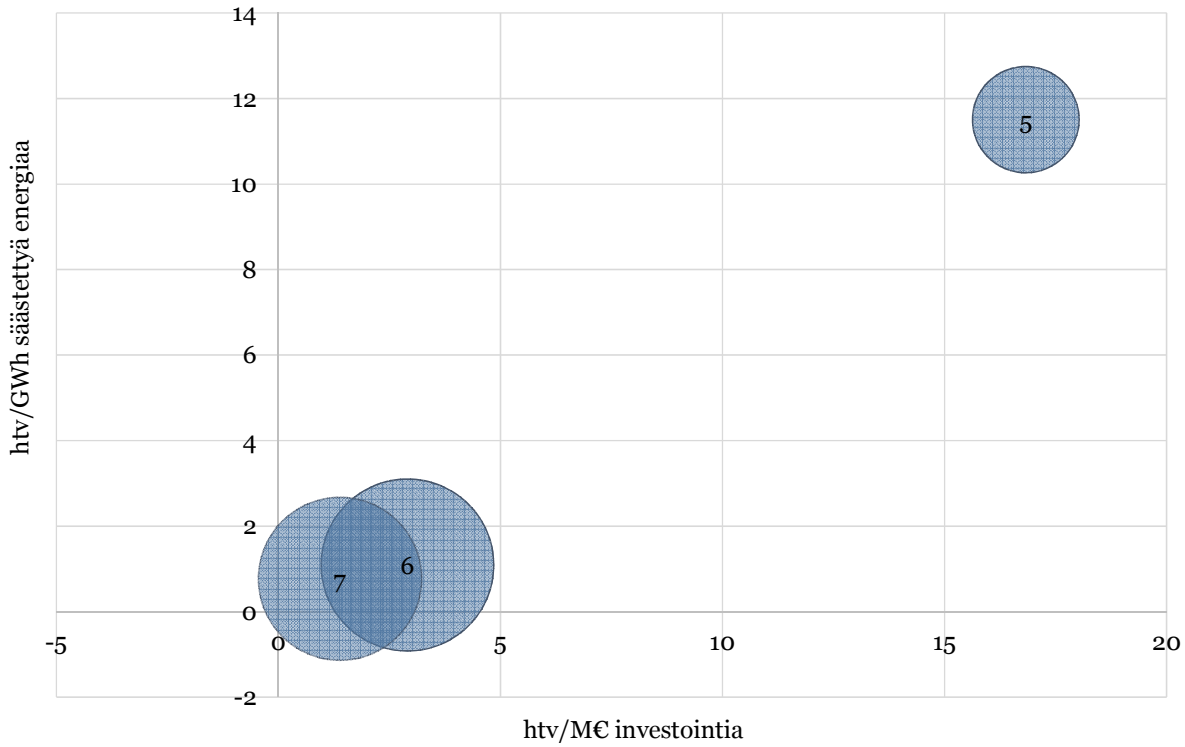


1. Bioetanolin tuotantoteknologiat
2. Biodieselin tuotantoteknologiat
3. Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat
4. Vedyn tuotanto (vesielektrolyysi)

Liikenteen energiaa säästävissä teknologioissa viennillä on suuri merkitys työllistävyydessä. Suhteutettuna kotimaisen investoinnin arvoon vetytankkausteknologia (5) erottuu muista, koska sen vienti työllistää kotimarkkinaan verrattuna paljon. Tästä huolimatta sähköautojen latausverkoston (6) pystyttäminen ja polttoainekulutusta vähentävien teknologioiden (7) asentaminen työllistävät absoluuttisesti eniten.

Työllisyysvaikutusta ei arvioitu Mobility as a Service -palvelulle (8).

Copyright © Sitra, Gaia



5. Vetyautojen tankkausteknologia

6. Sähköautojen latausteknologia

7. Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat (dual-fuel, RCCI)

8. Liikenteen ohjausjärjestelmät (MaaS) (ei arvioitu)

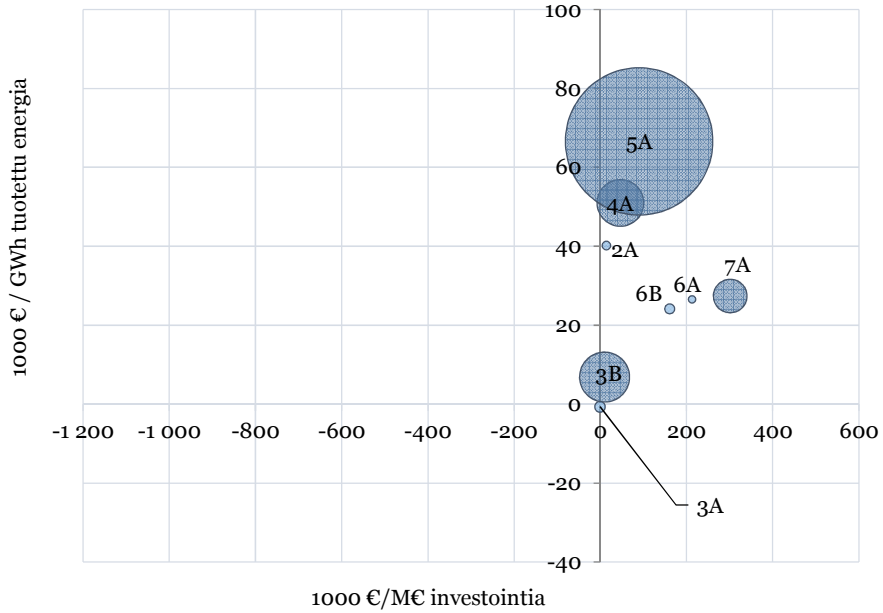
6.4 Vaihtotasevaikutusten vertailu

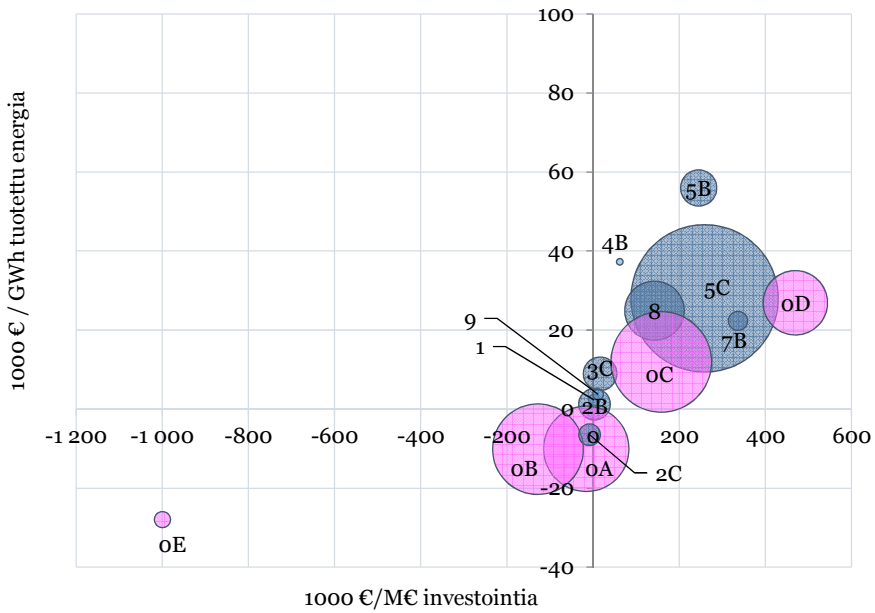
6.4.1 Energiantuotanto

Energiantuotantoteknologioiden vaihtotasevaikutusten tarkastelussa suurimmat positiiviset vaikutukset on kotimaista biomassaa hyödyntävillä teknologioilla (biomassakattilat 5A-5C, biokaasumoottorit 7A ja 7B sekä soodakattilat 0D). Myös aurinkolämpöteknologioilla (4A ja 4B) saadaan suuri vaikutus tuotettua energiayksikköä kohden. Absoluuttisesti eniten vaihtotasetta parantavat pienet ja suuret biomassakattilat.

Kuriositeettina on huomattava, että konventionaalisista tuotantoteknologioista hiilivoimalaitos (0C) tuottaa myös suuren positiivisen vaihtotasevaikutuksen. Tämä johtuu kivihiilen alhaisesta maailmanmarkkinahinnasta sekä laskentaoletuksesta, jonka mukaan kivihiilituotanto korvaa muuta keskimääräistä sähkön ja kaukolämmön tuotantoa. Tällöin vaihtotasevaikutus paranee, kun halvalla kivihiilellä korvataan huomattavasti kalliimpaa maakaasua sekä ulkomailta tuotua sähköä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on esitetty hajautetut ja oikeanpuoleisessa keskitetyt cleantech-ratkaisut. Kuvassa cleantech-teknologiat on piirretty sinisellä ja konventionaaliset verrokkiteknologiat vaaleanpunaisella.

Copyright © Sitra, Gaia



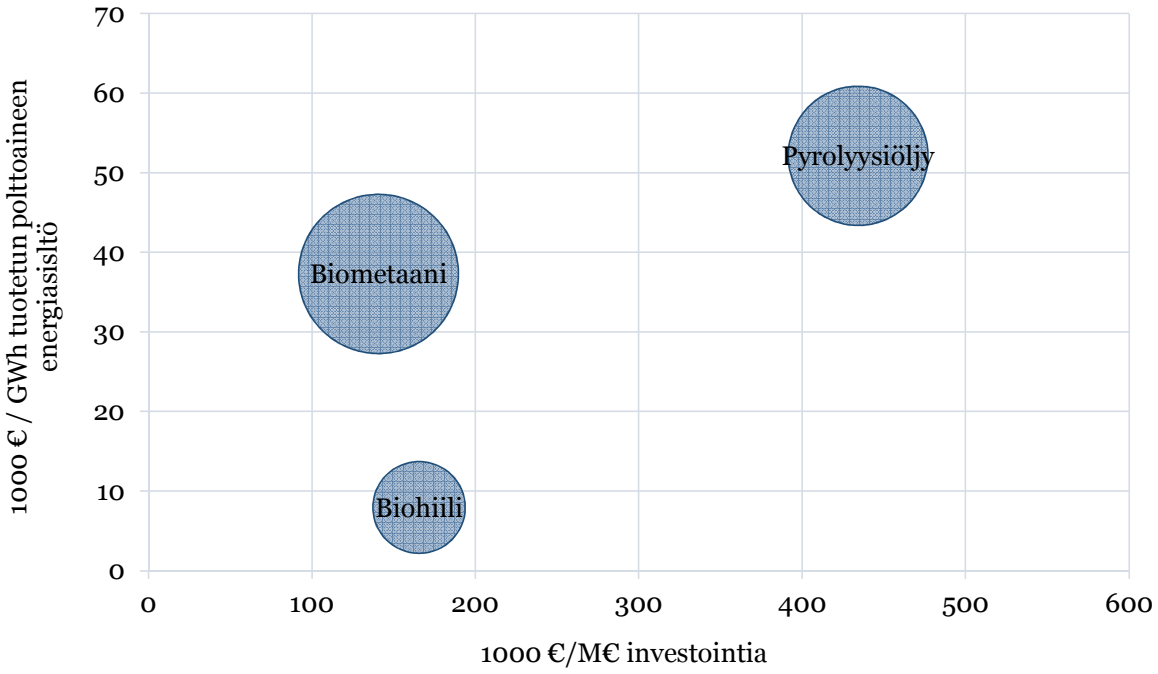


1. Vesivoima suuri
2A. Pientuulivoima
2B. Maatuulivoima suuri
2C. Merituulivoima suuri
3A. Aurinkosähkö pieni
3B. Aurinkosähkö keskikokoinen
3C. Aurinkosähkö suuri
4A. Aurinkolämpö pieni ja keskikokoinen
4B. Aurinkolämpö suuri
5A. Biomassakattilat pieni
5B. Biomassakattilat keskikokoinen
5C. Biomassakattilat suuri
6A. Biokaasupolttokennot pieni
6B. Biokaasupolttokennot keskikok.
7A. Biokaasumoottorit keskikokoinen
7B. Biokaasumoottorit suuri
8. Teolliset lämpöpumput suuri
9. Geoterminen lämpö suuri
0A. Ydinvoima
0B. Maakaasukombilaitos
0C. Hiilivoimalaitos
0D. Soodakattila
0E. POK-lämpölaitos

Copyright © Sitra, Gaia

6.4.2 Energiantuotannon polttoaineet

Pyrolyysiöljyn vaihtotasevaikutus on biohiiltä ja biometaania suurempi sekä polttoaineen energiasisältöä että investointia kohti mitattuna. Tämä johtuu suoraan pyrolyysiöljyn korkeammasta jalostusarvosta eli sillä korvattava kevyt polttoöljy on maailmanmarkkinoilla lähes viisi kertaa kalliimpaa kuin biohiilen vastine kivihiili ja myös selvästi kalliimpaa kuin maakaasu, jota biometaani korvaa. Tarkastelluista polttoaineista suurin vaihtotasevaikutus (pallon koko) on biometaanilla.



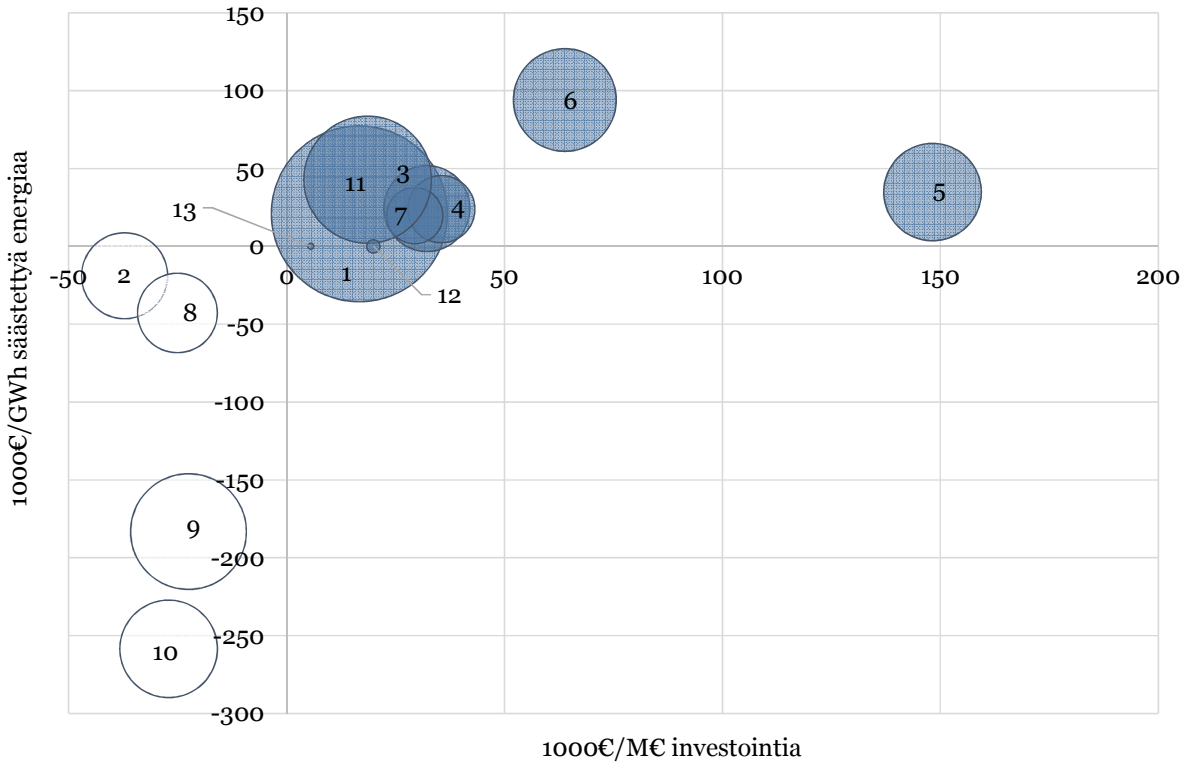
6.4.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

Kotitalouksien ja muiden rakennusten käyttäjien/omistajien vaihtaessa olemassa olevat lamput LED-lamppuihin paranee vaihtotase investoituun rahamäärään nähden tehokkaimmin (5 ja 6). Investoinnit ilma-ilmalämpöpumppuihin (2) sekä lämmön talteenottolaitteistoihin (8-10) synnyttävät negatiivisen vaihtotasevaikutuksen, mikä johtuu pitkälti teknologian tuonnista ja siitä, että näillä teknologioilla ei juurikaan korvata suoraan fossiilisia erillislämmöntuotannon (esim. kiinteistökohtaiset öljykattilat) tuontipolttoaineita,[102]. Negatiivinen vaikutus on esitetty kuvassa valkoisilla palloilla. Muut tarkasteltavat teknologiat vaikuttavat vaihtotaseeseen melko lailla yhtä paljon suhteessa investointeihin. Absoluuttisesti vaih-

[102] Ilma-ilmalämpöpumpuilla korvataan ennen kaikkea sähkölämmitystä ja LTO-laitteita tarkastellaan tässä ainoastaan uudisrakennuksissa, joissa ei jo pelkästään rakentamismääräysten vuoksi käytännössä tuoteta lainkaan lämpöä kiinteistökohtaisesti fossiilisilla polttoaineilla.

Copyright © Sitra, Gaia

totasetta parantaa eniten maalämpöpumppujen (1) lisääntyminen. Teollisuuden kulutusjouston (14) vaihtotasevaikutus on hyvin pieni, eikä se näy kuvassa.

