



Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen

Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraportti

Esa Pursiheimo | Tiina Koljonen | Juha Honkatukia |
Antti Lehtilä | Miimu Airaksinen | Martti Flyktman |
Kai Sipilä | Satu Helynen



Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen

Energia- ja ilmastostrategian päivityksen
taustaraportti

Esa Pursiheimo*, Tiina Koljonen*, Juha Honkatukia**,
Antti Lehtilä*, Miimu Airaksinen*, Martti Flyktman*,
Kai Sipilä* & Satu Helynen*

* VTT, ** Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT)



ISBN 978-951-38-7928-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 86

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (verkkoversio)

Copyright © VTT 2013

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen

Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraaportti

Esa Pursiheimo, Tiina Koljonen, Juha Honkatukia, Antti Lehtilä, Miimu Airaksinen, Martti Flyktman, Kai Sipilä & Satu Helynen. Espoo 2013. VTT Technology 86. 41 s.

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa on arvioitu Suomen energia – ja ilmastostrategian päivityksen puitteissa määritettyjen lisätoimenpiteiden vaikutuksia Suomen energia- ja kansantalouteen. Työ pohjautuu aiempaan VATT:n (Valtion taloudellinen tutkimuskeskus) ja VTT:n selvitykseen ”30 prosentin vähennystavoitteeseen siirtymisen energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset”, jossa mm. laskettiin perusura (l. tässä raportissa nimeltään perusskenaario) Suomen talouden ja energiajärjestelmän kehityksille. Tarkennetun perusskenaarion lisätoimenpiteet sisältävät työ- ja elinkeinoministeriön puhtaan energian ohjelman asettamat tavoitteet, rakentamiseen liittyvät lisätoimet, liikenteeseen liittyvät lisätoimet, puupolttoaineen käyttöön liittyvät tavoitteet ja jätehuollon lisätoimet.

Tarkasteltaessa Suomen energiajärjestelmän kehitystä eli energian tuotantoa ja käyttöä eri sektoreilla voidaan todeta, että erot perus- ja tarkennetun perusskenaarion välillä ovat pienet. Energiantuotantomuodoissa ja käytetyissä polttoaineissa eroja skenaarioiden välillä kuitenkin löytyy johtuen toisaalta biopolttoaineiden käytön lisäyksestä sekä fossiilisten polttoaineiden käytön rajoituksista tarkennetussa perusskenaariossa. Puun käyttö kasvaa tarkennetussa perusskenaariossa perusskenaarioon nähden yli 6 TWh vuonna 2020–2030. Tarkennetussa perusskenaariossa kotimainen biodieselin tuotanto korvaa tuonti-biodieseliä, ja skenaariolaskelmien oletuksilla Suomi voisi olla biojalosteiden nettoviejä.

Johtopäätöksenä sekä energiajärjestelmä- että kansantaloustarkasteluista voidaan todeta, että tarkennetun perusskenaarion kokonaisvaikutukset pitkällä aikavälillä voivat parantaa Suomen työllisyyttä ja energiaomavaraisuutta sekä nostaa kansantuotetta. Edellytyksenä on, että investoinnit voidaan toteuttaa markkinaehtoisesti, lukuun ottamatta ensimmäisiä biojalostamoita ja hiilien korvausta uusiutuvilla energialähteillä, jotka vaativat tukea investointien toteutumiseksi. Lisäksi edellytetään, että puuraaka-ainetta on saatavilla riittävästi kilpailukykyiseen hintaan. Näillä edellytyksillä myös energiansäästöillä on pikemminkin kansantaloutta kasvattava kuin sitä heikentävä vaikutus. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen esitetyillä lisätoimilla on vain vähäinen vaikutus, joten Suomen saattaminen vähähiiliselle polulle vaatii muita toimia tulevaisuudessa. Tarkennetulle perusskenaariolle asetetut tavoitteet näyttäisivät siten toteutuvan laskelmille astetuilla lähtöoletuksilla kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitetta lukuun ottamatta.

Avainsanat

Energy strategy, climate strategy, Finland, additional measures, biofuels, energy efficiency, greenhouse gas emissions, greenhouse gas reduction, coal

Alkusanat

Julkaisussa on esitetty Suomen energia- ja ilmastostrategian päivitykseen liittyvän ns. tarkennetun perusskenaarion vaikutuksia Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Tutkimus tehtiin yhteistyössä VTT:n ja Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen (VATT) kanssa työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannosta. Hanke oli jatkoa tutkimukselle ”30 prosentin vähennystavoitteeseen siirtymisen energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset”, jossa oli muun muassa määritetty energia- ja kansantalouden perusskenaario.

Hankkeen projektipäällikkönä toimi Tiina Koljonen VTT:ltä ja VATT:n työstä vastasi Juha Honkatukia. Tutkimusta ohjasi Pekka Tervo työ- ja elinkeinoministeriöstä, ja ohjausryhmään kuuluivat lisäksi Magnus Cederlöf ympäristöministeriöstä ja Bettina Lemström työ- ja elinkeinoministeriöstä. VTT:ltä tutkimukseen osallistui lisäksi Esa Pursiheimo, Antti Lehtilä, Miimu Airaksinen, Martti Flyktman, Kai Sipilä ja Satu Helynen.

Espoo 20.1.2013

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Alkusanat.....	4
1. Johdanto	6
2. Tarkennetun perusskenaarion määrittely.....	7
2.1 Tarkennetun perusskenaarion lähtökohdat	7
3. Tarkennetun perusskenaarion vaikutus Suomen energiajärjestelmään	10
3.1 VTT:n energiajärjestelmämallin ja lähestymistavan kuvaus	10
3.2 Energiajärjestelmäskenaarioiden lähtötiedot.....	12
3.2.1 Oletukset liittyen biopolttoaineiden tuotantoon	12
3.2.2 Oletukset liittyen puubiomassaresursseihin.....	13
3.2.3 Oletukset liittyen rakennusten energiankulutukseen	14
3.2.4 Muut energiantuotantoon liittyvät oletukset	16
3.3 Energiajärjestelmätulokset perusskenaariossa ja tarkennetussa perusskenaariossa	16
3.3.1 Energian kysynnän kehitys.....	16
3.3.2 Energian tuotannon kehitys.....	20
3.3.3 Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys.....	22
3.3.4 Biopolttoaineiden lisääntyvän tuotannon vaikutukset energiajärjestelmään.....	23
3.3.5 Tarkennetun perusskenaarion suorat lisäkustannukset ja vaikutus energiahintoihin.....	26
4. Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset kansantalouteen	28
5. Johtopäätökset	36
Kirjallisuusviitteet.....	39

1. Johdanto

Suomen energia- ja ilmastostrategian päivityksessä on tarkasteltu Suomen energiatulevaisuutta nykyisten energia- ja ilmastopoliittisten toimenpiteiden näkökulmasta sekä arvioitu, mitä lisätoimia perusskenaarioon nähden Suomen kannattaisi toteuttaa vuoteen 2030 mennessä. Euroopan komissio on määrittänyt Suomelle samoin kuin muille EU-jäsenmaille sitovat tavoitteet vuoteen 2020 mennessä lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä sekä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä EU-laajuisen päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla. Sen sijaan vuosien 2020 ja 2050 väliselle ajalle EU:ssa ei ole vielä määritetty uusia tavoitteita. EU on kuitenkin julkaissut ns. vähähiilitiekartan, jossa on määritetty EU:n kasvihuonekaasujen (khk) päästöille 80 %:n vähennystavoite vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 päästöihin verrattuna.

Tässä tutkimuksessa on arvioitu Suomen energia- ja ilmastostrategian päivityksen puitteissa määritettyjen lisätoimenpiteiden vaikutuksia Suomen energia- ja kansantalouteen. Työ pohjautuu aiempaan VATT:n ja VTT:n selvitykseen ”30 prosentin vähennystavoitteeseen siirtymisen energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset” (Honkatukia et al. 2013), jossa mm. laskettiin perusura (tässä raportissa nimeltään perusskenaario) Suomen talouden ja energijärjestelmän kehityksille. Lisäksi kyseisessä selvityksessä arvioitiin EU:n kasvihuonekaasupäästöjen päästö-vähennystavoitteen mahdollisen kiristämisen vaikutuksia Suomelle.

Energia- ja ilmastostrategian perusskenaariossa on huomioitu EU:n asettamat tavoitteet uusiutuvien energialähteiden osuudesta energiankulutuksessa ja khk-päästöjen vähentämisestä vuodelle 2020, mutta vähähiilitavoitteen saavuttaminen edellyttää jo vuoden 2020 jälkeen siirtymistä perusskenaariota kunnianhimoisemmalle kehityspolulle. Tarkennetun perusskenaarion tavoitteena on hahmottaa ns. energiakäänteen haasteellisuutta, vaikutuksia ja kustannuksia sekä edellytyksiä energiakäänteen toimeenpanemiseen. Tarkennettuun perusskenaarioon on sisällytetty joukko toimenpiteitä, jotka on määritetty luvussa 2. Luvussa 3 on esitetty tarkennetun perusskenaarion vaikutuksia suomen energijärjestelmään ja luvussa 4 Suomen kansantalouteen. Luvussa 5 on esitetty johtopäätökset tarkennetun perusskenaarion vaikutuksista Suomelle.