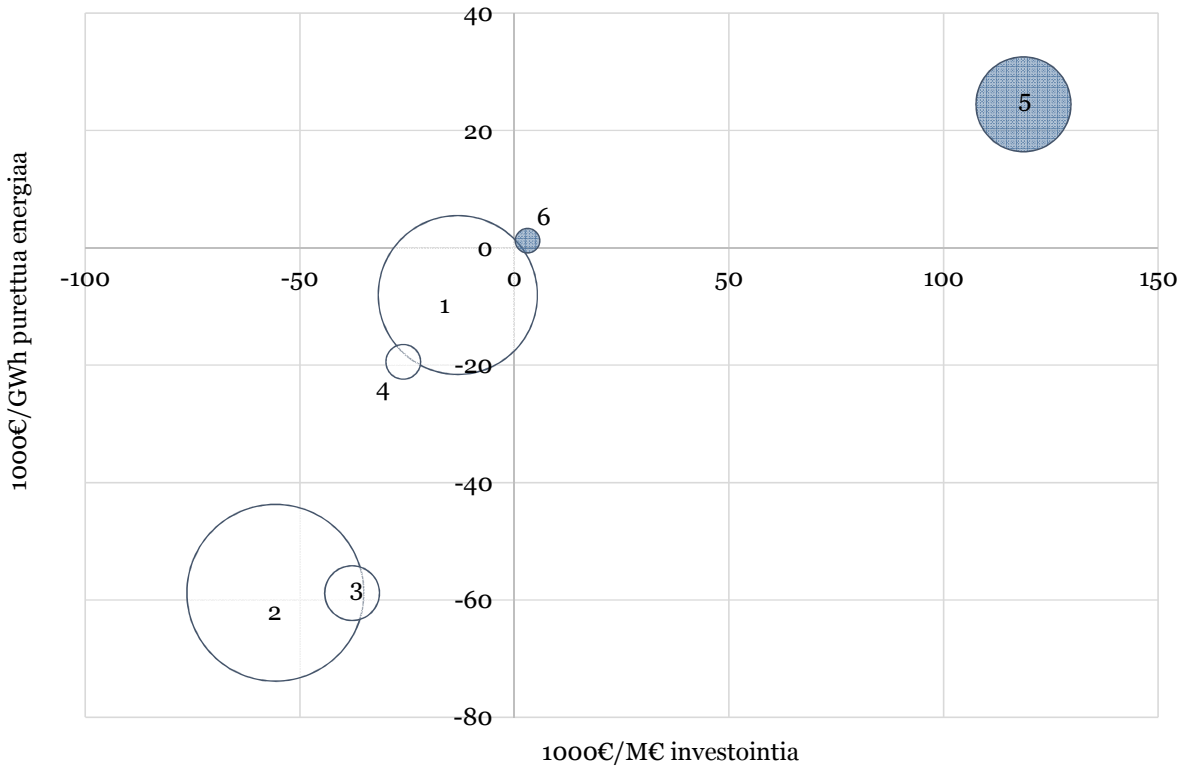


1. Maalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
2. Ilma-ilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
3. Ilma-vesilämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
4. Poistoilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)
5. LED-valot kotitaloudet (olemassa olevat rakennukset)
6. LED-valot toimisto- ja palvelurakennukset (olemassa olevat rakennukset)
7. LED-valot katu- ja tievalaistus (olemassa olevat valaisimet)
8. Lämmön talteenotto pientalot (uudisrakennukset)
9. Lämmön talteenotto kerrostalot (uudisrakennukset)
10. Lämmön talteenotto muut rakennukset (uudisrakennukset)
11. Energiatehokas korjausrakentaminen (eristys ja ikkunat)
12. Sähkön kulutusjousto kotitaloudet
13. Sähkön kulutusjousto PK-sektori
14. Sähkön kulutusjousto teollisuus

6.4.4 Energian varastointi

Investoinnin kotimaisuusaste on useiden tarkasteltavien varastointiratkaisujen osalta alhainen. Ilman merkittävää kotimaista tuotantoa ja teknologiavientiä muodostavat investoinnit pumppuvoimaloihin (kuvassa numero 1), akkuihin (2 ja 3) ja power to gas -laitoksiin (4) negatiivisen vaihtotasevaikutuksen. Negatiivinen vaikutus on esitetty kuvassa valkoisilla palloilla. Sen sijaan lämmön varastoimiseen tarkoitetut vesivarastot (5) erottuvat ryhmässä positiivisesti. Tämä johtuu investoinnin korkeasta kotimaisuusasteesta sekä siitä, että vesivarastoista purettavalla lämmöllä oletetaan korvattavan kaukolämpöjärjestelmässä fossiilisilla tuontipolttoaineilla tuotettua lämpöä (huipputeholaitokset).

Copyright © Sitra, Gaia

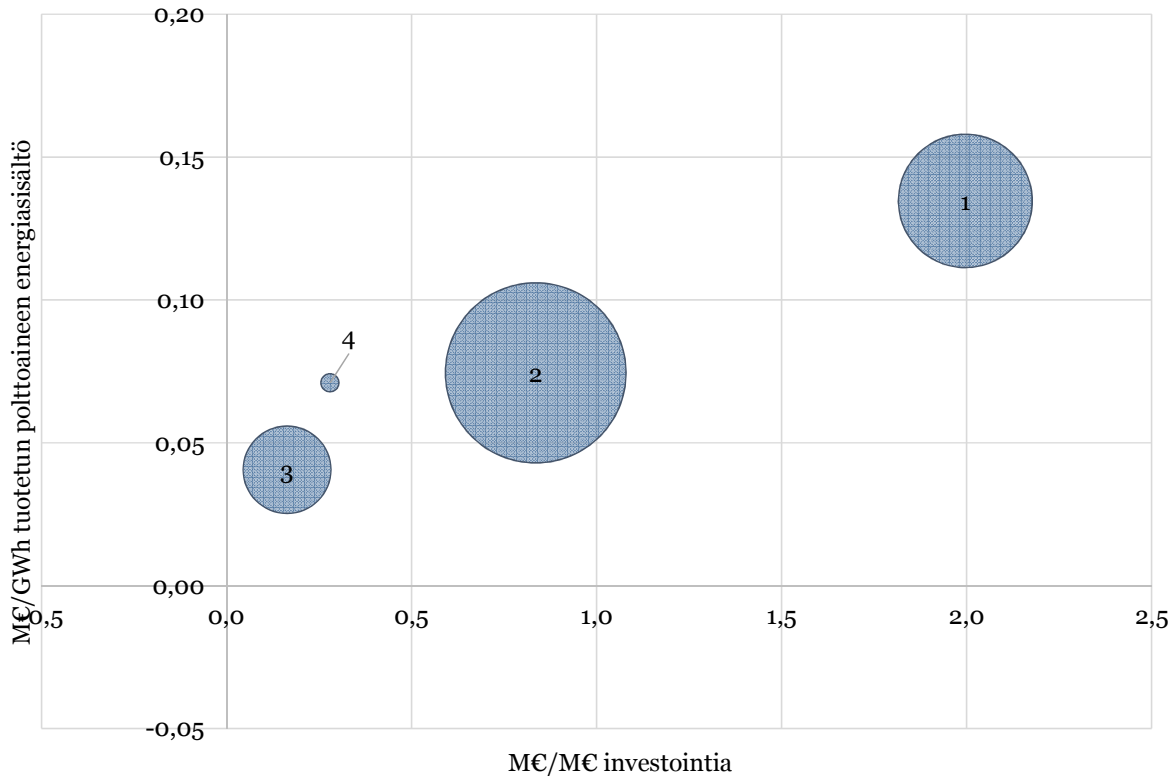


1. Pumppuvoimalat (sähkön varastointi)
2. Akut pientalokokoluokka (sähkön varastointi)
3. Akut suuri kokoluokka (sähkön varastointi)
4. Power to gas (sähkön varastointi polttoaineena)
5. Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä (lämmön varastointi)
6. Faasimuutosmateriaalit rakennuksissa (lämmön varastointi)

6.4.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat

Liikenteen polttoaineiden osalta biodieselin tuotanto (2) on tuotantovolyymiltään ja siten myös vaihtotasevaikutuksiltaan positiivisin. Kun vaihtotasevaikutus suhteutetaan tuotettuun energiamäärään tai investoituun rahamäärään, nousee bioetanolituotanto (1) kaikkein suurimmaksi molemmilla mittareilla tarkasteltuna.

Copyright © Sitra, Gaia

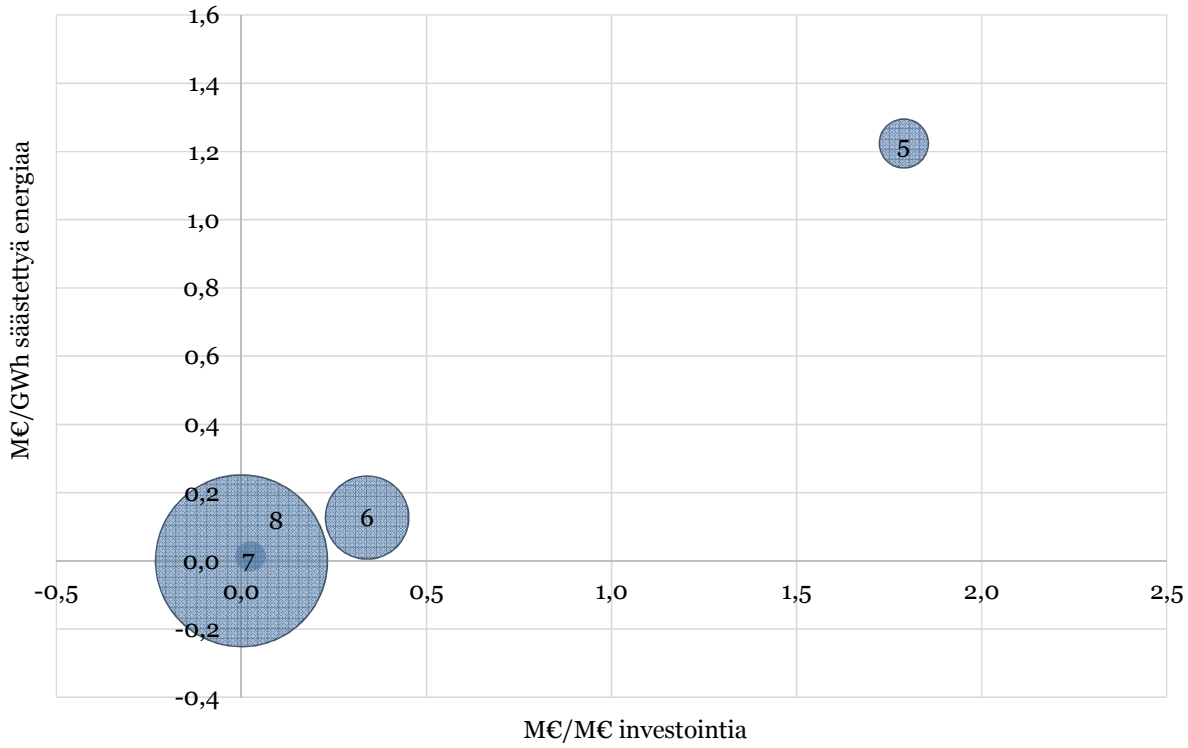


1. Bioetanolin tuotantoteknologiat
2. Biodieselin tuotantoteknologiat
3. Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat
4. Vedyn tuotanto (vesielektrolyysi)

Liikenteen energiaa säästävissä teknologioissa Mobility as a Service (MaaS) -palvelu (8) erottuu ylivoimaisena muista, koska suomalaisille palveluille on arvioitu suuri vientipotentiaali ja samalla myös autotuonti vähenee. Huomioitavaa on kuitenkin, että investoinnin arvoa tai energiansäästövaikutusta ei ole arvioitu MaaS:lle (siksi teknologiaa kuvaavan ympyrän sijainti ei ole verrannollinen muihin kuvan teknologioihin vaan se on asetettu origoon).

Kun vaihtotasevaikutus suhteutetaan investoituun rahamäärään tai energiansäästöön kotimaassa, nousee vetytankkaus (5) merkittävimmäksi, koska sen vientipotentiaali on kotimarkkinaan verrattuna suuri.

Copyright © Sitra, Gaia



5. Vetyautojen tankkausteknologia

6. Sähköautojen latausteknologia

7. Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat (dual-fuel, RCCI)

8. Liikenteen ohjausjärjestelmät (MaaS)

7 Teknologioiden liiketoiminta- ja vientimahdollisuudet

Tarkasteltujen cleantech-teknologioiden liiketoiminta- ja vientimahdollisuuksia on arvioitu vertailemalla yksittäisen teknologian vuonna 2030 vuosittain investoitua rahamäärää (sininen skenaario) tämän teknologian globaalin markkinan arvoon nykytilanteessa, vuonna 2015. Tarkastelussa on kuitenkin huomattava, että Suomen cleantech-markkinan kehittymistä ei voida suoraan verrata maailmanlaajuiseen markkinaan, eikä toisinpäin. Joillain teknologioilla voi olla merkittäviä vientimahdollisuuksia, vaikka kotimaan markkina globaaliin markkinaan verrattuna olisi vähäinen. Suomeen sijoittuvan liiketoiminnan kokoon vaikuttavat mm. suomalaisten alan yritysten koko, kehitysvaihe ja lukumäärä sekä halu ja kyky tehdä vientiliiketoimintaa. Myös kotimarkkinoiden koolla ja yhteiskunnan toimilla on vaikutusta liiketoiminnan syntymiseen ja kokoon.

Suomeen jäävän taloudellisen hyödyn määrään vaikuttaa laitteistojen, palveluiden ja muiden arvoketjun osien kotimaisuusaste. Suomalaisten yritysten vientiin vaikuttaa puolestaan näiden yritysten saavutettavissa oleva osuus globaalista tai esimerkiksi Euroopan talousalueen markkinakehityksestä.

Copyright © Sitra, Gaia

Selvityksessä käytetyissä skenaarioissa on tehty arvioita ja oletuksia eri teknologioiden vientipotentiaalista vuoteen 2030 saakka. Nämä arviot ja oletukset on esitetty erillisessä taulukkoliitteessä (liite 2). Eri teknologioiden liiketoiminnan volyymia voidaan arvioida tarkastelemalla teknologioiden arvoketjussa syntyvien rahavirtojen muutosta eri skenaarioissa. Rahavirtojen muutokset on esitetty liitteessä 1 teknologiakohtaisesti.

Luvuissa 7.1.1 - 7.1.5. on esitetty eri teknologioiden suorat investointimäärät Suomessa teknologiakohtaisissa sinisissä skenaarioissa vuonna 2030. Investointimääriä on verrattu globaaliin markkinaan raportin kirjoitushetkellä. Taulukoissa suluissa olevat luvut eivät kuvaa spesifisti tarkastellun teknologian globaalia markkinaa, vaan esimerkiksi Euroopan markkinaa tai laajempaa teknologiaryhmää (tarkemmat rajaukset on esitetty alaviitteessä).

Yleisenä havaintona voidaan todeta, että lähes kaikissa teknologioissa globaali markkinapotentiaali on jo nyt tai lähitulevaisuudessa niin suuri, että se tarjoaa riittävän potentiaalin suomalaiselle cleantech-teknologialle. Kyse on siis ennen kaikkea suomalaisten yritysten kilpailukyvystä vientimarkkinoilla eikä markkinan koko aseta rajoituksia teknologiaviennille. Tässä mielessä ei siis ole kansallisesti tarvetta tai perustetta panostaa vain joihinkin teknologioihin vaan ylipäätään edistää suomalaisten cleantech-yritysten kilpailukykyä ja kotimarkkinaa teknologiasta riippumatta.

7.1.1 Energiantuotanto

Kun tarkastellaan teknologiakohtaisia sinisiä skenaarioita, suurimmat vuosittaiset investoinnit vuonna 2030 kohdistuvat tuulivoimaan sekä biomassakattiloihin. Globaalisti ylivoimaisesti suurimmat markkinat ovat tällä hetkellä tuulivoimassa, kun taas Suomessa merkittävässä asemassa olevat biomassakattilat ovat kansainvälisesti pienempi markkinasegmentti. Aurinkoenergian markkinat ovat tällä hetkellä vielä selvästi tuulivoimamarkkinoita pienemmät, mutta niiden kasvuvauhti on erittäin voimakas.

Copyright © Sitra, Gaia

Energiantuotantoteknologiat (tarkasteltu teknologiakohtaisia sinisiä skenaarioita v. 2030)	Investoinnit Suomessa 2030 [M€/v]	Globaalin markkinan koko 2015 [M€/v]
1. Vesivoima, kaikki kokoluokat	17	41 000[103]
2. Tuulivoima, kaikki kokoluokat	292	191 100[104]
3. Aurinkosähkö, kaikki kokoluokat	111	20 500[105]
4. Aurinkolämpö, kaikki kokoluokat	11	(2 200)[106]
5A. Biomassakattilat pieni	201	*
5B. Biomassakattilat keskikokoinen	58	*
5C. Biomassakattilat suuri	129	25 900[107]
6. Biokaasupolttokennot, kaikki kokoluokat	1	2 400[108]
7. Biokaasumoottorit, kaikki kokoluokat	12	44 100[109]
8. Teolliset lämpöpumput suuri	60	56 900[110]
9. Geoterminen lämpö suuri	4	(1 400)[111]

* Ei tietoa saatavilla

7.1.2 Energiantuotannon polttoaineet

Teknologiakohtaisten sinisten skenaarioiden mukaan suurimmat energiatuotannon polttoaineiden investoinnit v. 2030 kohdistuvat pyrolyysiöljyn tuotantoon huolimatta siitä, että nykyiset kansainväliset markkinat ovat pienet kannattavien käyttökohteiden vähäisyyden vuoksi. Etenkin biohiilellä globaalit markkinat ovat jo nyt varsin merkittävät. Mikäli biohiilen laatu ja kustannuskilpailukyky paranevat niin, että sillä voidaan korvata kivihiiltä merkittäviä määriä, voidaan biohiilen markkinoiden olettaa kasvavan räjähdysmäisesti. Myös biometaanin maailmanmarkkinat ovat suuret verrattuna kotimaisiin investointimääriin.

Polttoaineet (tarkasteltu teknologiakohtaisia sinisiä skenaarioita v. 2030)	Investoinnit Suomessa 2030 [M€/v]	Globaalin markkinan koko 2015 [M€/v]
1. Biohiilen tuotanto	83	(7 480)[112]
2. Pyrolyysiöljyn tuotanto	186	15[113]
3. Biometaani	66	890[114]

[103] IEA (2013), World Energy Outlook 2013.
[104] Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[105] Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[106] Vain EU-alue. ESTIF (2013), Solar Thermal Markets in Europe.
[107] Globaali CHP-laitosten markkina, kaikki polttoaineet, Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[108] Kaikki polttokennot polttoaineesta riippumatta, Markets and Markets (2014), Fuel Cell Technology Market by Type, by Application and Geography - Global Trends and Forecasts Till 2019.
[109] Globaali kaasumoottorien markkina, kaikki polttoaineet, Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[110] Kaikki lämpöpumput, Industry Experts (2014), Heat Pumps (Heating, Cooling and Hot Water) - a Global Market Overview.
[111] Geoterminen sähköntuotanto. Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[112] Vain EU-alue. Pöyry (2012), Bio Coal Market Perspectives in Europe.
[113] Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[114] Anaerobinen mädätys, teknologiainvestoinnit, Green Investment Bank (2013), Anaerobic Digestion Market Report 2013.