2. Tarkennetun perusskenaarion määrittely

Tässä luvussa on esitetty tarkennetun perusskenaarion lähtökohdat. Perusskenaario noudattaa aiemman selvityksen (Honkatukia et al. 2013) perusuran lähtökohtia muun muassa talouden, oletetun teollisuuden tuotannon sekä energia- ja ilmastopolitiikan osalta. Kyseisessä työssä oletettiin, että päästöoikeuden hinta nousee perusuralla nykytasolta 10 euroon tonnilta vuoteen 2020 mennessä ja 20 euroon vuoteen 2030 mennessä. ***Tässä työssä oletetaan, että päästöoikeuden hinta on sama sekä perusskenariossa että tarkennetussa perusskenariossa, eli 10 €/t CO₂ vuonna 2020 ja 20 €/t CO₂ vuonna 2030.***

2.1 Tarkennetun perusskenaarion lähtökohdat

Tarkennetun perusskenaarion lisätoimenpiteet sisältävät:

- A. puhtaan energian ohjelman asettamat tavoitteet
- B. rakentamiseen liittyvät lisätoimet
- C. liikenteeseen liittyvät lisätoimet
- D. puupolttoaineen käyttöön liittyvät tavoitteet
- E. jätehuollon lisätoimet.

A. Puhtaan energian ohjelman asettamat tavoitteet

Työ- ja elinkeinoministeriön puhtaan energian ohjelman tavoitteena on panostaa tuontia korvaavaan puhtaan energian tuotantoon, lisätä ns. CleanTech-työpaikkoja kymmenillä tuhansilla ja vähentää Suomen khk-päästöjä siten, että saavutamme EU:n vuoden 2050 vähähiilitavoitteen mukaisen uran vuonna 2025. Energiatavoitteen osalta tarkennetussa perusskenariossa oletetaan seuraavaa:

1. Vähennetään mineraaliöljyn käyttöä liikenteessä ja öljylämmityksessä noin 20 % nykytasoon verrattuna. Pääosa mineraaliöljyn käytön vähennyksestä toteutuu liikenteessä, minkä vuoksi tarkennetussa perusskenariossa lisätään panostusta kotimaisten biopolttoaineiden hankkeisiin. Tarkennetussa perusskenariossa oletetaan, että Suomeen tulee kolme uutta suuren kokoluokan biojalostamoja UPM:n Lappeenrantaan rakenteilla olevan laitoksen lisäksi.

2. Vähennetään kivihiilen voimalaitoskäyttöä ja lisätään "päästöttömän" energiantuotannon osuutta. Tuulivoimalle asetetaan 9 TWh:n tuotantotavoite vuodelle 2025 ja vastaavasti kivihiilen käyttöä pienennetään 6–7 TWh nykytasoon verrattuna (5–6 TWh CHP-tuotannosta). Kaupungeissa pääosa kivihiilen käytöstä korvataan bioenergialla.
3. Korvataan noin 10 % maakaasun käytöstä biokaasulla. Tarkennetussa perusskenaariossa oletetuista biojalostamoista yksi voi olla bio-SNG (Synthetic Natural Gas) -laitos, jossa tuotettaisiin biokaasua kaasuttamalla puupolttoaineita.

Kivihiilen korvaamisen osalta laskelmissa on hyödynnetty VTT:n aiemman selvityksen (Flyktman et al. 2011) tuloksia liittyen biomassan käyttöön pölypolttokattiloissa. Tutkimuksessa arvioitiin, että kivihiilen käyttöä voidaan vähentää yhteistuotannon pölypolttokattiloissa vuoteen 2015 mennessä noin 6 TWh korvaamalla sitä biomassoilla. Käyttöä vähentää tulevien jätteenpolttolaitosten ja suunnitteilla olevien monipolttolaitosten valmistuminen. Biojalostamoiden osalta on hyödynnetty mm. Tekesin Biorefine-ohjelman tutkimustuloksia ja VTT:n Low Carbon Finland 2050 -tutkimusta (Koljonen & Similä 2012) tuloksia.

B. Rakentamiseen liittyvät lisätoimet

Tarkennetussa perusskenaariossa olemassa olevaan rakennuskantaan tehdään energiatehokkuuden parannuksia muiden korjausten yhteydessä. Skenaarion lähtökohtana on oletus, että korjausrakentamisen määräykset on implementoitu Suomeen. Lisätoimien määrittelyn ja kustannusarvioiden osalta hyödynnetään VTT:n aiempaa tutkimusta (Airaksinen, M. & Vainio, T. 2012) liittyen rakennuskannan energiatehokkuustoimenpiteiden vaikuttavuuden arviointiin ja kyseisen työn Skenario 2 vastaa korjausrakentamisen määräysten implementointia. Oletettu rakennusvolyymin kasvu on sama sekä perusskenaariossa että tarkennetussa perusskenaariossa ja lisäksi sekä uusien että poistuvien rakennusten määrät ovat samat. Tarkennetussa perusskenaariossa tehtiin seuraavat oletukset:

- Kun rakennusosia korjataan, kaikissa korjauksissa (vaippa, ilmanvaihto, lämminkäyttövesi) parannetaan energiatehokkuutta.
- Vuoden 1980 jälkeen rakennettujen rakennusten julkisivut lisäeristetään.
- Ilmanvaihtoon tulee aina ilmanvaihtoremontin yhteydessä lämmöntalteenotto vuoden 2020 jälkeen.

C. Liikenteeseen liittyvät lisätoimet

Tarkennetussa perusskenaariossa huomioidaan EU:n komission lokakuussa 2012 antama direktiiviehdotus (Euroopan komissio 2012), joka toteutuessaan tulisi rajaamaan ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden käyttöä enintään viiteen prosenttiin kaikesta myydyistä liikenteen polttoaineesta. Tarkennetussa perusskenaariossa siten oletetaan, että uusiutuvan energian käytön tavoite liikenteessä (20 % vuonna 2020) toteutettaisiin pääasiallisesti ns. "tuplalaskettavilla" biopoltto-

aineilla, kun perusskenaariossa oletus oli, että tavoitteeseen päästäisiin pääasias-
sa ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden käytön lisäyksellä. Tarkennetussa
perusskenaariossa oletetaan lisäksi, että ammatiliikenteen ja koko liikennejärjes-
telmän energiatehokkuus paranee liikenteen ja maankäytön yhteensovittamisen
sekä kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen edistämisen myötä. Energiatehokkuus-
toimenpiteillä tavoitellaan vähintään 0,3 MtCO₂:n ylimääräistä päästövähennemää
vuoteen 2020 mennessä, ja samansuuruisia vähennemää tavoitellaan kulkutapava-
lintoihin vaikuttamisella.

D. Puupolttoaineen käyttöön liittyvät tavoitteet

Perusskenaariossa oletetaan, että metsähakkeen käyttö lisääntyy sähkön ja läm-
möntuotannossa kaksinkertaiseksi nykytasosta vuoteen 2020 mennessä. Feed-in-
tuen piirissä olevan metsähakkeen minimikäyttö oletetaan samaksi sekä perus-
skenaariossa että tarkennetussa perusskenaariossa. Koska tarkennetussa pe-
russkenaariossa puupolttoaineiden käytön oletetaan kasvavan merkittävästi toi-
saalta kivihiilen ja maakaasun korvaamisen myötä ja toisaalta oletetun biojaloste-
iden tuotannon kasvun myötä, puuperäisten raaka-aineiden oletettu tarjonta on
tärkeä tekijä laskelmissa. Tarjonnan lähtökohtien määrittelyissä hyödynnetään
Pöyryn (2012) selvitystä puupolttoaineiden lisäysmahdollisuuksista. Lisäksi sallit-
aan puun/energiapuun tuonti.

E. Jätehuollon lisätoimet

Tarkennetussa perusskenaariossa jätteen orgaanisen ja muun biohajoavan jät-
teen kaatopaikkasijoittamista rajoitetaan vuodesta 2016 lähtien siten, että kaato-
paikkajätteen orgaanisen aineksen pitoisuus on alle 10 %. Lisäksi oletetaan, että
jätteen massapolton ja/tai kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolton määrät ovat
suuremmat tarkennetussa perusskenaariossa kuin perusskenaariossa.

3. Tarkennetun perusskenaarion vaikutus Suomen energiajärjestelmään

3.1 VTT:n energiajärjestelmämallin ja lähestymistavan kuvaus

Suomen energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä on arvioitu TIMES-VTT-mallilla, joka pohjautuu IEA-yhteistyössä kehitettyyn globaaliin ETSAP-TIAM-malliin (ks. Loulou et al. 2005 ja Loulou & Labriet 2007). TIMES-VTT-malli on myös globaali energiajärjestelmämalli, mutta verrattuna ETSAP-TIAM-malliin VTT:n mallin aluejakoa on tarkennettu merkittävästi Euroopan osalta. TIMES-VTT-mallissa Suomen, Ruotsin, Norjan ja Tanskan energiajärjestelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti maittain, ja muu Eurooppa on jaettu Itä- ja Länsi-Eurooppaan. Venäjän energiajärjestelmä on mallinnettu yhtenä alueena. Pohjoismaisen mallinnusnäkökulman vuoksi mallista on käytetty myös nimeä Nordic TIMES, ja sitä on aiemmin käytetty muun muassa pohjoismaisissa tutkimushankkeissa (ks. Teir et al. 2010 ja Koljonen & Lehtilä 2010) ja viimeksi IEA:n ja Pohjoismaiden yhteisessä tutkimuksessa Nordic Energy Technology Perspectives 2013 (IEA 2013).