Copyright © Sitra, Gaia

7.1.3 Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

Tarkastelujen energiatehokkuus- ja kulutusteknologioiden osalta suurimmat investoinnit vuonna 2030 tehdään lämpöpumppuihin ja lämmön talteenottoteknologioihin, kun tarkastellaan teknologiakohtaisia sinisiä skenaarioita. Myös globaalit markkinat ovat näiden teknologioiden osalta merkittävät. Alla olevassa taulukossa esitettyjen teknologioiden lisäksi mm. älymittareilla[115] ja muilla älykkäiden energiaverkkojen komponenteilla sekä taajuusmuuttajilla on merkittävät ja kasvavat globaalit markkinat, jotka synnyttävät vientimahdollisuuksia kotimaisille toimijoille.

Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat (tarkasteltu teknologiakohtaisia sinisiä skenaarioita v. 2030)	Investoinnit Suomessa 2030 [M€/v]	Globaalin markkinan koko 2015 [M€/v]
1. Lämpöpumput	380[116]	56 900[117]
2. LED-lamput	50[118]	20 000[119]
3. Lämmön talteenotto	230[120]	(53 000)[121]
4. Energiatehokas korjausrakentaminen (eristys ja ikkunat)	50[122]	(17 000)[123]
5. Kulutusjoustoteknologiat	3	5 400[124]

7.1.4 Energian varastointi

Energian varastointimarkkina kasvaa ennen kaikkea sähköakkujen kysynnän kasvaessa. Raportin kirjoitushetkellä jo ainoastaan kiinteistökohtaisten hajautettujen sähkövarastojen markkina on luokkaa puoli miljardia euroa globaalisti.[125] Kokonaisuutena sähköakkumarkkinan koko on useita miljardeja, kun otetaan huomioon nopeasti kasvava sähköautomarkkina. Faasimuutosmateriaalien markkinan odotetaan myös kasvavan yli miljardiin euroon ennen vuotta 2020.[126] Muiden teknologioiden osalta markkinan kokoa ei ole ilmoitettu alla olevassa taulukossa, sillä nämä koostuvat useista perinteisistä teknologioista (esim. pump-

[115] Älykkääseen mittausinfrastruktuuriin liittyvän markkinan koko on yli 5 miljardia euroa. Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[116] Ennen vuotta 2015 olemassa olevat rakennukset Suomessa.
[117] Kaikki lämpöpumput, Industry Experts (2014), Heat Pumps (Heating, Cooling and Hot Water) - a Global Market Overview.
[118] Ennen vuotta 2015 olemassa olevat rakennukset Suomessa.
[119] Navigant Research.
[120] Uudisrakennukset Suomessa 2015–2030.
[121] Rakennusten LVI-järjestelmät kokonaisuutena. Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[122] Vain energiansäästölle allokoitu osuus (noin 20 % kokonaisinvestoinnista).
[123] Rakennusten eristävyyden parantaminen. Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[124] Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[125] Navigant Research.
[126] Ks. esim. BCC Research, 2014. Phase Change Materials: Technologies and Global Markets.

Copyright © Sitra, Gaia

puvoimaloissa pumput ja turbiinit) tai globaalia markkinaa on hankala arvioida (esim. vesivarastot).

Energian varastointiteknologiat (tarkasteltu teknologiakohtaisia sinisiä skenaarioita v. 2030)	Investoinnit Suomessa 2030 [M€/v]	Globaalin markkinan koko 2015 [M€/v]
1. Pumppuvoimalat (sähkön varastointi)	8	-
2. Akut (sähkön varastointi)	7	(500)[127]
4. Power to gas (sähkön varastointi polttoaineena)	0,6	-
5. Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä (lämmön varastointi)	0,4	-
6. Faasimuutosmateriaalit rakennuksissa (lämmön varastointi)	0,7	(> 1 000)[128]

7.1.5 Liikenteeseen liittyvät teknologiat

Kun tarkastellaan teknologiakohtaisia sinisiä skenaarioita, liikenteen polttoainetuotanto- ja energiatehokkuusteknologioiden osalta suurimmat investoinnit vuonna 2030 tehdään polttoainekulutusta vähentäviin teknologioihin (autokohtainen asennus sekä yksityisautoihin että ammattiliikenteen autoihin) sekä sähkölatausinfrastruktuuriin (julkiset laturit ja kotilaturit). Merkittävää vientipotentiaalia suomalaisilla yrityksillä on arvioitu olevan erityisesti älykkäässä sähköautojen lataukseen liittyvässä palvelukehityksessä sekä Mobility as a Service -palveluissa. Näitä palveluita vasta kehitetään, joten niille ei vielä ole olemassa kotimaista tai globaalia markkinaa. Liikenteen biopolttoaineiden osalta globaalin markkinan koko on valtava suhteessa arvioituihin teknologiakohtaisiin suomalaisiin investointeihin.

Liikenteeseen liittyvät teknologiat (tarkasteltu teknologiakohtaisia sinisiä skenaarioita v. 2030)	Investoinnit Suomessa 2030 [M€/v]	Globaalin markkinan koko 2015 [M€/v]
1. Bioetanolin tuotantoteknologiat	4	(71 000)[129]
2. Biodieselin tuotantoteknologiat	17	19 000[130]
3. Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat	20	46[131]
4. Vedyn tuotanto (vesielektrolyysi)	1	*
5. Vetyautojen tankkausteknologia	2	*
6. Sähköautojen latausteknologia	40	(400)[132]
7. Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat (dual-fuel, RCCI)	80	*
8. Liikenteen ohjausjärjestelmät (MaaS)	-	*

* Ei tietoa saatavilla

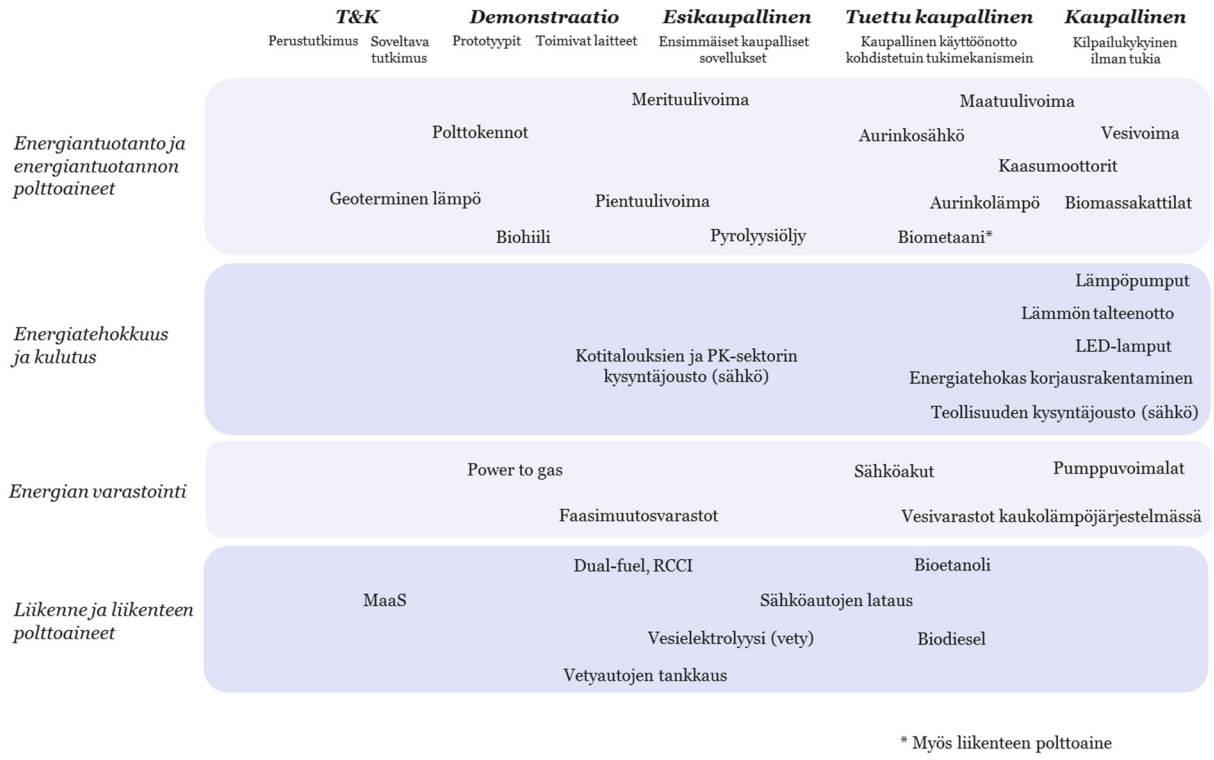
[127] Ainoastaan kiinteistökohtaiset sähköakut. Navigant Research.
[128] Arvio vuoteen 2020 mennessä. BCC Research, 2014. Phase Change Materials: Technologies and Global Markets.
[129] Etanoli ja butanoli. Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[130] Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[131] Advanced Energy Economy (2015), Advanced Energy now 2015 Market Report.
[132] Arvio Euroopan markkinan koosta 2030 sähkölatausteknologian osalta. Tämän lisäksi suomalaisilla toimijoilla arvioidaan olevan merkittävää vientipotentiaalia älykkääseen lataukseen liittyvien palveluiden osalta. Lähde: Teknologiateollisuus ry / Sähköisen liikenteen toimialaryhmä

Copyright © Sitra, Gaia

8 Tulosten luotettavuuden arviointia

Tässä selvityksessä kaikki teknologioista ja niiden kehittymisestä riippumattomat ns. yleiset parametrit (ks. liite 2) on oletettu vakioiksi koko tarkastelujakson ajalle. Tämä tarkoittaa, että mm. verotus, sähkön-, kaukolämmön-, fossiilisten polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnat, energiantuotannon ominaispäästökertoimet, taloudelliset ohjauskeinot (mm. suorat tuet) ja korkotaso on oletettu säilyvän reaalisesti vuoden 2015 tasolla. Tällä tavalla on pyritty eliminoimaan se, että olisi tehty joitain teknologioita suosivia tai haittaavia oletuksia tulevaisuuden toimintaympäristön muutoksista. Laskelmien tulokset kuvaavat siis tämänhetkistä toimintaympäristöä heijastettuna vuosiin 2020 ja 2030.

Tarkastelun suurimmat epävarmuudet liittyvät teknologioihin, jotka ovat teknologisen kehityksen alkuvaiheessa. Näiden uudempien teknologioiden kilpailukyky saattaa muuttua nopeastikin, mikäli jossain teknologiassa koetaan nopea teknistaloudellinen harppaus. Hyvänä esimerkkinä voidaan mainita aurinkosähkö, jonka kilpailukyvyn positiivinen kehitys viimeisen 5 vuoden aikana on ollut huomattavasti nopeampaa kuin asiantuntijat ovat aiemmin arvioineet. Myös joidenkin energian varastointiteknologioiden osalta saattaa jo lähitulevaisuudessa tapahtua huomattavaa kehitystä ja niiden käyttö lisääntyä johtuen ennen kaikkea energiamarkkinakehityksestä, ei niinkään esimerkiksi päästöjen vähentämiseen tähtäävästä ohjauksesta. Seuraavassa kuvassa on karkeasti hahmoteltu eri teknologioiden kehitysaste. Mitä enemmän vasemmalla teknologia on, sitä suurempi kehitysmahdollisuus teknologialla vielä on ja sitä suurempi epävarmuus liittyy teknologian tulevaisuuteen.



Copyright © Sitra, Gaia

Sähkön hinnan muutokset vaikuttavat teknologioiden kannattavuuteen etenkin investoijan näkökulmasta. Sähkön kokonaishinnan (energia+siirto+verot) noustessa investoinnit sähkönkulutusta vähentäviin teknologioihin muuttuvat kannattavimmiksi. Samalla kuitenkin teknologioiden, jotka lisäävät sähkönkulutusta (esim. lämpöpumput), kannattavuus heikkenee – kuitenkin vain siinä tapauksessa, että sähkön hinta nousee nopeammin kuin korvattavien energiamuotojen hinnat. Pörssisähkön hinnan nousu sen sijaan tekee uusista sähköntuotantokapasiteetti-investoinneista kannattavampia, kun sähkömarkkinoille myydystä sähköstä saadaan enemmän tuloja.

Kaukolämmön ja polttoaineiden hinnan muutokset vaikuttavat investointien kannattavuuteen käytännössä samalla logiikalla kuin sähkön hintamuutokset. Mikäli ostolämmön hinta nousee, muodostuvat energiatehokkuusinvestoinnit kannattavimmiksi. Polttoaineiden markkinahintojen nousu vaikuttaa keskitetyssä tuotannossa siten, että lämmön myyjä voi joko myydä tuottamaansa lämpöä heikommalla katteella tai siirtää nousevat tuotantokustannukset lämmön myyntihintaan.

Ohjauskeinojen, kuten suorien tukien, verotasojen, normien ja päästöoikeuden hinnan vaikutuksia ei ole mallinnettu tässä selvityksessä dynaamisesti. Tämä tarkoittaa että laskelmissa on oletettu teknologiakohtaisten skenaarioiden toteutuvan sellaisenaan vuoden 2015 tuki- ja verotasoilla. Teknologiakohtaiset skenaariot on kuitenkin laadittu silmälläpitäen sitä, että optimistisempien skenaarioiden mukaista käyttöönoton tasoa ei saavuteta ilman taloudellista ohjausta. Valtion määrittelemillä taloudellisilla ohjauskeinoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi teknologioiden käyttöönoton ja käytön taloudellisuuteen sekä teknologioiden keskinäiseen kilpailukykyyn. Ohjauskeinojen muutoksilla on merkittävin vaikutus investoijiin, kuluttajiin sekä kuntien ja valtion talouteen. On myös huomattava, että teknologioiden ja markkinoiden kehittyessä suorien tukien tarve tyypillisesti vähenee ja voi aikanaan poistua kokonaan.

Päästöoikeuksien hinta on raportin kirjoitushetkellä historiallisen alhainen, joka tarkoittaa että päästöjen hinta ei ohjaa merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Päästöoikeuksien hintojen nousu tekee päästöttömiin tuotantomuotoihin investoimisen kannattavammaksi verrattuna teknologioihin, joilla energiaa tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. Myös investointien, jotka vähentävät fossiilisten polttoaineiden käytön tarvetta (esim. vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä), kilpailukyky paranee päästöoikeuksien hintojen noustessa.

Investoinnit, jotka kohdistuvat kotimaisen energian hyödyntämiseen ulkomailta tuotujen fossiilisten polttoaineiden sijaan parantavat myös Suomen vaihtotasetta – olettaen että tämän mahdollistavan teknologian tuonnin kasvu ei ole suurempi kuin vähenevä polttoainetuonti. Teknologiatuontiin sen sijaan vaikuttaa merkittävässä määrin laitteiden, komponenttien ja työn kotimaisuusaste; mitä enemmän investoinnin arvosta jää kotimaahan, sen parempi investointi on Suomen vaihtotaseen – ja myös työllisyyden kannalta.

Investoinnin kannattavuuteen merkittävästi vaikuttavia parametreja ovat lisäksi korkotaso, teknologioiden teknistaloudellinen käyttöikä sekä korvattavan energian hinta. Korkotaso riippuu monista asioista, kuten vallitsevasta rahoitusmarkkinatilanteesta ja investoijan mak-

Copyright © Sitra, Gaia

sukyvystä sekä investoijan näkökulmasta myös vaihtoehtoisen sijoituskohteen tuotto-odotuksesta. Myös teknologioiden teknistaloudellisen käyttöiän ja korvattavien lämmitysmuotojen ja niiden hintojen osalta on tehty laskennassa arvioita ja oletuksia, jotka ovat todellisuudessa tapauskohtaisia.

Kun tarkastellaan teknologioita, joilla korvataan fossiilista polttoainetta tai vähennetään energiankulutusta, on päästövaikutus sitä suurempi mitä korkeampi on korvattavan energian ominaispäästökerroin. Tässä selvityksessä sähköä ja kaukolämpöä on oletettu korvattavan niiden nykyisen kansallisen keskimääräisen tuotantorakenteen mukaisesti. On kuitenkin huomattava, että kun energiantuotantopalettiin lisätään päästöttömiä energiamuotoja, vähenee keskimääräinen ominaispäästökerroin. Samoin käy mikäli teknologioilla voidaan vähentää huipputuntien kulutusta (esim. kulutusjousto). Tämä tarkoittaa, että selvityksen tarkastelujakson alussa käyttöönotetut puhtaat teknologiat vähentävät todellisuudessa päästöjä enemmän kuin tarkastelujakson loppupuolella käyttöönotetut teknologiat. Tässä selvityksessä ei ole kuitenkaan tarkasteltu energiajärjestelmän systeemisiä muutoksia tai tehty oletuksia järjestyksestä, jossa teknologioita otetaan (tai kannattaisi ottaa) käyttöön, vaan päästökertoimet on oletettu vakioiksi koko tarkastelujakson ajan.

9 Yhteenveto

Selvityksessä arvioitiin teknologiakohtaisesti yksittäisten cleantech-teknologioiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöjen, työllisyyden ja vaihtotaseen näkökulmista. Tarkasteltavat teknologiat kattoivat energian tuotannon ja varastoinnin, energiatehokkuuden, kulutusjouston, liikenteen ja energiantuotannon polttoaineiden sekä liikenteeseen liittyvien uusien teknologioiden osa-alueet. Teknologioiden teknistaloudellista ja lukumäärällistä kehitystä varioitiin kolmella vaihtoehtoisella teknologiakohtaisella kehityspolulla, joita kutsuttiin skenaarioiksi. Tällä tavoin tuotiin esille kehitykseen liittyvä epävarmuus, joka koskee ennen kaikkea uusia teknologioita, jotka eivät ole vielä kaupallisesti kypsiä.

Kutakin teknologiaa tarkasteltiin erikseen eikä selvityksen tarkoituksena ollut muodostaa kokonaiskuvaa Suomen energiateknologioiden kehityksestä. Selvityksen tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa, mihin teknologioihin kannattaa tulevaisuudessa panostaa, kun otetaan huomioon investointien kannattavuusnäkökulman lisäksi eri teknologioiden kasvihuonekaasupäästö-, työllisyys- ja vaihtotasevaikutukset. Tuloksista voidaan nähdä, että jokin teknologia voi tuottaa positiivisia vaikutuksia joillain tarkastelun osa-alueilla ja negatiivisia toisilla osa-alueilla. Lopullinen päätös panostuksien kohdentamisesta riippuu siitä, mitä vaikutuksia päätöksenteossa halutaan painottaa.