VTT:n toteuttamissa aiemmissa taustaselvityksissä (ks. Lehtilä et al. 2008 ja Forsström et al. 2010) liittyen kansalliseen energia- ja ilmastopoliittiseen päätöksentekoon on käytetty Suomen TIMES-energiajärjestelmämallia, jossa on kuvattuna ainoastaan Suomen energiajärjestelmä. Laajemmassa TIMES-VTT-mallissa on kuvattuna pohjoismainen sähkömarkkina, globaali energiahyödykkeiden kauppa ja mallinnusalueiden välinen infrastruktuuri, mikä on TIMES-VTT-mallin ehdoton vahvuus verrattuna Suomen TIMES-malliin. Arvioitaessa ilmastopoliittikan vaikutuksia kasvihuonekaasupäästötavoitteet ja päästökauppa voidaan mallintaa globaalilla tasolla tai alueittain, eli esimerkiksi EU-laajuinen päästökauppa huomioiden. TIMES-VTT-mallissa on kuvattuna kaikki Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöt sekä niiden vähennystekniikat ja -kustannukset, joten mallinnusmenetelmä soveltuu erittäin hyvin myös ei-päästökauppasektorin kasvihuonekaasupäästöjen kehityksen arviointiin. Mallin etuna on lisäksi sen kattavuus kaikkiin energiaa käyttäviin ja khk-päästöjä tuottaviin sektoreihin, joten myös eri toimenpiteiden välilliset vaikutukset tulee huomioida. Esimerkiksi tietyt päästöjä vähentävä politiikat ja muut toimenpiteet saattavat lisätä päästöjä jollain muulla sektorilla.

Energiajärjestelmätarkasteluissa huomioidaan koko energiajärjestelmän kehitys kattaen polttoaineen ja energian tuotannon, siirron, jakelun sekä energian käytön kaikilla sektoreilla, ja lisäksi mallissa on kuvattuna jätesektori. Energiajärjestelmän kehitystä arvioidaan sekä teknologian kehityksen että kustannusten kehityksen näkökulmista: mallitarkasteluissa huomioidaan uuden, vähäpäästöisemmän teknologian käyttöönotto, johon investoidaan kattamaan kasvava energiapalveluiden kysyntä, korvaamaan nykyisen energiajärjestelmän poistumaa sekä toteuttamaan annetut politiikkatavoitteet minimikustannuksin. TIMES-VTT-mallin laaja tietokanta sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen nykyisestä energiajärjestelmästä alueittain, ml. energiantuotanto ja -siirtojärjestelmä, rakennuskanta, auto- ja muu liikennevälinekanta, eri teollisuustuotteiden tuotantoprosessit ja -laitokset sekä maa-, metsä- ja kaivannaisteollisuus. Mallin tietokanta sisältää myös arviot nykyisen energiajärjestelmän, kuten nykyisten energiantuotantolaitosten, rakennusten ja autokannan, poistumasta. Alla on esitetty yhteenveto TIMES-VTT-mallin tärkeimmistä ominaisuuksista:

- eri polttoaineiden reservit ja resurssit sekä uusiutuvien energialähteiden osalta tekniset potentiaalit (ks. Koljonen et al. 2009, Ruska et al. 2012)
- polttoaineiden tuotantoprosessit ja tuotantokustannukset
- energian muuntoprosessit ja tekniikat, ml. uudet tekniikat ja nykyisten teknologioiden kehitys sekä niiden kasvihuonekaasupäästöt
- polttoaineiden ja energian kuljetus, siirto ja jakelu
- sähkön siirtoyhteyksien nykyiset ja rakenteilla olevat uudet kapasiteetit sekä myöhempien uusien siirtolinjainvestointien potentiaaliarviot (määritetty sähkön-siirron maksimikapasiteettina)
- hiilidioksidin erotus energiantuotanto- ja teollisuusprosesseista sekä hiilidioksidin kuljetus ja varastointi
- energian käyttö ja kasvihuonekaasupäästöt kaikilla sektoreilla: liikenteessä, rakennuksissa, teollisuudessa, maa- ja metsätaloudessa sekä kaivannaisteollisuudessa
- arviot yhdyskuntajätteiden määrien kehityksestä sekä jätehuollon kasvihuonekaasupäästöt
- Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöjen vähennystekniikat ja niiden kustannukset.

TIMES-VTT-mallin laskema energian kulutus ja khk-päästöjen kehitys riippuvat useasta eri tekijästä. Perusskenaariossa mallin käyttämiä lähtötietoja ovat:

- eri talouden sektoreiden kehitykset, eli energiaa käyttävien teollisuussektoreiden, kotitalouksien, palvelujen, maa- ja metsätalouden ja kaivannaisteollisuuden kehitys
- teollisuuden eri tuotteiden ja toimialojen tuotannon kehitys

- nykyinen auto- ja muu liikennevälinekanta sekä liikkumis- ja kuljetustarpeiden kehitys liikennemuodoittain
- nykyinen rakennuskanta sekä asuinpinta-alan kehitys rakennustyypeittäin
- nykyiset energia- ja ilmastopoliittiset ohjauskeinot: energia- ja päästöverot, tuet, päätetyt energian käytön tehostamista koskevat määräykset, säädökset jne.
- nykyisen energiajärjestelmän laskennallinen poistuma ja käytettävissä olevien teknologiavaihtoehtojen oletettu kehitys kaikilla sektoreilla sekä teknisten parametrien että kustannusten osalta.

TIMES-VTT-malli on kalibroitu toteuttamaan Tilastokeskuksen (2012) raportoima Suomen energiatase vuodelle 2010. Luvussa 2.3. esitetyissä skenaariotuloksissa on esitetty myös energia- ja khk-päästötase vuonna 2005, joka on EU:n energia- ja ilmastotavoitteiden asetannan referenssivuosi.

3.2 Energiajärjestelmäskenaarioiden lähtötiedot

3.2.1 Oletukset liittyen biopolttoaineiden tuotantoon

Liikenteen biopolttoaineiden hankinta perustuu TIMES-VTT-mallissa biopolttoaineiden 15 %:n minimiosuuteen tieliikenteen energiakäytössä (sama prosenttiosuus sekä bensiinin että dieselin käytön osalta). Perusskenaariossa malli saa ratkaista tämän biopolttoaineiden hankinnan optimaalisesti, kuitenkin niin, että jo investointipäätöksen saaneet tuotantolaitokset asettavat minimituotannon biopolttoaineille.

Tarkennetussa perusskenaariossa bioetanolin tapauksessa mallille ei aseteta tuotannolle mitään rajoituksia, vaan malli valitsee vapaasti kotimaisen tuotannon ja tuontietanolin välillä. Biodieselin tapauksessa tarkennettu perusskenaario määrittelee puuperäiselle biodieselille kotimaista tuotantoa seuraavasti:

- Vuonna 2020 Lappeenrantaan tulee kapasiteetiltaan 100 000 tonnin (noin 1 000 GWh) biodieselin tuotantolaitos, joka käyttää raaka-aineena selluntuotannon sivutuotteena syntyvää mäntyöljyä. Tämä biojalostamo on jo rakenteilla ja kuuluu siten myös perusskenaarioon.
- Vuonna 2030 oletetaan, että Suomessa on 2–6 uutta biodieselin tuotantolaitosta, joiden yhteinen tuotantokapasiteetti on 500 000 t (5 000 GWh). Nämä biojalostamot kuuluvat siis vain tarkennettuun perusskenaarioon.

Liikenteen biopolttoaineiden lisäksi tarkennetussa perusskenaariossa määritellään neljä bioöljyn tuotantolaitosta seuraavasti:

- Vuonna 2020 2–3 yhteiskapasiteetiltaan 140 000 tonnin (660 GWh) bioöljyn tuotantolaitosta.

- Vuonna 2030 2–3 yhteiskapasiteetiltaan 180 000 tonnin (900 GWh) bioöljyn tuotantolaitosta.

Lisäksi tarkennetussa perusskenaariossa oletetaan, että vuonna 2020 tulee käyttöön yksi vuosituotantokapasiteetiltaan noin 1,5 TWh/a:n (tuotetun synteetikaasun energiasisältö) puun kaasutuslaitos, joka syöttää tuotetun kaasun Suomen maakaasuverkkoon. Kaikkien edellä mainittujen biopolttoaineiden tuotantolaitosten tekniset parametrit (hyötysuhde, sähkön käyttö ja höyryn tuotanto) on arvioitu VTT:n asiantuntijoiden toimesta sekä alan toimijoiden ja teknologian kehittäjien julkistamien tietojen perusteella.