Selvityksen tuloksista voidaan nähdä, että suurimmat vaikutukset ovat saavutettavissa teknologioilla, joiden voidaan arvioida olevan kaupallisesti kypsiä vuoteen 2030 mennessä. Vaihtotaseeseen vaikuttaa teknologiaviennin ja -tuonnin lisäksi sähkön ja polttoaineiden sekä päästöoikeuksien markkinahinnat. Esimerkiksi raportin kirjoitushetkellä päästöoikeuksien markkinahinta ja öljyn maailmanmarkkinahinta oli alhaisella tasolla, mikä johtaa siihen,

Copyright © Sitra, Gaia

että cleantech-teknologioiden käyttöönoton synnyttämät vaihtotasevaikutukset jäävät vähäisemmiksi kuin tilanteessa, jossa markkinahinnat olisivat korkeammat.

Globaali cleantech-markkina on jo nyt erittäin suuri ja usean teknologian osalta vuotuiset kasvuprosentit ovat kaksinumeroisia. Voidaankin todeta, että suomalaisten toimijoiden liiketoiminta- ja vientimahdollisuudet ovat kiinni tuotteiden ja palveluiden laadusta, hinnasta ja erottautumiskyvystä eikä markkinoiden koko aseta rajoitteita. Vientimahdollisuuksien hyödyntäminen parantaa sekä kotimaista työllisyyttä että vaihtotasetta, joten cleantech-teknologian viennin edistämiselle on vankat perusteet. Toisaalta voidaan todeta, että työllisyyden lisääntyminen ei itsessään ole riittävä peruste panostuksien kohdentamiselle, vaan työpaikkojen tulee synnyttää kilpailukykyisiä tuotteita ja palveluita, joilla voidaan luoda kestävää kasvua niin kotimarkkinoiden kuin viennin lisääntymisen kautta.

Valtiovalta voi vaikuttaa kotimaisten yritysten kilpailukykyyn luomalla riittävän selkeän ja kannustavan ympäristön kotimaiselle liiketoiminnalle, vauhdittamalla kotimarkkinoiden kehitystä sekä rakentamalla energiapolitiikkaa siten, että päätökset tehdään kattaviin analyyseihin perustuen. Tässä selvityksessä tarkasteltiin eri teknologioiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin, kotimaiseen työllisyyteen sekä vaihtotaseeseen. Myös muita vaikutuksia, kuten teknologioiden EROEI-arvoja[133], voidaan käyttää päätöksenteon tukena.

Seuraavassa esitettäviin taulukoihin on koottu tarkasteltavien teknologioiden käyttöönoton vaikutukset hiilidioksidipäästöihin[134], työllisyyteen ja vaihtotaseeseen sinisessä skenaariossa vuonna 2030. Taulukoita tulkitsemalla voidaan arvioida, mitkä teknologiat vähentävät tehokkaimmin päästöjä, luovat uusia työpaikkoja Suomeen sekä vahvistavat vaihtotasetta. Vihreä väri viittaa positiiviseen vaikutukseen ja oranssi negatiiviseen vaikutukseen. Teknologian kypsyysaste kuvaa teknistä kehitysvaihetta tämän raportin kirjoitushetkellä. Kypsyysaste heijastelee osin tarkastelun epävarmuutta sekä taloudellisten ohjauskeinojen tarvetta etenkin tarkastelujakson alkupuolella. Mahdollista teknologiakohtaista tuen tarvetta voidaan arvioida myös tarkastelemalla investoijien rahavirtoja liitteessä 1.

Energiantuotantoteknologiat

Energiantuotantoteknologioiden yhteenvetotaulukosta nähdään, että keskitetyistä energiantuotantoteknologioista merkittävin päästöjen vähennyspotentiaali on maatuulivoimalla (2B) ja suurilla biomassakattiloilla (5C). Tuotettua energiayksikköä kohden päästövähennys on suurin vesivoimalla (1) ja keskikokoisilla biomassakattiloilla (5B). Hajautetuista energian-

[133] EROEI (*Energy Returned on Energy Invested*) on mittari, joka kuvaa teknologian tai polttoaineen avulla hyödyksi saatavan ja tämän mahdollistamiseen kuluvan energiamäärän suhdetta. Mitä suurempi EROEI-arvo on, sitä tehokkaampi energiantuotantomuoto tai energialähde on kyseessä.
[134] Hiilidioksidipäästöjen osalta on huomattava, että osa esitetyistä päästövaikutuksista syntyy päästökauppasektorilla (energiantuotanto) ja osa sen ulkopuolella (esim. liikenteeseen liittyvät teknologiat).

Copyright © Sitra, Gaia

tuotantoteknologioista suurimman päästövähennyspotentiaalin luovat pienet biomassakattilat (5A) sekä keskikokoinen aurinkosähkö (3B). Muut teknologiat ovat hyvin lähellä toisiaan.

Suurin työllistävyys syntyisi maatuulivoimasta (2B) sekä pienistä ja suurista biomassakattiloista (5A ja 5C). Tuotettua energiaa kohden suurin työllistävä vaikutus olisi hajautetuilla, paljon asennustyövoimaa tarvitsevilla pientuulivoimalla (2A) sekä asennus- ja polttoaineketjua työllistävällä pienikokoisilla biomassakattiloilla. Sama ilmiö näkyy myös keskitettyjen teknologioiden osalta, jossa muihin keskitettyihin teknologioihin verrattuna suhteellisen pienet keskikokoiset biomassakattilat (5B) työllistävät eniten tuotettua energiayksikköä kohden. Kaukolämpöjärjestelmään liitettävät teollisen kokoluokan lämpöpumput (8) ja geoterminen lämpö (9) johtaisivat puolestaan työllisyyden vähenemiseen eritoten kaukolämmön kotimaisten polttoaineiden tuotantoketjusta.

Vaihtotaseen osalta keskitetyt teknologiaratkaisut antavat keskimäärin hieman suuremman vaikutuksen kuin hajautetut teknologiat. Keskitetyistä teknologioista suuret biomassakattilat (5C) ovat omaa luokkaansa vaihtotasevaikutuksen koon suhteen. Sen sijaan tuotettua energiaa kohden tehokkaimman positiivisen vaihtotasevaikutuksen antavat keskikokoiset biomassakattilat (5B). Merituulivoiman (2C) vaihtotasevaikutus olisi negatiivinen investointien alhaisen kotimaisuusasteen vuoksi. Hajautetuista ratkaisuista merkittävimmän vaihtotasevaikutuksen tuottavat pienet biomassakattilat (5A). Niiden lisäksi myös pienellä ja keskikokoisella aurinkolämmöllä (4A) ja pientuulivoimalla (2A) on suuri vaihtotasevaikutus tuotettua energiamäärää kohden johtuen näiden teknologioiden korkeasta kotimaisuusasteesta. Pienikokoinen aurinkosähkö (3A) heikentää hieman vaihtotasetta alhaisen kotimaisuusasteen vuoksi.

Copyright © Sitra, Gaia

Energiantuotantoteknologiat	Päästövähenemä		Työllisyyden muutos		Vaihtotaseen muutos		Teknologian kypsyysaste
	tCO2/v	tCO2/GWh tuotettu	htv/v	htv/GWh tuotettu	M€/v	1000€/GWh tuotettu	*
Keskitetyt							
1. Vesivoima suuri	309 440	400	242	0,3	2	2	K
2B. Maatuulivoima suuri	2 453 000	223	1 662	0,2	13	1	K
2C. Merituulivoima suuri	223 000	223	257	0,3	-6	-6	E
3C. Aurinkosähkö suuri	379 100	223	161	0,1	15	9	K
4B. Aurinkolämpö suuri	2 478	165	1	0,1	1	37	K
5B. Biomassakattilat keskikokoinen	97 391	309	137	0,4	18	56	K
5C. Biomassakattilat suuri	1 965 091	187	1 227	0,1	295	28	K
7B. Biokaasumoottorit suuri	42 938	190	48	0,2	5	22	K
8. Teolliset lämpöpumput suuri	183 417	96	-133	-0,1	48	25	K
9. Geoterminen lämpö suuri	60 025	143	-34	-0,1	2	4	T
Hajautetut							
2A. Tuulivoima pieni	2 348	223	9	0,9	0	40	K
3A. Aurinkosähkö pieni	244 854	223	357	0,3	-1	-1	K
3B. Aurinkosähkö keskikokoinen	488 593	223	560	0,3	15	7	K
4A. Aurinkolämpö pieni ja keskikokoinen	62 074	240	108	0,4	13	51	K
5A. Biomassakattilat pieni	594 505	301	1 493	0,8	132	67	K
6A. Biokaasupolttokennot pieni	3 141	262	5	0,4	0	27	T
6B. Biokaasupolttokennot keskikokoinen	6 386	266	10	0,4	1	24	T
7A. Biokaasumoottorit keskikokoinen	69 412	280	96	0,4	7	27	K

** K = Kaupallinen, E = Esikaupallinen, T = T&K-vaihe*

Taulukossa vihreä väri viittaa positiiviseen vaikutukseen ja oranssi negatiiviseen vaikutukseen. Tummempi väri kuvaa suurempaa vaikutusta. Taulukon väriskaala kuvaa eroja vaikutuksissa teknologiaryhmän sisällä, joten eri teknologiaryhmien taulukoiden väriskaalat eivät ole vertailukelpoisia. Kutakin teknologiaa on tarkasteltu omana kokonaisuutenaan, eikä ole otettu kantaa teknologioiden keskinäisiin riippuvuuksiin tai ristiinvaikutuksiin, jolloin vaikutuksia ei voida pitää summautuvina. Teknologian kypsyysaste kuvaa teknistä kehitysvaihetta tämän raportin kirjoitushetkellä.

Copyright © Sitra, Gaia

Energiantuotannon polttoaineet

Energiantuotannon polttoaineiden osalta kivihiiltä korvaava biohiili tuottaa sekä suurimman päästövähennyspotentiaalin että vähentää päästöjä tehokkaimmin tuotettua energiamäärää kohden. Biometaani puolestaan työllistää kaikkein eniten. Biometaani myös mahdollistaa suurimman vaihtotasevaikutuksen, koska sillä korvataan huomattava määrä maahantuotua maakaasua. Energiamäärään suhteutettuna pyrolyysiöljy kuitenkin on biometaaniakin parempi, koska sillä on laskennassa oletettu korvattavan kaikkein kalleimpia energiantuotannossa käytettyjä tuontipolttoaineita: kevyttä ja raskasta polttoöljyä.

Energiantuotannon polttoaineet	Päästövähenemä		Työllisyyden muutos		Vaihtotaseen muutos		Teknologian kypsyysaste
	tCO2/v	tCO2/GWh tuotettu	htv/v	htv/GWh tuotettu	M€/v	1000€/GWh tuotettu	*
1. Biohiili	2 888 456	336	1 951	0,2	68	8	T
2. Pyrolyysiöljy	788 400	263	883	0,3	156	52	E
3. Biometaani	990 720	180	3 266	0,6	205	37	K

** K = Kaupallinen, E = Esikaupallinen, T = T&K-vaihe*

Taulukossa vihreä väri viittaa positiiviseen vaikutukseen ja oranssi negatiiviseen vaikutukseen. Tummempi väri kuvaa suurempaa vaikutusta. Taulukon väriskaala kuvaa eroja vaikutuksissa teknologiaryhmän sisällä, joten eri teknologiaryhmien taulukoiden väriskaalat eivät ole vertailukelpoisia. Kutakin teknologiaa on tarkasteltu omana kokonaisuutenaan, eikä ole otettu kantaa teknologioiden keskinäisiin riippuvuuksiin tai ristiinvaikutuksiin, jolloin vaikutuksia ei voida pitää summautuvina. Teknologian kypsyysaste kuvaa teknistä kehitysvaihetta tämän raportin kirjoitushetkellä.

Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

Kaikki tarkasteltavat energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat vähentävät päästöjä, mutta erot etenkin absoluuttisissa vähennyspotentiaaleissa ovat suuret – esimerkiksi lämpöpumpuilla voidaan arvioida olevan merkittävästi suurempi päästövähennyspotentiaali kuin kulutusjoustoteknologioilla. Tämä ei kuitenkaan suoraan tarkoita, että kulutusjoustoteknologioihin ei tulisi panostaa tai että näiden käyttöönotto ei yleistyisi, sillä kulutusjouston voidaan olettaa lisääntyvän tulevaisuudessa ennen kaikkea energiajärjestelmän tehokkuutta ja stabiiliutta parantavien ominaisuuksien vuoksi. Työllistävyys suhteessa säästettyyn energiamäärään on merkittävin suurissa lämmön talteenottojärjestelmissä, kun taas absoluuttisesti korkeimpiin työllistävyyslukuihin päästään maalämmöllä ja energiatehokkaalla korjausrakentamisella. Vaihtotaseen kannalta

Copyright © Sitra, Gaia

ilma-ilmalämpöpumppujen ja lämmön talteenottoteknologioiden lisääntyminen aiheuttavat alijäämää. Tämä johtuu pääosin teknologiatuonnista ja siitä, että näillä teknologioilla ei juurikaan korvata suoraan fossiilisia erillislämmöntuotannon tuontipolttoaineita.

Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat	Päästövähenemä		Työllisyyden muutos		Vaihtotaseen muutos		Teknologian kypsyysaste
	tCO2/v	tCO2/GWh säästetty	htv/v	htv/GWh säästetty	M€/v	1000€/GWh säästetty	*
1. Maalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)	1 196 000	284	1 105	0,3	88	21	K
2. Ilma-ilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)	212 000	192	360	0,3	-21	-19	K
3. Ilma-vesilämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)	248 000	282	240	0,3	21	24	K
4. Poistoilmalämpöpumput (olemassa olevat rakennukset)	130 000	243	125	0,2	13	24	K
5. LED-lamput kotitaloudet (olemassa olevat rakennukset)	173 000	223	120	0,2	27	35	K
6. LED-lamput toimisto- ja palvelurakennukset (olemassa olevat rakennukset)	71 000	223	145	0,5	30	94	K
7. LED-lamput katu- ja tievalaistus (olemassa olevat valaisimet)	102 000	223	165	0,4	9	20	K
8. Lämmön talteenotto pientalot (uudisrakennukset)	46 000	107	150	0,3	-18	-43	K
9. Lämmön talteenotto kerrostalot (uudisrakennukset)	33 000	161	520	2,5	-38	-183	K
10. Lämmön talteenotto muut rakennukset (uudisrakennukset)	17 000	165	225	2,2	-27	-258	K
11. Energiatehokas korjausrakentaminen (eristys ja ikkunat)	200 000	187	920	0,9	46	43	K
12. Sähkön kulutusjousto kotitaloudet	15 000	*Eivät säästä energiaa*	30	*Eivät säästä energiaa*	1	*Eivät säästä energiaa*	E
13. Sähkön kulutusjousto PK-sektori	9 000		20		0		E
14. Sähkön kulutusjousto teollisuus	13 000		1		0		K

** K = Kaupallinen, E = Esikaupallinen, T = T&K-vaihe*

Taulukossa vihreä väri viittaa positiiviseen vaikutukseen ja oranssi negatiiviseen vaikutukseen. Tummempi väri kuvaa suurempaa vaikutusta. Taulukon väriskaala kuvaa eroja vaikutuksissa teknologiaryhmän sisällä, joten eri teknologiaryhmien taulukoiden väriskaalat eivät ole vertailukelpoisia. Kutakin teknologiaa on tarkasteltu omana kokonaisuutenaan, eikä ole otettu kantaa teknologioiden keskinäisiin riippuvuuksiin tai ristiinvaikutuksiin, jolloin vaikutuksia ei voida pitää summautuvina. Teknologian kypsyysaste kuvaa teknistä kehitysvaihetta tämän raportin kirjoitushetkellä.

Energian varastointiteknologiat

Kaikki tarkasteltavat energian varastointiteknologiat vähentävät päästöjä – huolimatta varastoinnin häviöistä. Absoluuttisesti suurin päästövähennyspotentiaali voidaan laskelmien mukaan saavuttaa pumppuvoimalaitoksilla, mutta myös rakennuksiin integroidut faasimuutosmateriaalit voivat vähentää päästöjä merkittävästi. Suhteelliseen päästövähennyspotentiaaliin vaikuttaa ennen kaikkea varastoinnin käyttötarkoitus ja logiikka; esimerkiksi power to gas -laitoksia käytetään silloin, kun tarjolla on ”ylijäämäsähköä”, joka on tavallisesti päästötöntä tai lähes päästö-

Copyright © Sitra, Gaia

töntä, ja lisäksi tuotetun synteettisen metaanin voidaan olettaa korvaavan fossiilista maakaasua kaasuverkossa. Kaukolämpöjärjestelmän vesivarastoilla sen sijaan korvataan huippulaitoksien fossiilisia polttoaineita, mutta varastoitava lämpö tuotetaan kuitenkin myös osittain fossiilisilla polttoaineilla yhteistuotannossa. Työllistävyys suhteessa purettuun energiamäärään on faasimuutosvarastoja lukuun ottamatta kaikilla varastointiteknologioilla samaa suuruusluokkaa. Poikkeus johtuu ennen kaikkea siitä, että lämmöntuotannon polttoaineketjussa syntyvä työllisyyden väheneminen on laskennallisesti suurempaa kuin faasimuutosmateriaalien arvoketjussa syntyvä työllisyyden lisääntyminen. Absoluuttisesti merkittävin työllistävyyspotentiaali on pumppuvoimaloilla. Vaihtotaseen kannalta vesivarastot erottuvat tarkastelluista teknologioista positiivisesti suuren kotimaisuusasteen ansiosta. Myös faasimuutosvarastot synnyttävät vähäistä vaihtotaseen ylijäämää. Muut tarkastelun teknologiat heikentävät vaihtotasetta johtuen pääosin lisääntyvästä teknologiatuonnista.

Energian varastointiteknologiat	Päästövähenemä		Työllisyyden muutos		Vaihtotaseen muutos		Teknologian kypsyysaste
	tCO2/v	tCO2/GWh purettu	htv/v	htv/GWh purettu	M€/v	1000€/GWh purettu	*
1. Pumppuvoimalat (sähkön varastointi)	64 000	121	47	0,1	-4	-8	K
2. Akut pientalokokouluokka (sähkön varastointi)	*Ei huomioitu*		24	0,3	-5	-59	E
3. Akut suuri kokoluokka (sähkön varastointi)	1 400	161	1	0,2	-1	-59	E
4. Power to gas (sähkön varastointi polttoaineena)	2 300	191	3	0,2	0	-19	T
5. Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä (lämmön varastointi)	3 600	58	13	0,2	2	24	K
6. Faasimuutosvarastot rakennuksissa (lämmön varastointi)	16 000	181	-3	0,0	0	1	E

** K = Kaupallinen, E = Esikaupallinen, T = T&K-vaihe*

Taulukossa vihreä väri viittaa positiiviseen vaikutukseen ja oranssi negatiiviseen vaikutukseen. Tummempi väri kuvaa suurempaa vaikutusta. Taulukon väriskaala kuvaa eroja vaikutuksissa teknologiaryhmän sisällä, joten eri teknologiaryhmien taulukoiden väriskaalat eivät ole vertailukelpoisia. Kutakin teknologiaa on tarkasteltu omana kokonaisuutenaan, eikä ole otettu kantaa teknologioiden keskinäisiin riippuvuuksiin tai ristiinvaikutuksiin, jolloin vaikutuksia ei voida pitää summautuvina. Teknologian kypsyysaste kuvaa teknistä kehitysvaihetta tämän raportin kirjoitushetkellä.

Liikenteen polttoaineet

Liikenteen polttoainetuotannossa suurin päästövähennyspotentiaali on biodieselin ja biokaasun tuotannolla, koska näillä polttoaineilla voidaan korvata merkittävä määrä fossiilisia polttoaineita. Suomessa tuotetun bioetanolin on oletettu korvaavan etanolituontia, joten sillä ei täten ole merkittävää päästövaikutusta. Bioetanolin päästövaikutus alla olevassa taulukossa syntyy kotimaisen bioetanolituotannon siirtymisestä käyt-

Copyright © Sitra, Gaia

tämään uusiutuvaa energiaa. Bioetanolituotannolla on sen sijaan suurimmat työllisyysvaikutukset erityisesti raaka-aineketjun työllistävyyden vuoksi. Liikennebiokaasun tuotanto nousee tässä tarkastelussa työllisyysvaikutuksiltaan toiseksi. Vaihtotaseen muutos noudattelee tuotantovolyymejä, koska kaikilla tarkastelluilla kotimaassa tuotetuilla polttoaineilla korvataan tuontipolttoaineita.

Liikenteen polttoaineiden tuotantoteknologiat	Päästövähenemä		Työllisyyden muutos		Vaihtotaseen muutos		Teknologian kypsyysaste
	tCO2/v	tCO2/GWh tuotettu	htv/v	htv/GWh tuotettu	M€/v	1000€/GWh tuotettu	*
1. Bioetanolin tuotantoteknologiat	7 072	6	237	0,2	153	135	K
2. Biodieselin tuotantoteknologiat	902 952	241	31	0,0	279	75	K
3. Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat	437 643	269	111	0,1	66	40	K
4. Vedyn tuotantoteknologiat (vesielektrolyysi)	2 541	64	8	0,2	3	71	E

** K = Kaupallinen, E = Esikaupallinen, T = T&K-vaihe*

Taulukossa vihreä väri viittaa positiiviseen vaikutukseen ja oranssi negatiiviseen vaikutukseen. Tummempi väri kuvaa suurempaa vaikutusta. Taulukon väriskaala kuvaa eroja vaikutuksissa teknologiaryhmän sisällä, joten eri teknologiaryhmien taulukoiden väriskaalat eivät ole vertailukelpoisia. Kutakin teknologiaa on tarkasteltu omana kokonaisuutenaan, eikä ole otettu kantaa teknologioiden keskinäisiin riippuvuuksiin tai ristiinvaikutuksiin, jolloin vaikutuksia ei voida pitää summautuvina. Teknologian kypsyysaste kuvaa teknistä kehitysvaihetta tämän raportin kirjoitushetkellä.

Liikenteen energiasäästöteknologiat

Liikenteen energiansäästöteknologioiden osalta polttoainekulutusta vähentävillä teknologioilla on suurin vaikutus sekä liikenteen energiankulutuksen että päästöjen vähenemiseen. Sähköautojen latausteknologian valmistus ja asennus sekä polttoainekulutusta vähentävien teknologioiden asennus työllistävät eniten. Kaikilla tarkastelluilla teknologioilla on positiivinen vaikutus vaihtotaseeseen, koska ne vähentävät polttoainetuontia. Lisäksi liikenteen ohjausjärjestelmissä (Mobility as a Service, MaaS) on merkittävää vientipotentiaalia palveluviennin osalta ja mahdollisuus myös vähentää autotuontia. On kuitenkin syytä huomioida, että MaaS-palvelun vaikutusten arviointi on muita liikenteen teknologioita epävarmempaa, koska siinä palvelukonseptia ollaan vasta määrittelemässä ja siksi lähtötiedot ovat osin hyvin karkeita arvioita.

Copyright © Sitra, Gaia

Liikenteen energiansäästöteknologiat	Päästövähenemä		Työllisyyden muutos		Vaihtotaseen muutos		Teknologian kypsyysaste
	tCO2/v	tCO2/GWh säästetty	htv/v	htv/GWh säästetty	M€/v	1000€/GWh säästetty	*
5. Vetyautojen tankkausteknologia	42 800	697	707	11,5	75	1 224	E
6. Sähköautojen latausteknologia	491 296	288	1 858	1,1	217	127	E
7. Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat (dual-fuel, RCCI)	583 105	269	1 666	0,8	29	13	E
8. Liikenteen ohjausjärjestelmät (MaaS)	391 256	-	-	-	925	-	T

** K = Kaupallinen, E = Esikaupallinen, T = T&K-vaihe*

Taulukossa vihreä väri viittaa positiiviseen vaikutukseen ja oranssi negatiiviseen vaikutukseen. Tummempi väri kuvaa suurempaa vaikutusta. Taulukon väriskaala kuvaa eroja vaikutuksissa teknologiaryhmän sisällä, joten eri teknologiaryhmien taulukoiden väriskaalat eivät ole vertailukelpoisia. Kutakin teknologiaa on tarkasteltu omana kokonaisuutenaan, eikä ole otettu kantaa teknologioiden keskinäisiin riippuvuuksiin tai ristiinvaikutuksiin, jolloin vaikutuksia ei voida pitää summautuvina. Teknologian kypsyysaste kuvaa teknistä kehitysvaihetta tämän raportin kirjoitushetkellä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että cleantech-teknologiat edistävät poikkeuksetta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä. Lisäksi lähes kaikki teknologiat edistävät työllisyyttä ja parantavat vaihtotasetta. Työtä syntyy etenkin bioenergian hankintaketjuissa sekä investointien ja asennustöiden yhteydessä. Vaihtotaseen kannalta merkittävimmät vaikutukset saadaan, kun korvataan ulkomaisia tuontipolttoaineita, teknologian kotimaisuusaste on korkea ja teknologiaan liittyy myös mahdollisuus vientiin. Alla olevaan taulukkoon on koottu merkittävimmät vaikutukset.

PÄÄSTÖ-VÄHENNYS-POTENTIAALI	• Biopolttoaineiden valmistus ja energiantuotanto biopolttoaineilla kokonaisuudessaan • Sähkön tuotannossa tuulivoima välittömästi; aurinkosähkön merkitys kasvaa tulevaisuudessa • Rakennuksissa maalämpö ja muut lämpöpumput • Liikenteessä sähköautot ja polttoaineen kulutusta vähentävät ratkaisut
POSITIIVISET TYÖLLISYYS-VAIKUTUKSET	• Biopolttoaineiden ja bioenergian tuotannon jalostusketjut • Tuulivoiman huolto ja kunnossapito, kun asennettu kapasiteetti kasvaa • Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen lämpöpumpuilla ja korjausrakentamisella • Sähköautojen latausteknologiassa mahdollisuuksia etenkin viennin ansiosta
VAIHTOTASEEN PARANTUMINEN	• Fossiilisia tuontipolttoaineita korvaavat biopolttoaineet ja bioenergiaratkaisut kokonaisuudessaan • Maalämpöpumput ja energiatehokas korjausrakentaminen rakennusten lämmityksessä • Liikenteen sähköistyminen lisää energiaomavaraisuutta; pidemmällä tähtäimellä uusilla liikennejärjestelmäratkaisuilla voidaan kasvattaa palveluvientiä ja vähentää autotuontia

Copyright © Sitra, Gaia

RAPORTISSA KÄYTETYT LÄHTEET

Alla on esitetty raportissa käytetyt kirjallisuuslähteet. Laskennassa käytettyjä lähteitä on ilmoitettu lähtötietotaulukossa liitteessä 2.

Adato Energia Oy (2013) Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011.

Advanced Energy Economy (2015) Advanced Energy now 2015 Market Report.

BCC Research (2014) Phase Change Materials: Technologies and Global Markets.

BP's Energy Outlook 2030

Curran, S.J.; Gao, Z.; Wagner, R.M. (2014), Reactivity-controlled compression ignition drive cycle emissions and fuel economy estimations using vehicle system simulations. International Journal of Engine Research doi: 10.1177/1468087414562258.

ESTIF (2013) Solar Thermal Markets in Europe.

Gaia Consulting Oy (2014) Energiainvestointien alue- ja kansantaloudellinen kannattavuus, 2. uudistettu painos, Sitran selvityksiä 73

Gaia Consulting Oy (2014) Lämpöpumppuinvestointien alue- ja kansantaloudellinen tarkastelu.

Gaia Consulting Oy (2015) Sähköisen liikenteen dynaamiset vaikutukset. Teknologiateollisuus ry:n tilaama selvitys.

Green Investment Bank (2013), Anaerobic Digestion Market Report 2013.

Huttunen, M.; Kuittinen, V. (2014) Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17, Publications of the University of Eastern Finland Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences No 19.

IEA (2012), World Energy Outlook 2012.

IEA (2013), World Energy Outlook 2013.

Industry Experts (2014) Heat Pumps (Heating, Cooling and Hot Water) - a Global Market Overview.

IRENA (2014) REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap, June 2014. IRENA, Abu Dhabi.

Lappalainen, I. (2007), toim., Puupolttoaineiden pienkäyttö, Tekes.

Markets and Markets (2014), Fuel Cell Technology Market by Type, by Application and Geography - Global Trends and Forecasts Till 2019.

Pöyry (2012) Bio Coal Market Perspectives in Europe.

Pöyry (2013) Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa, TEM raportteja 28/2013.

Sippola, V. (2010) Eco-design -direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien lamppujen korvaaminen ulkovalaistuksessa.

VTT (2012) Low Carbon Finland 2050.

VTT (2013) Vetytiekartta - vetyenergian mahdollisuudet Suomessa. Tutkimusraportti VTT-R-02257-13.

Copyright © Sitra, Gaia

LIITE 1: TEKNOLOGIAKOHTAISTEN RAHAVIRTOJEN JAKAUTUMINEN

Tässä liitteessä on esitetty rahavirtojen muutoksien jakautuminen eri toimijoiden kesken teknologiakohtaisissa skenaarioissa. Taulukoissa esitetyt rahavirrat on esitetty vuotuisina eli investoinnit on annualisoitu tarkastelujaksolle (=teknologian teknistaloudellinen käyttöikä). Rahavirrat vuosille 2020 ja 2030 kuvaavat muutosta vuosina 2020 ja 2030 verrattuna nykytilanteeseen (2015). Tämä tarkoittaa, että mikäli esimerkiksi investoijan rahavirtojen muutos nykytilanteeseen verrattuna on negatiivinen (etumerkki -), ei investointi ole kyseisenä vuotena kannattava. Mikäli taas esitetty rahavirran muutos on positiivinen (etumerkki +), on investointi taloudellisesti perusteltu tehdyillä laskentaoletuksilla.

On huomattava, että mikäli teknologia ei ole investoijalle kannattava sinisessä skenaariossa, voi se vähentää investoijan rahavirtoja tätäkin enemmän keltaisessa skenaariossa. Tämä tarkoittaa, että teknologiaan ei tehdyillä laskentaoletuksilla kannata investoida taloudellisin perustein. Vaikutus korostuu etenkin mikäli skenaariot eroavat toisistaan ainoastaan lukumäärien suhteen (keltaisessa skenaariossa lukumäärät ovat poikkeuksetta suuremmat kuin sinisessä skenaariossa). Näin ollen teknologian käyttöönotolla mahdollisesti saavutettavia hyötyjä ei synny, mikäli teknologian (kustannus)kehitys ei ole oletettua nopeammin laskeva tai teknologian käyttöönottoa/käyttöä ei tueta taloudellisilla ohjauskeinoilla.

Alla on kuvattu lyhyesti taulukoissa esitetyt toimijat ja tarkastellut vaikutukset sekä mitä niiden osalta on laskennassa otettu huomioon.

Investoija: Investoijan menot liittyvät energiakustannuksiin, investointeihin sekä teknologian käyttö- ja kunnossapitokustannuksiin. Näihin liittyen menoina on otettu huomioon myös valmiste- ja arvonlisäverot sekä investointiin liittyvät pääomakustannukset (korkokulut). Yhteisöjen osalta menoja ovat lisäksi yhteisö- ja pääomatulovero. Mahdollisia tuloja ovat energian tai palveluiden myynnistä saatavat tulot, teknologiaviennistä saatavat tulot sekä tuet. Investoija voi olla kuluttaja, yksityinen yritys tai julkinen toimija.

Kuluttaja: Kuluttajan rahavirrat ovat vastaavat kuin investoijalle on yllä kuvattu. Kuluttaja ei kuitenkaan välttämättä tee investointeja – tällöin investointiin liittyviä kustannuksia ei ole otettu huomioon (esimerkiksi tarkasteltaessa nestemäisten liikennepolttoaineiden tuotantoa ja käyttöä, on kuluttajien osalta otettu huomioon ainoastaan rahavirrat, jotka liittyvät vaihtoehtoisen polttoaineen käyttöön henkilöautokannassa).

Palkansaajat: Palkansaajien kassavirroissa otetaan huomioon palkka- ja eläketulojen muutokset, jotka syntyvät teknologiatoimittajien, käytön ja kunnossapidon sekä kotimaisten polttoaineiden ja öljyn toimitusketjun sekä polttoainevalmistuksen raaka-aineketjun toiminnoissa. Myös teknologiaviennin määrällä on vaikutusta palkansaajien kassavirtoihin. Palkansaajat maksavat palkkatuloista kunnallisveroa ja tuloveroa.

Arvoketjun yritykset: Arvoketjun yrityksien osalta otetaan huomioon rahavirtojen muutokset teknologiatoimittajien, käyttö- ja kunnossapitoyritysten, energiayhtiöiden, polttoaineiden toimitusketjun sekä polttoainevalmistuksen raaka-aineketjun toiminnoissa. Yritykset maksavat nettotuloksesta yhteisöveroa

Copyright © Sitra, Gaia

ja pääomatuloveroa (pääomatuloveroa maksetaan nettotuloksen ja yhteisöveron erotuksesta). Myös teknologiavientiin liittyvät tulot ja menot otetaan huomioon.

Kilpailevien arvoketjujen yritykset: Kilpailevat yritykset riippuvat tarkasteltavasta teknologiasta. Näitä voivat olla esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden jakeluketjun yritykset, kaukolämmön tuottajat tai sähkön vähittäismyyjät. Yritysten osalta tarkastellaan cleantech-teknologioiden käyttöönotosta aiheutuvia muutoksia toimijoiden rahavirroissa.

Kunnat: Otetaan huomioon muutokset kuntien verotuloissa (kunnallisvero, kiinteistövero sekä kuntien osuus yhteisöveroista).

Valtio: Otetaan huomioon muutokset valtion verotuloissa (tulovero, valmisteverot, arvonlisävero, sähkövero, pääomatulovero sekä valtion osuus yhteisöveroista) sekä valtion maksamissa tuissa.

Muut kotimaiset tahot: Sisältää rahoituslaitoksien sekä mahdollisten muiden toimijoiden, joiden arvoketjua ei ole mallinnettu tarkasti, muuttuvat rahavirrat.

Vaihtotase: Vaihtotaseessa otetaan huomioon muutokset tuonnissa ja viennissä (ks. Tuonti ja Vienti alla). Päästöoikeuksien tarpeen lisääntyminen heikentää vaihtotasetta, kun taas vähenevä päästöoikeuksien tarve parantaa vaihtotasetta. Positiivinen vaihtotaseen muutos tarkoittaa vaihtotaseen paranemista – ja toisin päin.

Tuonti: Lisääntyvä tuonti heikentää vaihtotasetta (lisää vaihtotaseen alijäämää) ja toisin päin. Tarkastelussa on otettu huomioon teknologian, polttoaineiden ja sähkön tuonti sekä käytön ja kunnossapidon ja päästöoikeusmaksujen osalta ulkomaille menevät rahavirrat. Positiivinen tuonnin muutos tarkoittaa vaihtotaseen heikkenemistä – ja toisin päin.

Vienti: Lisääntyvä vienti parantaa vaihtotasetta (lisää vaihtotaseen ylijäämää) ja toisin päin. Tarkastelussa on otettu huomioon teknologian, polttoaineiden ja sähkön vienti. Positiivinen viennin muutos tarkoittaa vaihtotaseen paranemista – ja toisin päin.

Työllistävyys Suomessa: Laskettu palkansaajien palkka- ja eläketuloista siten, että tulojen muutos on jaettu Suomen keskimääräisellä kokonaisansiolla (€/htv).

Päästövaikutukset: Päästövaikutuksissa on otettu huomioon teknologian käyttöönoton aiheuttamat muutokset sähkön, lämmön, teollisuushöyryn ja polttoaineiden kulutuksissa.

Energian/polttoaineiden tuotanto ja energiankulutus: Kuvaa teknologian lisääntyvän käyttöönoton aiheuttamaa muutosta. Tuotanto kuvaa tarkastellulla teknologialla tuotettua energia- tai polttoainemäärää (ei ota huomioon vaihtoehtoisten energiamuotojen muutoksia). Energiankulutus kuvaa muutosta, jonka teknologian lisääntyvä käyttöönotto aiheuttaa (esim. energiatehokkuustoimet vähentävät kulutusta, mutta energian varastointi tavallisesti lisää kulutusta johtuen varastoinnin häviöistä).

Copyright © Sitra, Gaia

Energiantuotanto

Päästöoikeusmaksut sisältyvät sekä energiantuottajan kassavirtoihin että vaihtotaseeseen.