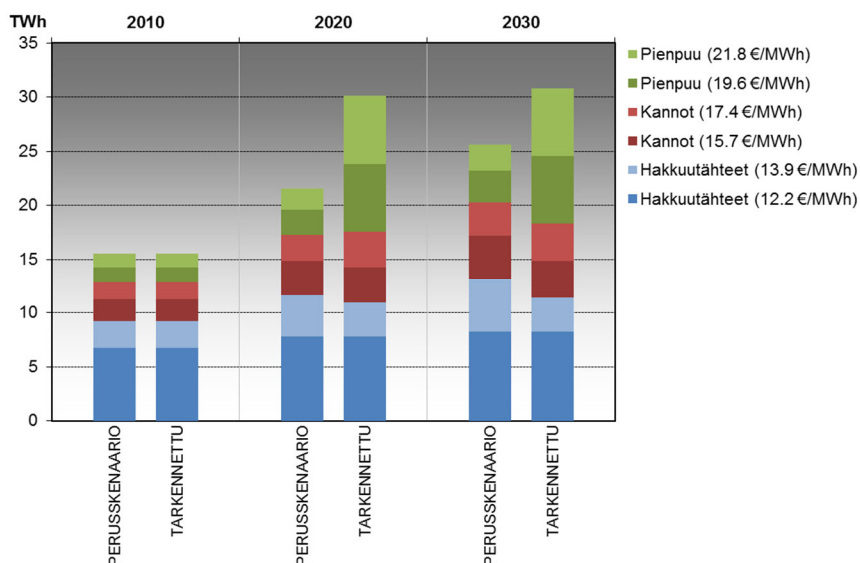
3.2.2 Oletukset liittyen puubiomassaresursseihin

Tarkennetussa perusskenaariossa metsähaketta koskeva puubiomassaresurssien määrä asetetaan vastaamaan Pöyryn (2012) raporttia puupolttoaineiden lisäysmahdollisuuksista. Perusskenaariossa metsähakkeen saatavuuden oletetaan riippuvan kasvavassa määrin hakkuiden määrästä, kun taas tarkennetussa perusskenaariossa metsähakkeen saatavuus perustuu Pöyryn arvioimaan teknis-taloudelliseen tarjontapotentiaaliin taulukon 1 mukaisesti. Pienpuun alkuperäinen tarjoama (25 TWh) on puolitettu energiajärjestelmämallia varten, sillä Pöyry arvioi puolet pienpuusta olevan Petu-tuen piirissä.

Taulukko 1. Metsähakkeen kotimainen saatavuus vuosina 2020 ja 2030 tarkennetussa perusskenaariossa.

Metsähakkeen saatavuus, TWh	2020	2030
Hakkuutähteet	11,0	11,4
Kannot	6,6	6,9
Pienpuu	12,5	12,5
Yhteensä	30,1	30,8

TIMES-VTT-mallissa metsähakkeelle on asetettu kuusiportainen potentiaaliin perustuva hintatason (TIMES-VTT-mallissa vastaa kyseisen polttoainejakeen tuotantokustannusta) muodostus, johon Pöyryn arvioima metsähakkeen kustannuspohjainen käyrästä on sovitettu. Kuvassa 1 on esitetty tämä metsähakkeen hintatason porrastus perusskenaariossa ja tarkennetussa perusskenaariossa.



Kuva 1. Metsähakkeen saatavuuden kehitys vuosina 2010–2030 jaoteltuna hintaportaittain hakkuutähteisiin, kantoihin ja pienpuuhun perusskenaariossa ja tarkennetussa perusskenaariossa.

Metsähakkeen lisäksi energiajärjestelmämallissa on määritelty muitakin puubio-massaresursseja, kuten mm. metsäteollisuuden sivuvirrat, runkopuun käytön mahdollisuus ja kotitalouksien pienpuun tarjonta. Tämän lisäksi tarkennetussa perusskenaariossa on mahdollista käyttää tuontipuuta 1,5 TWh vuonna 2020 ja 2,5 TWh vuonna 2030 Pöyryn (2012) arvion mukaisesti. Tuontipuun käyttö on rajoitettu kahteen kohteeseen: puunkaasutukseen (enintään 1 TWh vuosina 2020–2030) sekä suurien kaupunkien sähkön ja kaukolämmön tuotantoon (0,5 TWh vuonna 2020 ja 1,5 TWh vuonna 2030). Tuontipuulle ei määritellä mallissa epävarmuuksien vuoksi hintaa, vaan maksimituonti kiinnitetään yllä olevien rajoitusten mukaisesti.