1. Vesivoima, suuri

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	-10	-6	-13	27	-3	-26
Palkansaajat verojen jälkeen	5	9	6	14	2	8
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	9	16	11	26	3	14
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-12	-32	-16	-96	-4	-12
Kunnat	1	4	2	10	0,3	2
Valtio	-1	-2	-1	13	-0,2	-0,4
Muut kotimaiset tahot	8	14	9	22	3	12
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-1**	**2**	**-1**	**16**	**-0,2**	**-3**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	1	-2	1	-16	0,2	3
Teknologian vienti	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
Vaihtotase yhteensä	**-1**	**2**	**-1**	**16**	**-0,2**	**-3**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	134	242	167	388	45	216
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	118 400	309 440	151 600	940 800	39 467	118 400
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	296 000	773 600	379 000	2 352 000	98 667	296 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	296 000	773 600	379 000	2 352 000	98 667	296 000

Copyright © Sitra, Gaia

2. Pientuulivoima

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (kotitalous)	-1,0	-1,0	-1,4	-1,3	-0,7	-0,7
Palkansaajat verojen jälkeen	0,3	0,3	0,6	0,7	0,1	0,2
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	1,2	1,4	2,4	2,8	0,6	0,7
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-0,6	-0,8	-1,5	-1,9	-0,2	-0,3
Kunnat	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Valtio	-0,1	-0,1	-0,4	-0,6	0,0	0,0
Muut kotimaiset tahot	0,4	0,5	0,9	1,0	0,2	0,3
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0,4**	**0,4**	**0,7**	**0,9**	**0,2**	**0,2**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	0,4	0,5	0,8	0,9	0,2	0,2
Teknologian vienti	0,8	0,9	1,5	1,8	0,4	0,4
Vaihtotase yhteensä	**0,4**	**0,4**	**0,7**	**0,9**	**0,2**	**0,2**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	*MUUTOS* 2020	*MUUTOS* 2030	*MUUTOS* 2020	*MUUTOS* 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	8	9	17	18	4	4
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	1 806	2 348	4 014	5 218	736	957
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	8 100	10 530	18 000	23 400	3 300	4 290
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	8 100	10 530	18 000	23 400	3 300	4 290

Copyright © Sitra, Gaia

3. Maatuulivoima, suuri

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	150	282	245	759	92	158
Palkansaajat verojen jälkeen	32	60	46	148	20	34
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	87	163	116	378	53	91
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-149	-279	-225	-710	-91	-156
Kunnat	27	50	42	133	16	28
Valtio	-181	-339	-261	-832	-110	-190
Muut kotimaiset tahot	40	76	52	172	25	42
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**7**	**13**	**17**	**49**	**4**	**8**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	34	65	37	128	21	36
Teknologian vienti	42	78	54	177	25	44
Vaihtotase yhteensä	**7**	**13**	**17**	**49**	**4**	**8**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	887	1 662	1 278	4 080	542	932
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	1 309 010	2 453 000	1 979 125	6 244 000	799 455	1 374 795
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	5 870 000	11 000 000	8 875 000	28 000 000	3 585 000	6 165 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	5 870 000	11 000 000	8 875 000	28 000 000	3 585 000	6 165 000

Copyright © Sitra, Gaia

4. Merituulivoima, suuri

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	0,2	5,4	2,1	29	0,0	0,8
Palkansaajat verojen jälkeen	1,3	9,3	2,3	16,3	0,0	4,9
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	4,7	33	7,9	49	0,0	18
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-3,3	-25	-6,6	-51	0,0	-13
Kunnat	0,4	3,2	0,9	7,9	0,0	1,5
Valtio	-6,2	-45	-11	-77	0,0	-24
Muut kotimaiset tahot	1,9	13	3,2	20	0,0	7,3
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-1,0**	**-6,5**	**-1,4**	**-6,4**	**0,0**	**-3,9**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	3,7	25	5,8	34	0,0	14
Teknologian vienti	2,6	18	4,4	27	0,0	10
Vaihtotase yhteensä	**1,0**	**6,5**	**1,4**	**6,4**	**0,0**	**3,9**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	35	257	64	448	0	136
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	28 990	223 000	57 980	446 000	0	111 500
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	130 000	1 000 000	260 000	2 000 000	0	500 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	130 000	1 000 000	260 000	2 000 000	0	500 000

Copyright © Sitra, Gaia

5. Aurinkosähkö, pieni

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (kotitalous)	-3	12	34	217	-1	2
Palkansaajat verojen jälkeen	5	13	10	32	1	6
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	13	28	21	51	2	10
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-21	-59	-55	-226	-5	-29
Kunnat	1	3	2	6	0	1
Valtio	-4	-14	-23	-102	-1	-7
Muut kotimaiset tahot	8	17	17	42	2	10
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-1**	**-1**	**6**	**20**	**-2**	**-8**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	10	20	9	16	3	15
Teknologian vienti	10	20	15	35	1	7
Vaihtotase yhteensä	**-1**	**-1**	**6**	**20**	**-2**	**-8**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	149	357	262	878	29	152
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	88 754	244 854	177 954	735 454	21 854	122 204
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	398 000	1 098 000	798 000	3 298 000	98 000	548 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	398 000	1 098 000	798 000	3 298 000	98 000	548 000

Copyright © Sitra, Gaia

6. Aurinkosähkö, keskikokoinen

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	4	127	10	449	0,8	58
Palkansaajat verojen jälkeen	1	20	2	48	0,1	8
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	3	50	4	87	0,1	15
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-6	-149	-13	-448	-1,1	-74
Kunnat	0	3	0	7	0,0	1
Valtio	-3	-62	-5	-166	-0,5	-33
Muut kotimaiset tahot	2	27	3	72	0,2	15
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**1**	**15**	**2**	**48**	**-0,4**	**-9**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	1	20	1	12	0,4	20
Teknologian vienti	2	35	3	60	0,1	11
Vaihtotase yhteensä	**1**	**15**	**2**	**48**	**-0,4**	**-9**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	28	560	47	1 317	2	222
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	20 293	488 593	42 593	1 469 793	3 568	243 293
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	91 000	2 191 000	191 000	6 591 000	16 000	1 091 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	91 000	2 191 000	191 000	6 591 000	16 000	1 091 000

Copyright © Sitra, Gaia

7. Aurinkosähkö, suuri

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	-0,1	5,5	0,0	31	0,0	1,4
Palkansaajat verojen jälkeen	0,0	5,9	0,1	12	0,0	0,8
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0,3	39	0,4	78	0,0	5,4
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-0,3	-43	-0,5	-129	0,0	-11
Kunnat	0,0	1,5	0,0	4,6	0,0	0,2
Valtio	-0,1	-9,3	-0,1	-6,3	0,0	-2,5
Muut kotimaiset tahot	0,1	16	0,3	51	0,0	4,1
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0,1**	**15**	**0,2**	**41**	**0,0**	**-1,4**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	0,1	7,6	0,1	1,8	0,0	4,2
Teknologian vienti	0,2	23	0,2	43	0,0	2,9
Vaihtotase yhteensä	**0,1**	**15**	**0,2**	**41**	**0,0**	**-1,4**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	1	161	2	328	0	23
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	2 230	379 100	4 460	1 137 300	223	94 775
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	10 000	1 700 000	20 000	5 100 000	1 000	425 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	10 000	1 700 000	20 000	5 100 000	1 000	425 000

Copyright © Sitra, Gaia

8. Aurinkolämpö, pieni ja keskikokoinen

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (kotitalous & yritys)	3	8	8	16	2	3
Palkansaajat verojen jälkeen	2	4	4	8	1	2
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	7	17	16	33	3	7
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-6	-14	-14	-29	-3	-6
Kunnat	0,3	0,8	0,8	2	0,2	0,3
Valtio	-3	-7	-7	-14	-1	-3
Muut kotimaiset tahot	2	5	5	10	1	2
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**5**	**13**	**13**	**26**	**3**	**5**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-0,4	-1,0	-0,9	-2,0	-0,2	-0,4
Teknologian vienti	5	12	12	24	2	5
Vaihtotase yhteensä	**5**	**13**	**13**	**26**	**3**	**5**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	42	108	102	215	20	43
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	24 114	62 074	58 922	124 148	11 784	24 830
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	100 419	258 494	245 369	516 989	49 074	103 398
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	100 419	258 494	245 369	516 989	49 074	103 398

Copyright © Sitra, Gaia

9. Aurinkolämpö, suuri

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	0,1	0,3	0,4	8,8	0,0	0,1
Palkansaajat verojen jälkeen	0,0	0,0	0,1	1,2	0,0	0,0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0,2	0,6	0,9	19	0,1	0,3
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-0,1	-0,3	-0,5	-10	-0,1	-0,2
Kunnat	0,0	0,0	0,1	1,1	0,0	0,0
Valtio	-0,1	-0,2	-0,3	-6,0	0,0	-0,1
Muut kotimaiset tahot	0,1	0,2	0,3	5,2	0,0	0,1
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0,2**	**0,6**	**0,9**	**19**	**0,1**	**0,3**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-0,1	-0,2	-0,3	-5,8	0,0	-0,1
Teknologian vienti	0,1	0,4	0,6	13	0,1	0,2
Vaihtotase yhteensä	**0,2**	**0,6**	**0,9**	**19**	**0,1**	**0,3**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	0	1	2	32	0	0
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	826	2 478	4 130	82 609	413	1 239
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	5 000	15 000	25 000	500 000	2 500	7 500
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	5 000	15 000	25 000	500 000	2 500	7 500

Copyright © Sitra, Gaia

10. Biomassakattilat, pieni

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (kotitalous)	-12	-34	-23	-67	-5	-13
Palkansaajat verojen jälkeen	19	54	37	108	7	22
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	67	195	134	389	27	78
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-30	-87	-60	-174	-12	-35
Kunnat	4	12	8	23	2	5
Valtio	-12	-33	-23	-67	-5	-13
Muut kotimaiset tahot	9	25	17	50	3	10
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**45**	**132**	**91**	**263**	**18**	**53**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-22	-63	-43	-125	-9	-25
Teknologian vienti	24	69	48	138	10	28
Vaihtotase yhteensä	**45**	**132**	**91**	**263**	**18**	**53**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	514	1 493	1 029	2 986	206	597
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	204 831	594 505	409 662	1 189 011	81 932	237 802
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	681 500	1 978 000	1 363 000	3 956 000	272 600	791 200
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	681 500	1 978 000	1 363 000	3 956 000	272 600	791 200

Copyright © Sitra, Gaia

11. Biomassakattilat keskikokoinen (lämpölaitokset)

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	2	6	4	19	0,5	2
Palkansaajat verojen jälkeen	2	5	3	16	0,4	2
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	6	18	12	56	1,6	6
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-4	-12	-8	-39	-1,1	-4
Kunnat	0,6	2	1,1	5	0,2	0,6
Valtio	-0,5	-2	-1,1	-5	-0,1	-0,6
Muut kotimaiset tahot	0,4	1,2	0,8	4	0,1	0,4
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**6**	**18**	**12**	**56**	**1,6**	**6**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-5	-14	-9	-44	-1,2	-5
Teknologian vienti	1,3	4	3	12	0,3	1,4
Vaihtotase yhteensä	**6**	**18**	**12**	**56**	**1,6**	**6**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	46	137	91	433	12	49
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	32 464	97 391	64 927	309 176	8 657	34 628
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	105 000	315 000	210 000	1 000 000	28 000	112 000
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	105 000	315 000	210 000	1 000 000	28 000	112 000

Copyright © Sitra, Gaia

12. Biomassakattilat, suuri (CHP)

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	44	131	87	283	0,0	44
Palkansaajat verojen jälkeen	15	45	30	85	0,0	13
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	42	127	84	246	0,0	38
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	9	27	18	-33	0,0	-5
Kunnat	6	19	12	38	0,0	6
Valtio	-24	-73	-49	-158	0,0	-24
Muut kotimaiset tahot	7	21	14	45	0,0	7
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**98**	**295**	**197**	**506**	**0,0**	**78**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-92	-275	-183	-462	0,0	-71
Teknologian vienti	7	20	13	44	0,0	7
Vaihtotase yhteensä	**98**	**295**	**197**	**506**	**0,0**	**78**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	409	1 227	818	2 351	0	362
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	655 030	1 965 091	1 310 061	4 257 698	0	655 030
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	1 300 000	3 900 000	2 600 000	8 450 000	0	1 300 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	2 210 000	6 630 000	4 420 000	14 365 000	0	2 210 000
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	3 510 000	10 530 000	7 020 000	22 815 000	0	3 510 000

Copyright © Sitra, Gaia

13. Biokaasupolttokennot, pieni

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (kotitalous)	0,0	0,6	0,1	1,2	0,0	0,1
Palkansaajat verojen jälkeen	0,0	0,2	0,1	0,4	0,0	0,1
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0,1	0,5	0,2	0,9	0,0	0,1
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-0,1	-0,6	-0,2	-1,2	0,0	-0,2
Kunnat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valtio	0,0	-0,4	-0,1	-0,8	0,0	-0,1
Muut kotimaiset tahot	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0,0**	**0,3**	**0,1**	**0,6**	**0,0**	**0,1**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	0,0	-0,3	0,0	-0,5	0,0	-0,1
Teknologian vienti	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**0,0**	**0,3**	**0,1**	**0,6**	**0,0**	**0,1**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	1	5	1	10	0	1
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	393	3 141	785	6 283	98	785
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	750	6 000	1 500	12 000	187	1 500
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	750	6 000	1 500	12 000	187	1 500
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	1 500	12 000	3 000	24 000	375	3 000

Copyright © Sitra, Gaia

14. Biokaasupolttokennot, keskikoko

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	0,4	2,4	0,8	4,7	0,1	0,6
Palkansaajat verojen jälkeen	0,1	0,4	0,2	0,9	0,0	0,1
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0,2	0,9	0,5	1,8	0,1	0,2
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-0,4	-1,8	-0,7	-3,6	-0,1	-0,5
Kunnat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valtio	-0,3	-1,4	-0,5	-2,8	-0,1	-0,3
Muut kotimaiset tahot	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0,1**	**0,6**	**0,2**	**1,2**	**0,0**	**0,1**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-0,1	-0,5	-0,1	-0,9	0,0	-0,1
Teknologian vienti	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**0,1**	**0,6**	**0,2**	**1,2**	**0,0**	**0,1**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	2	10	4	20	1	3
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	1 277	6 386	2 554	12 772	319	1 597
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	2 400	12 000	4 800	24 000	600	3 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	2 400	12 000	4 800	24 000	600	3 000
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	4 800	24 000	9 600	48 000	1 200	6 000

Copyright © Sitra, Gaia

15. Biokaasumoottorit, keskikoko

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	6	19	12	274	2	5
Palkansaajat verojen jälkeen	1	4	3	59	0,3	1
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	3	8	5	116	1	2
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-5	-15	-10	-220	-1	-4
Kunnat	0,1	0,3	0,2	5	0,0	0,1
Valtio	-3	-10	-6	-140	-1	-2
Muut kotimaiset tahot	0,1	0,4	0,3	6	0,0	0,1
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**2**	**7**	**5**	**100**	**1**	**2**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-2	-7	-4	-96	-1	-2
Teknologian vienti	0,1	0,3	0,2	3,9	0,0	0,1
Vaihtotase yhteensä	**2**	**7**	**5**	**100**	**1**	**2**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	32	96	64	1 406	8	24
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	23 137	69 412	46 274	1 018 037	5 784	17 353
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	27 500	82 500	55 000	1 210 000	6 875	20 625
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	55 000	165 000	110 000	2 420 000	13 750	41 250
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	82 500	247 500	165 000	3 630 000	20 625	61 875

Copyright © Sitra, Gaia

16. Biokaasumoottorit, suuri

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	2,7	5,3	5,3	11	0,5	1,6
Palkansaajat verojen jälkeen	0,9	1,7	1,7	3,5	0,2	0,5
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	2,2	4,4	4,4	8,8	0,4	1,3
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	0,2	0,4	0,4	0,9	0,0	0,1
Kunnat	0,4	0,8	0,8	1,7	0,1	0,3
Valtio	-4,0	-8,0	-8,0	-16	-0,8	-2,4
Muut kotimaiset tahot	0,1	0,3	0,3	0,5	0,0	0,1
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**2,5**	**5,0**	**5,0**	**10**	**0,5**	**1,5**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-2,4	-4,9	-4,9	-9,7	-0,5	-1,5
Teknologian vienti	0,1	0,2	0,2	0,4	0,0	0,1
Vaihtotase yhteensä	**2,5**	**5,0**	**5,0**	**10**	**0,5**	**1,5**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	24	48	48	96	5	14
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	21 469	42 938	42 938	85 876	4 294	12 881
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	48 750	97 500	97 500	195 000	9 750	29 250
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	64 145	128 289	128 289	256 579	12 829	38 487
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	112 895	225 789	225 789	451 579	22 579	67 737

Copyright © Sitra, Gaia

17. Teolliset lämpöpumput

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	4	25	16	85	1	6
Palkansaajat verojen jälkeen	-1	-5	-3	-16	0	-1
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	9	56	35	188	2	14
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-6	-33	-21	-111	-1	-8
Kunnat	0,2	1	1	4	0,0	0,3
Valtio	-0,5	-3	-2	-9	-0,1	-0,7
Muut kotimaiset tahot	1	6	4	19	0,2	1,4
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**8**	**48**	**30**	**159**	**2**	**12**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-6	-34	-22	-115	-1	-9
Teknologian vienti	2	13	8	44	1	3
Vaihtotase yhteensä	**8**	**48**	**30**	**159**	**2**	**12**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	-22	-133	-83	-445	-6	-33
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	30 570	183 417	114 636	611 391	7 642	45 854
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	320 000	1 920 000	1 200 000	6 400 000	80 000	480 000
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	320 000	1 920 000	1 200 000	6 400 000	80 000	480 000

Copyright © Sitra, Gaia

18. Geoterminen lämpö

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	2,4	7,1	4,7	24	0,0	2,4
Palkansaajat verojen jälkeen	-0,4	-1,2	-0,8	-4,1	0,0	-0,4
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	1,3	3,8	2,5	13	0,0	1,3
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-2,4	-7,2	-4,8	-24	0,0	-2,4
Kunnat	0,1	0,3	0,2	1,0	0,0	0,1
Valtio	-1,2	-3,5	-2,3	-12	0,0	-1,2
Muut kotimaiset tahot	0,8	2,3	1,5	7,7	0,0	0,8
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0,5**	**1,6**	**1,0**	**5,2**	**0,0**	**0,5**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-0,3	-1,0	-0,7	-3,4	0,0	-0,3
Teknologian vienti	0,2	0,6	0,4	1,8	0,0	0,2
Vaihtotase yhteensä	**0,5**	**1,6**	**1,0**	**5,2**	**0,0**	**0,5**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	-11	-34	-23	-114	0	-11
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	20 008	60 025	40 017	200 084	0	20 008
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	0	0	0	0	0	0
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	140 000	420 000	280 000	1 400 000	0	140 000
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	140 000	420 000	280 000	1 400 000	0	140 000

Copyright © Sitra, Gaia

19. Ydinvoima

Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	-46	-46
Palkansaajat verojen jälkeen	21	21
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	71	71
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-249	-249
Kunnat	5	5
Valtio	-21	-21
Muut kotimaiset tahot	120	120
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-99**	**-99**

Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	99	99
Teknologian vienti	0	0
Vaihtotase yhteensä	**-99**	**-99**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	590	590
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	2 191 644	2 191 644
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	9 828 000	9 828 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	0	0
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	9 828 000	9 828 000

Copyright © Sitra, Gaia

20. Maakaasukombilaitos

	Sininen skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	-56	-56
Palkansaajat verojen jälkeen	-31	-31
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	70	70
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-57	-57
Kunnat	-11	-11
Valtio	-42	-42
Muut kotimaiset tahot	16	16
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-112**	**-112**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	121	121
Teknologian vienti	9	9
Vaihtotase yhteensä	**-112**	**-112**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	-854	-854
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	-214 927	-214 927
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	6 784 000	6 784 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	4 262 513	4 262 513
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	11 046 513	11 046 513

Copyright © Sitra, Gaia

21. Hiilivoimalaitos

	Sininen skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	143	143
Palkansaajat verojen jälkeen	-35	-35
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	39	39
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-119	-119
Kunnat	3	3
Valtio	90	90
Muut kotimaiset tahot	16	16
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**138**	**138**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-129	-129
Teknologian vienti	9	9
Vaihtotase yhteensä	**138**	**138**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	-964	-964
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	-2 697 145	-2 697 145
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	4 000 000	4 000 000
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	7 500 000	7 500 000
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	11 500 000	11 500 000

Copyright © Sitra, Gaia

22. Soodakattila

	Sininen skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	47	47
Palkansaajat verojen jälkeen	-5	-5
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	12	12
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-17	-17
Kunnat	3	3
Valtio	14	14
Muut kotimaiset tahot	2	2
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**56**	**56**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-53	-53
Teknologian vienti	3	3
Vaihtotase yhteensä	**56**	**56**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	-151	-151
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	403 577	403 577
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	987 055	987 055
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	1 110 436	1 110 436
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	2 097 491	2 097 491

Copyright © Sitra, Gaia

23. POK-lämpölaitos

	Sininen skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	-7,6	-7,6
Palkansaajat verojen jälkeen	-0,1	-0,1
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	6,3	6,3
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-2,1	-2,1
Kunnat	-0,1	-0,1
Valtio	0,0	0,0
Muut kotimaiset tahot	0,1	0,1
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-3,5**	**-3,5**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	3,6	3,6
Teknologian vienti	0,1	0,1
Vaihtotase yhteensä	**-3,5**	**-3,5**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	-2	-2
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	-20 410	-20 410
Sähköenergian tuotanto (MWh/v)	0	0
Lämpöenergian tuotanto (MWh/v)	125 000	125 000
Energiantuotanto yhteensä (MWh/v)	125 000	125 000

Copyright © Sitra, Gaia

Energiantuotannon polttoaineet

Päästöoikeusmaksut sisältyvät sekä investoijan polttoaineen käyttäjiltä saamiin kassavirtoihin että vaihtotaseeseen.

1. Biohiili

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	-5	-141	-29	-394	-5	-91
Palkansaajat verojen jälkeen	2	58	13	174	2	34
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	6	187	41	555	6	110
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kunnat	0,3	11	2	31	0,3	6
Valtio	-2	-57	-9	-123	-2	-42
Muut kotimaiset tahot	0,3	10	2	30	0,3	6
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**2**	**68**	**20**	**273**	**1,3**	**23**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-2	-51	-12	-167	-1,3	-23
Teknologian ja polttoaineiden vienti	0,6	18	8	106	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**2**	**68**	**20**	**273**	**1,3**	**23**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa	64	1 951	424	5 797	65	1 149
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	95 166	2 888 456	634 440	8 665 368	95 166	1 681 266
Polttoaineen tuotanto (MWh/v)	283 333	8 599 667	1 888 889	25 799 000	283 333	5 005 556

Copyright © Sitra, Gaia

2. Pyrolyysiöljy

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	8	15	14	32	-7	-13
Palkansaajat verojen jälkeen	15	27	22	53	2	5
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	110	200	151	357	43	87
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-55	-99	-67	-159	-10	-19
Kunnat	3	6	5	13	-0,3	-0,7
Valtio	-0,1	-0,2	3	7	-6	-12
Muut kotimaiset tahot	5	9	3	7	1,0	2
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**86**	**156**	**131**	**310**	**24**	**49**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-86	-156	-112	-264	-24	-49
Teknologian ja polttoaineiden vienti	0,0	0,0	20	46	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**86**	**156**	**131**	**310**	**24**	**49**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa	487	883	748	1 767	81	161
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	434 934	788 400	667 512	1 576 800	76 212	152 424
Polttoaineen tuotanto (MWh/v)	1 655 000	3 000 000	2 540 000	6 000 000	290 000	580 000

Copyright © Sitra, Gaia

3. Biometaani

	Sininen skenaario		Keltainen skenaario		Harmaa skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Investoija (yritys)	-34	-122	-65	-212	-12	-56
Palkansaajat verojen jälkeen	25	89	48	155	9	41
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	55	198	106	344	20	91
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-0,3	-1,0	-0,5	-2	-0,1	-0,5
Kunnat	4	15	8	27	2	7
Valtio	-7	-24	-13	-42	-2	-11
Muut kotimaiset tahot	9	31	17	54	3	14
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**52**	**186**	**100**	**324**	**19**	**86**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030	MUUTOS (MEUR/v) 2020	MUUTOS (MEUR/v) 2030
Teknologian ja energian tuonti	-52	-186	-100	-324	-19	-86
Teknologian ja polttoaineiden vienti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**52**	**186**	**100**	**324**	**19**	**86**

Muut vaikutukset	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030	MUUTOS 2020	MUUTOS 2030
Työllistävyys Suomessa	831	2 969	1 590	5 166	297	1 366
Päästövähennys yhteensä (tCO2/v)	277 402	990 720	530 666	1 723 853	99 072	455 731
Polttoaineen tuotanto (MWh/v)	1 400 000	5 000 000	2 678 182	8 700 000	500 000	2 300 000

Copyright © Sitra, Gaia

Energiatehokkuus- ja kulutusteknologiat

1. Maalämpöpumput

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija	21	53	26	64	11	27
Palkansaajat verojen jälkeen	14	40	16	48	7	20
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	6	19	8	22	3	9
Kunnat	3	8	3	10	1	4
Valtio	-43	-123	-52	-148	-22	-62
Muut kotimaiset tahot	31	91	37	109	16	45
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**32**	**88**	**39**	**106**	**16**	**44**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	-32	-88	-39	-106	-16	-44
Teknologiavienti	0	0	0	0	0	0
Vaihtotase yhteensä	**32**	**88**	**39**	**106**	**16**	**44**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	378	1 107	453	1 329	189	554
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-419 670	-1 196 056	-503 604	-1 435 267	-209 835	-598 028
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-1 478	-4 208	-1 774	-5 049	-739	-2 104

Copyright © Sitra, Gaia

2. Ilma-ilmalämpöpumput

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (kuluttaja)	20	34	24	41	10	17
Palkansaajat verojen jälkeen	8	13	10	16	4	7
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-28	-46	-34	-55	-14	-23
Kunnat	2	2	2	3	1	1
Valtio	-21	-35	-25	-42	-11	-17
Muut kotimaiset tahot	6	10	7	12	3	5
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-14**	**-21**	**-16**	**-25**	**-7**	**-10**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	14	21	16	25	7	10
Teknologiavienti	0	0	0	0	0	0
Vaihtotase yhteensä	**-14**	**-21**	**-16**	**-25**	**-7**	**-10**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	226	362	272	435	113	181
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-128 083	-211 647	-153 700	-253 977	-64 041	-105 824
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-680	-1 100	-816	-1 320	-340	-550

Copyright © Sitra, Gaia

3. Ilma-vesilämpöpumput

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija	0,4	0,5	0,5	0,6	0,2	0,2
Palkansaajat verojen jälkeen	2	9	2	10	1	4
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	3	14	4	17	2	7
Kunnat	0,4	1,8	0,5	2,2	0,2	0,9
Valtio	-3	-15	-4	-18	-2	-8
Muut kotimaiset tahot	2	11	3	14	1	6
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**5**	**21**	**6**	**26**	**2**	**11**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	-5	-21	-6	-26	-2	-11
Teknologiavienti	0	0	0	0	0	0
Vaihtotase yhteensä	**5**	**21**	**6**	**26**	**2**	**11**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	52	239	63	287	26	119
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-55 282	-247 953	-66 339	-297 543	-27 641	-123 976
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-196	-880	-235	-1 056	-98	-440

Copyright © Sitra, Gaia

4. Poistoilmalämpöpumput

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija	1,5	7,5	2,3	12,0	0,6	3,0
Palkansaajat verojen jälkeen	1,4	4,6	2,3	7,4	0,6	1,9
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	1,5	4,9	2,5	7,9	0,6	2,0
Kunnat	0,3	0,9	0,4	1,4	0,1	0,3
Valtio	-3,2	-11,3	-5,1	-18,1	-1,3	-4,5
Muut kotimaiset tahot	1,9	6,2	3,0	9,9	0,7	2,5
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**3,4**	**12,8**	**5,5**	**20,5**	**1,4**	**5,1**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	-3,4	-12,8	-5,5	-20,5	-1,4	-5,1
Teknologiavienti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**3,4**	**12,8**	**5,5**	**20,5**	**1,4**	**5,1**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	39	127	63	204	16	51
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-35 979	-130 251	-57 566	-208 402	-14 392	-52 100
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-146	-536	-234	-857	-59	-214

Copyright © Sitra, Gaia

5. Kotitalouksien LED-lamput

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (kuluttaja)	56	139	56	142	56	135
Palkansaajat verojen jälkeen	2	4	3	7	0	0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-28	-66	-27	-63	-28	-67
Kunnat	0	1	0	1	0	-1
Valtio	-19	-45	-19	-45	-19	-46
Muut kotimaiset tahot	-2	-6	-2	-6	-2	-5
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**9**	**27**	**12**	**36**	**7**	**17**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	1	0	4	6	-7	-17
Teknologiavienti	10	27	16	43	0	0
Vaihtotase yhteensä	**9**	**27**	**12**	**36**	**7**	**17**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	48	122	77	195	-4	-13
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-74 264	-172 664	-74 264	-172 664	-74 264	-172 664
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-333	-774	-333	-774	-333	-774

Arvoketjun yrityksien rahavirrat vähenevät, sillä tässä on mukana myös perinteisten lamppujen arvoketjun toimijat ja sähköyhtiöt. Mikäli arvoketjua pilkotaan pienempiin osiin, nähdään että LED-arvoketjun rahavirrat lisääntyvät, kun taas perinteisiä lamppuja toimittavien tahojen sekä sähköyhtiöiden rahavirrat vähenevät.

Copyright © Sitra, Gaia

6. Toimisto- ja palvelurakennusten LED-lamput

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	50	67	55	74	37	50
Palkansaajat verojen jälkeen	1	5	2	9	-1	-1
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-21	-28	-22	-27	-19	-25
Kunnat	0	1	0	2	0	0
Valtio	-6	-7	-6	-7	-6	-9
Muut kotimaiset tahot	-6	-8	-7	-10	-3	-4
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**18**	**30**	**23**	**41**	**8**	**10**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	-8	-3	-7	1	-8	-10
Teknologiavienti	10	27	16	43	0	0
Vaihtotase yhteensä	**18**	**30**	**23**	**41**	**8**	**10**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	33	147	61	242	-22	-33
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-53 444	-71 264	-53 444	-71 264	-53 444	-71 264
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-240	-320	-240	-320	-240	-320

Arvoketjun yrityksien rahavirrat vähenevät, sillä tässä on mukana myös perinteisten lamppujen arvoketjun toimijat ja sähköyhtiöt. Mikäli arvoketjua pilkotaan pienempiin osiin, nähdään että LED-arvoketjun rahavirrat lisääntyvät, kun taas perinteisiä lamppuja toimittavien tahojen sekä sähköyhtiöiden rahavirrat vähenevät.

Copyright © Sitra, Gaia

7. LED-lamput katu- ja tievalaistuksessa

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (julkinen liikelaitos)	31	42	34	46	26	36
Palkansaajat verojen jälkeen	3	6	4	9	1	2
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-23	-31	-23	-30	-23	-30
Kunnat	0	1	1	2	0	0
Valtio	-9	-11	-9	-11	-9	-12
Muut kotimaiset tahot	1	1	0	0	3	3
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**4**	**9**	**7**	**16**	**-1**	**-1**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	1	3	2	4	1	1
Teknologiavienti	5	12	8	20	0	0
Vaihtotase yhteensä	**4**	**9**	**7**	**16**	**-1**	**-1**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	79	166	110	247	36	43
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-77 915	-101 884	-77 915	-101 884	-77 915	-101 884
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-349	-457	-349	-457	-349	-457

Arvoketjun yrityksien rahavirrat vähenevät, sillä tässä on mukana myös perinteisten lamppujen arvoketjun toimijat ja sähköyhtiöt. Mikäli arvoketjua pilkotaan pienempiin osiin, nähdään että LED-arvoketjun rahavirrat lisääntyvät, kun taas perinteisiä lamppuja toimittavien tahojen sekä sähköyhtiöiden rahavirrat vähenevät.

Copyright © Sitra, Gaia

8. Lämmön talteenotto pientaloissa

	Sininen skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (kuluttaja)	-28	-83
Palkansaajat verojen jälkeen	2	5
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	12	35
Kunnat	0	1
Valtio	4	10
Muut kotimaiset tahot	4	13
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-6**	**-18**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	6	18
Teknologiavienti	0	0
Vaihtotase yhteensä	**-6**	**-18**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	49	149
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-10 850	-45 789
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-102	-429

Copyright © Sitra, Gaia

9. Lämmön talteenotto asuinkerrostaloissa

	Sininen skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija	-56	-181
Palkansaajat verojen jälkeen	6	19
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	20	62
Kunnat	1	4
Valtio	10	30
Muut kotimaiset tahot	9	29
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-10**	**-38**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	10	38
Teknologiavienti	0	0
Vaihtotase yhteensä	**-10**	**-38**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	172	518
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-8 664	-32 922
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-54	-205

Copyright © Sitra, Gaia

10. Lämmön talteenotto muissa rakennuksissa

	Sininen skenaario	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritykset)	-27	-84
Palkansaajat verojen jälkeen	3	8
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	11	30
Kunnat	1	2
Valtio	0	0
Muut kotimaiset tahot	5	17
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-7**	**-27**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	7	27
Teknologiavienti	0	0
Vaihtotase yhteensä	**-7**	**-27**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	82	223
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-5 024	-16 970
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-30	-103

Copyright © Sitra, Gaia

11. Energiatehokas korjausrakentaminen

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija	-4	-13	28	84	-16	-47
Palkansaajat verojen jälkeen	8	33	27	127	5	16
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-5	-10	-25	-46	-2	-6
Kunnat	2	7	5	26	1	3
Valtio	-7	-18	-29	-82	-3	-8
Muut kotimaiset tahot	15	46	39	116	15	46
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**9**	**46**	**45**	**225**	**1**	**3**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	-2	-4	-10	-17	-1	-3
Teknologiavienti	7	42	35	208	0	0
Vaihtotase yhteensä	**9**	**46**	**45**	**225**	**1**	**3**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	221	918	742	3 501	143	429
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-66 610	-199 831	-249 789	-749 367	-41 631	-124 894
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-356	-1 068	-1 334	-4 003	-222	-667

Copyright © Sitra, Gaia

12. Sähkön kulutusjousto kotitalouksissa

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (kuluttaja)	-0,5	-0,2	-0,3	0,5	-0,5	-0,4
Palkansaajat verojen jälkeen	0,4	1,0	0,8	2,2	0,2	0,5
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-0,4	-0,9	-0,7	-1,4	-0,2	-0,6
Kunnat	0,1	0,2	0,2	0,4	0,0	0,1
Valtio	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,0
Muut kotimaiset tahot	0,3	0,4	0,4	0,5	0,2	0,3
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-0,1**	**0,5**	**0,4**	**2,1**	**-0,2**	**-0,1**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	0,7	1,4	1,2	2,7	0,4	0,8
Teknologiavienti	0,6	1,9	1,6	4,8	0,2	0,7
Vaihtotase yhteensä	**-0,1**	**0,5**	**0,4**	**2,1**	**-0,2**	**-0,1**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	12	28	23	60	7	14
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-7 278	-14 556	-11 697	-23 393	-4 679	-9 357
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	0	0	0	0	0	0

Copyright © Sitra, Gaia

13. Sähkön kulutusjousto PK-sektorilla

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (PK-yritykset)	-0,4	-0,8	-0,4	-0,6	-0,2	-0,5
Palkansaajat verojen jälkeen	0,2	0,8	0,5	1,7	0,1	0,3
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-0,1	-0,4	-0,3	-0,7	0,0	-0,2
Kunnat	0,0	0,2	0,1	0,4	0,0	0,1
Valtio	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Muut kotimaiset tahot	0,1	0,3	0,2	0,4	0,1	0,2
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-0,1**	**0,1**	**0,1**	**1,2**	**-0,1**	**-0,2**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	0,4	1,1	0,8	2,3	0,2	0,5
Teknologiavienti	0,3	1,2	0,9	3,5	0,1	0,4
Vaihtotase yhteensä	**-0,1**	**0,1**	**0,1**	**1,2**	**-0,1**	**-0,2**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	7	21	15	47	3	9
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-3 639	-9 097	-7 018	-16 375	-1 560	-4 679
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	0	0	0	0	0	0

Copyright © Sitra, Gaia

14. Sähkön kulutusjousto teollisuudessa

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (teollisuus)	1,1	1,5	1,7	2,5	0,7	0,9
Palkansaajat verojen jälkeen	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-1,0	-1,4	-1,6	-2,4	-0,7	-0,9
Kunnat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valtio	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1
Muut kotimaiset tahot	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**0,0**	**0,0**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Teknologiavienti	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**0,0**	**0,0**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	0	1	1	2	0	1
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-9 097	-12 736	-14 036	-21 054	-6 238	-7 798
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	0	0	0	0	0	0

Copyright © Sitra, Gaia

Energian varastointi

1. Pumppuvoimalaitokset

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	-0,8	-9,6	-0,8	-15,3	-0,8	-7,0
Palkansaajat verojen jälkeen	0,1	1,7	0,1	4,0	0,1	1,0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	1,1	20,5	1,1	54,2	1,1	11,6
Kunnat	0,0	0,6	0,0	1,5	0,0	0,3
Valtio	0,1	1,8	0,1	4,7	0,1	1,0
Muut kotimaiset tahot	-0,8	-19,2	-0,8	-57,1	-0,8	-9,6
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-0,3**	**-4,2**	**-0,3**	**-8,0**	**-0,3**	**-2,7**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	0,5	9,0	0,5	21,0	0,5	5,2
Teknologiavienti ja sähkön vienti	0,2	4,8	0,2	13,0	0,2	2,5
Vaihtotase yhteensä	**-0,3**	**-4,2**	**-0,3**	**-8,0**	**-0,3**	**-2,7**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	3	47	3	111	3	27
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-2 567	-63 656	-2 567	-173 994	-2 567	-28 233
Energiankulutus yhteensä (sähkö) (GWh/v)	8	131	8	359	8	92

Copyright © Sitra, Gaia

2. Pientalojen sähköakut

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (kuluttaja)	-0,8	-1,9	-1,2	-0,5	-1,0	-1,9
Palkansaajat verojen jälkeen	0,2	0,9	0,3	1,9	0,2	0,5
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-0,8	-4,4	-1,4	-7,7	-0,8	-2,8
Kunnat	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1
Valtio	-0,8	-1,5	-1,2	-3,5	-1,2	-1,9
Muut kotimaiset tahot	0,5	1,6	0,8	2,6	0,6	1,3
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-1,7**	**-5,2**	**-2,6**	**-6,8**	**-2,1**	**-4,7**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	1,7	5,2	2,6	6,8	2,1	4,7
Teknologiavienti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**-1,7**	**-5,2**	**-2,6**	**-6,8**	**-2,1**	**-4,7**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	4	23	9	53	4	13
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	0	0	0	0	0	0
Energiankulutus yhteensä (sähkö) (GWh/v)	1,8	9,8	4	20	2	6

Akkuja käytetään tarkastelussa osana aurinkosähköjärjestelmää varastoimaan omaa tuotantoa. Järjestelmätasolla syntyy suoria päästövähenemiä, mutta näitä ei voida allokoida akuille.

Copyright © Sitra, Gaia

3. Energiayhtiöiden käyttämät suuren kokoluokan sähköakut

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	-0,1	-0,8	-0,1	-2,0	-0,1	-0,4
Palkansaajat verojen jälkeen	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0,0	0,4	0,1	1,5	0,0	0,1
Kunnat	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Valtio	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Muut kotimaiset tahot	0,0	-0,2	0,0	-0,9	0,0	-0,1
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-0,1**	**-0,5**	**-0,1**	**-1,0**	**-0,1**	**-0,3**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	0,1	0,6	0,1	1,3	0,1	0,3
Teknologiavienti ja sähkön vienti	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**-0,1**	**-0,5**	**-0,1**	**-1,0**	**-0,1**	**-0,3**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	0	1	0	6	0	0
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-111	-1 445	-167	-4 889	-56	-500
Energiankulutus yhteensä (sähkö) (GWh/v)	0,1	1,1	0	4	0	0

Copyright © Sitra, Gaia

4. Power to gas

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	-0,2	-1,0	-0,2	-1,5	0,0	-0,2
Palkansaajat verojen jälkeen	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0,1	0,5	0,1	0,8	0,0	0,1
Kunnat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valtio	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Muut kotimaiset tahot	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**-0,1**	**-0,2**	**-0,1**	**-0,2**	**0,0**	**-0,1**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1
Teknologiavienti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**-0,1**	**-0,2**	**-0,1**	**-0,2**	**0,0**	**-0,1**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	1	3	1	4	0	1
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-198	-2 289	-327	-4 637	0	-198
Energiankulutus yhteensä (sähkö-metaani) (GWh/v)	1,0	9,5	1	16	0	1

Copyright © Sitra, Gaia

5. Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	0,4	0,4	2,1	4,5	0,1	0,2
Palkansaajat verojen jälkeen	0,3	0,5	1,0	3,3	0,1	0,2
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0,0	0,3	-0,4	1,3	0,0	0,1
Kunnat	0,1	0,1	0,4	1,1	0,0	0,1
Valtio	0,2	0,1	0,9	1,4	0,0	0,0
Muut kotimaiset tahot	0,1	0,2	0,3	0,9	0,0	0,1
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**1,1**	**1,5**	**4,2**	**12,4**	**0,3**	**0,6**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2 020,0*	MUUTOS (MEUR/v) *2 030,0*	MUUTOS (MEUR/v) *2 020,0*	MUUTOS (MEUR/v) *2 030,0*
Teknologiatuonti, polttoaineet, sähkö ja päästöoikeudet	-1,1	-1,5	-4,2	-12,4	-0,3	-0,6
Teknologiavienti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**1,1**	**1,5**	**4,2**	**12,4**	**0,3**	**0,6**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	7,7	13,1	26,5	90,9	2,0	5,2
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-3 182	-3 634	-12 728	-29 073	-849	-1 454
Energiankulutus yhteensä (lämpö) (GWh/v)	9	16	38	125	3	6

Päästöoikeuksien tarve vähenee vesivarastojen käyttöönoton myötä. Tämä näkyy taulukossa vaihtotaseen parantumisena (merkitty tuontiriville).

Copyright © Sitra, Gaia

6. Faasimuutosmateriaalit rakennuksissa

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija	0,8	7,5	2,3	26,0	0,2	1,3
Palkansaajat verojen jälkeen	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,0	0,0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-0,6	-5,5	-1,6	-18,1	-0,1	-1,0
Kunnat	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
Valtio	-0,3	-2,5	-0,8	-8,3	-0,1	-0,4
Muut kotimaiset tahot	0,1	0,7	0,2	1,8	0,0	0,2
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0,0**	**0,1**	**0,0**	**0,9**	**0,0**	**0,0**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2 020,0*	MUUTOS (MEUR/v) *2 030,0*	MUUTOS (MEUR/v) *2 020,0*	MUUTOS (MEUR/v) *2 030,0*
Teknologiatuonti, polttoaineet ja sähkö	0,0	-0,1	0,0	-0,9	0,0	0,0
Teknologiavienti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vaihtotase yhteensä	**0,0**	**0,1**	**0,0**	**0,9**	**0,0**	**0,0**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	-0,3	-2,5	-0,7	-8,1	-0,1	-0,4
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-1 874	-16 475	-4 942	-54 367	-412	-2 883
Energiankulutus yhteensä (loppuenergia) (GWh/v)	-12	-121	-36	-400	-3	-21

Copyright © Sitra, Gaia

Liikenteeseen liittyvät teknologiat

1. Bioetanolin tuotantoteknologiat

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	66	107	105	167	66	107
Kuluttaja	0	0	0	0	0	0
Palkansaajat verojen jälkeen	6	9	9	13	6	9
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	18	21	28	32	18	21
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-30	-75	-49	-117	-30	-256
Kunnat	9	14	14	22	9	14
Valtio	46	78	76	122	46	78
Muut kotimaiset tahot	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**116**	**153**	**183**	**239**	**116**	**-28**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologia- ja polttoainetuonti	-116	-153	-183	-239	-116	28
Teknologia- ja polttoainevienti	0	0	0	0	0	0
Vaihtotase yhteensä	**116**	**153**	**183**	**239**	**116**	**-28**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	161	237	247	361	161	237
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-7 072	-7 072	-7 072	-7 072	-7 072	-7 072
Polttoainetuotanto yhteensä (GWh/v)	722	1 139	1 139	1 764	722	1 139

Ei vientipotentiaalia.

Copyright © Sitra, Gaia

2. Biodieselin tuotantoteknologiat

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	61	112	109	279	30	0
Kuluttaja	-99	-173	-159	-431	-54	0
Palkansaajat verojen jälkeen	0	1	2	5	0	0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	113	326	187	702	46	21
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-35	-63	-56	-155	-19	0
Kunnat	7	13	13	33	3	0
Valtio	39	63	69	167	19	0
Muut kotimaiset tahot	0	1	1	2	0	0
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**86**	**279**	**166**	**601**	**26**	**21**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologia- ja polttoainetuonti	-31	-178	-76	-353	4	-21
Teknologia- ja polttoainevienti	56	101	90	248	30	0
Vaihtotase yhteensä	**86**	**279**	**166**	**601**	**26**	**21**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	9	31	51	114	7	0
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-496 978	-902 952	-810 510	-2 212 890	-272 000	0
Polttoainetuotanto yhteensä (GWh/v)	2 056	3 744	3 333	9 167	1 111	0

Copyright © Sitra, Gaia

3. Liikennebiokaasun tuotantoteknologiat

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	7	100	25	195	3	49
Kuluttaja	6	106	20	208	3	53
Palkansaajat verojen jälkeen	0	5	1	10	0	3
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	-3	-25	-10	-49	-1	-12
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-2	-35	-7	-69	-1	-17
Kunnat	1	9	2	17	0	4
Valtio	-6	-108	-19	-212	-3	-54
Muut kotimaiset tahot	0	15	0	30	0	8
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**4**	**66**	**12**	**129**	**2**	**33**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologia- ja polttoainetuonti	-4	-66	-12	-129	-2	-33
Teknologia- ja polttoainevienti	0	0	0	0	0	0
Vaihtotase yhteensä	**4**	**66**	**12**	**129**	**2**	**33**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	7	116	24	227	3	57
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-24 368	-437 643	-81 009	-857 212	-10 732	-217 369
Polttoainetuotanto yhteensä (GWh/v)	91	1 627	301	3 187	40	808

Ei vientipotentiaalia.

Copyright © Sitra, Gaia

4. Vedyn tuotanto (vesielektrolyysi)

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	-0,3	0,1	-0,7	-0,4	-0,2	-0,7
Polttoaineen käyttäjä	1	2	1	7	0	1
Palkansaajat verojen jälkeen	0	0	0	1	0	0
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0	4	0	13	0	0
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	0	-1	0	-4	0	0
Kunnat	0	0	0	0	0	0
Valtio	0	-3	-1	-9	0	-1
Muut kotimaiset tahot	0	0	0	1	0	0
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0**	**3**	**0**	**8**	**0**	**0**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologia- ja polttoainetuonti	0	-3	0	-8	0	0
Vienti	0	0	0	0	0	0
Vaihtotase yhteensä	**0**	**3**	**0**	**8**	**0**	**0**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	0	8	0	24	0	0
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	0	-2 541	0	-7 622	0	0
Polttoainetuotanto yhteensä (GWh/v)	0	39	0	118	0	0

Investoijalle teknologia on tarkastelun mukaan kannattamaton muutoin kuin sinisen skenaarion vuoden 2030 osalta. Vetypolttoaineen hinta alenee ennusteiden mukaan nopeammin kuin tämän laskelman lähtötiedoissa on oletettu – tämä vähentäisi entisestään investoijan tuloja. Kustannukset tulevat todennäköisesti myös alenemaan (teknologia on vielä kehitysvaiheessa), joten tämä kompensoi tulojen menetystä ja voi nostaa investoinnin kannattavaksi. Kustannukset on kuitenkin oletettu paremman tiedon puutteessa laskelmissa nykytasolle.

Ei vientipotentiaalia.

Copyright © Sitra, Gaia

5. Vetyautojen tankkausteknologia

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	5	9	5	6	4	9
Polttoaineen käyttäjä	-1	0	-1	6	-1	-1
Palkansaajat verojen jälkeen	10	26	13	32	7	20
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	11	37	20	59	8	24
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-1	-3	-2	-6	-1	-2
Kunnat	3	7	4	7	2	6
Valtio	2	-1	-1	-12	2	3
Muut kotimaiset tahot	0	1	0	1	0	0
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**30**	**75**	**39**	**93**	**22**	**59**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologia- ja polttoainetuonti	36	90	44	105	28	73
Teknologia- ja polttoainevienti	66	165	83	198	50	132
Vaihtotase yhteensä	**30**	**75**	**39**	**93**	**22**	**59**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	278	707	359	869	204	559
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-14 147	-42 800	-28 474	-71 453	-6 984	-28 474
Energiankulutus yhteensä (GWh/v)	-20	-61	-41	-103	-10	-41

Copyright © Sitra, Gaia

6. Sähköautojen latausteknologia

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (julkisen latausinfran rakentaja)	0	1	0	1	0	1
Investoija (kuluttaja)	23	272	34	359	11	184
Palkansaajat verojen jälkeen	6	68	9	89	3	46
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	10	119	15	157	5	80
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-4	-52	-7	-68	-2	-35
Kunnat	1	15	2	20	1	10
Valtio	-16	-195	-25	-258	-8	-132
Muut kotimaiset tahot	-1	-11	-1	-14	0	-7
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**18**	**217**	**28**	**287**	**9**	**147**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologia-, polttoaine- ja sähkötuonti	0	-6	-1	-8	0	-4
Teknologia- ja polttoainevienti	18	210	27	278	9	143
Vaihtotase yhteensä	**18**	**217**	**28**	**287**	**9**	**147**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	157	1 858	238	2 459	76	1 258
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-40 720	-491 296	-62 176	-650 229	-19 264	-332 363
Energiankulutus yhteensä (GWh/v)	-141	-1 704	-216	-2 255	-67	-1 153

Copyright © Sitra, Gaia

7. Polttoainekulutusta vähentävät teknologiat (dual-fuel, RCCI)

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	8	24	15	47	4	12
Investoija (kuluttaja)	-11	117	-22	235	-5	59
Palkansaajat verojen jälkeen	11	61	21	121	5	30
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	0	2	1	4	0	1
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-6	-46	-11	-91	-3	-23
Kunnat	3	15	6	31	2	8
Valtio	-5	-144	-11	-288	-3	-72
Muut kotimaiset tahot	0	0	0	0	0	0
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**0**	**29**	**-1**	**58**	**0**	**15**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Teknologia- ja polttoainetuonti	0	-29	1	-58	0	-15
Vienti	0	0	0	0	0	0
Vaihtotase yhteensä	**0**	**29**	**-1**	**58**	**0**	**15**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Työllistävyys Suomessa (htv/v)	292	1 666	584	3 332	146	833
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-68 030	-583 105	-136 061	-1 166 211	-34 015	-291 553
Energiankulutus yhteensä (GWh/v)	-278	-2 171	-556	-4 341	-139	-1 085

Ei vientipotentiaalia.

Copyright © Sitra, Gaia

8. Liikenteen ohjausjärjestelmät (MaaS)

	Sininen skenaario		*Keltainen skenaario*		*Harmaa skenaario*	
Kassavirrat Suomeen	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Investoija (yritys)	18	71	64	319	1	13
Kuluttaja	-51	-68	-102	-170	-10	-34
Arvoketjun yritykset verojen jälkeen	232	929	833	4 165	17	170
Kilpailevien arvoketjujen yritykset	-7	-82	-14	-205	-1	-41
Kunnat	2	8	7	36	0	1
Valtio	23	67	68	273	3	16
Kassavirrat Suomeen yhteensä	**217**	**925**	**856**	**4 418**	**10**	**125**
Vaihtotase	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*	MUUTOS (MEUR/v) *2020*	MUUTOS (MEUR/v) *2030*
Tuonti	-7	-82	-14	-205	-1	-41
Vienti	211	843	843	4 213	8	84
Vaihtotase yhteensä	**217**	**925**	**856**	**4 418**	**10**	**125**

Muut vaikutukset	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*	MUUTOS *2020*	MUUTOS *2030*
Päästöt yhteensä (tCO2/v)	-32 605	-391 256	-65 209	-978 139	-6 521	-195 628

Laskelma on karkea arvio potentiaalisista suuruusluokista. Palvelukonseptia vasta määritellään, joten lähtötiedot ovat arvioita, joissa on suuri virhemarginaali (palvelu voi toteutua vain osittain tai jäädä toteutumatta, jos konseptin rakennus ei onnistu). Vientipotentiaali näyttäytyy tässä tarkastelussa hyvin suurena, mutta tässäkin on suuri virhemarginaali. Viennin arviointiperusteet on avattu tarkemmin luvussa 5.5.8.

Copyright © Sitra, Gaia

LIITE 2: LASKENTAPARAMETRIT

Laskennan lähtötiedot on esitetty erillisessä Excel-liitteessä.

Linkki: http://www.gaia.fi/_file/download/inline/921faf4c-26a2-4d29-b9d0-0e0ba58874aa/Energiasektorin_cleantech-teknologioiden_vaikutukset_ja_mahdollisuudet_lahtotiedot_FINAL.xlsx

Copyright © Sitra, Gaia

LIITE 3: OHJAUSRYHMÄ

Mari Pantsar (Sitra)

Jaana Pelkonen (Sitra)

Tiina Kähö (Sitra)

Oras Tynkkynen (Sitra)

Bettina Lemström (TEM)

Jukka Leskelä (ET)

Kai Mykkänen (EK)

Karoliina Auvinen (Lähienergialiitto)

Lassi Linnanen (LUT)

Tuuli Mäkelä (EK), varajäsen

Juho Korteniemi (TEM), varajäsen

Juha Stenberg (There Corporation), varajäsen

Jari Ihonen (Lähienergialiitto), varajäsen

Jouko Korppi-Tommola (JYU), varajäsen

Pia Oesch (ET), varajäsen

Copyright © Sitra, Gaia

Gaia Group Oy
Bulevardi 6 A,
FI-00120
HELSINKI, Finland
Tel +358 9686 6620
Fax +358 9686 66210

ADDIS ABEBA | BEIJING |
BUENOS AIRES | CHICAGO |
HELSINKI | TURKU | ZÜRICH

You will find the presentation of our staff, and their contact information, at www.gaia.fi