3.2.3 Oletukset liittyen rakennusten energiankulutukseen

Rakennuskannan energiankulutuksen arvioimisen pohjana on skenaario, joka perustuu virallisiin tilastoihin ja VTT:n REMA-malliarvioihin tulevasta kehityksestä. Ennakoidut uudisrakentamisen määrät ja vanhojen rakennusten poistuma vaihtelevat REMA-mallissa sekä rakennustyypeittäin että ajanjaksoittain. Asuntotuotannon ennakuste perustuu Suomen väestön määrän ja rakenteen kehitykseen (Lehtinen et al. 2005, Vainio et al., 2012). Liike- ja palvelurakennusten ennakuste teoriaan kansantalouden, yhteiskuntarakenteen ja rakentamisen suhteesta (Ruddock & Lopes 2006).

Rakennuskannan energiankulutuksen skenaarion lähtökohtana on, että energiakorjauksia tehdään vain, kun rakennus tai rakennuksen osa on päätetty korjata jostakin muusta syystä (esimerkiksi vaurio tai käyttöikänpäättyminen). Lähtökohtana on, että energiatehokkuuteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet tehdään muista syistä tehtävien korjaustoimenpiteiden yhteydessä. Korjausten yleisyys (Vainio et al. 2002) on annettu eri-ikäisille rakennuksille ja niiden osille (julkisivut, ilmanvaihto, käyttöveden lämmitys, talotekniikka ja sähköjärjestelmät). REMA-skenario sisältää rakennuskannan poistuman ja korjausrakentamisen sekä tulevan uudisrakentamisen. Skenaarioissa uudisrakentamisessa noudatetaan vuoden 2012 määräyksiä ja vuonna 2020 siirrytään lähes nollaenergiarakennuksiin. Koska lähes nollaenergiarakennusta ei Suomessa ole vielä kansallisesti määritelty, on tässä oletettu, että rakennukset rakennetaan kuten passiivitalot.

REMA-skenaariossa oletetaan, että kun rakennusosia korjataan, kaikissa korjauksissa (vaippa, ilmanvaihto, lämminkäyttövesi) parannetaan samalla energiatehokkuutta. Energiatehokkuuden parantaminen tapahtuu seuraavin toimenpitein eri korjausten yhteydessä:

Johtumishäviöt

Julkisivuremontin yhteydessä puolitetaan ulkoseinän lämmönläpäisy eli nk. U-arvot, ikkunat vaihdetaan nykytasoihin. Esimerkiksi 1970-luvun asuinkerrostalossa tämä tarkoittaa sitä, että alkuperäisen seinän U-arvo $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ pienenee arvoon $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ikkunoiden U-arvo 1970-luvun talossa pienenee arvosta $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoon $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Omakotitaloissa lisätään kattoon eristettä niin, että katon U-arvo puolittuu.

Asuinkerrostaloissa yläpohjan lisälämmöneristäminen ei ole tavoitteen saavuttamiseksi välttämätöntä. Sen vaikutus on noin 2 %, mutta vesikatekorjausten yhteydessä lisäeristäminen on luonnollisesti mielekästä. Näissä skenaarioissa asuinkerrostalojen yläpohjan eristämistä ei ole huomioitu.

Vuoden 1980 jälkeen rakennettujen rakennusten julkisivut lisäeristetään korjauksen yhteydessä.

Lämminkäyttövesi

Putkiremonttien yhteydessä alennetaan painetta ja vaihdetaan nykystandardin mukaiset vettä säästävät vesikalusteet. Lämpimään veteen kohdistuva energiankulutuksen on arvioitu pienenevän 25 %.

Ilmanvaihto

Ilmanvaihtoon tulee aina ilmanvaihtoremontin yhteydessä lämmöntalteenotto vuoden 2020 jälkeen tehtävissä remonteissa. Ennen vuotta 2020 tehtäviä remontteja ilmanvaihtoon ei tule lämmöntalteenottoa.

Energiakorjausten kustannukset

Laskennan lähtökohta oli, että energiatehokkuutta parantavia korjaustoimenpiteitä tehdään ainoastaan, kun rakennusosan tekninen käyttöikä on lopussa tai se on päätetty korjata muusta syystä, esimerkiksi vaurioitumisen takia. Tästä syystä skenaarioissa energiatehokkuuden parantamisen kustannukseksi lasketaan ainoastaan se osuus, joka tulee lisää energiatehokkuuden parantamisesta.

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin äskettäin tehtyjä laskelmia korjausrakentamisen ja energiatehokkuuteen vaikuttaneiden toimenpiteiden kustannuksista (Virta & Pylsy 2011; KIMU 2011; Aho et al. 2012).

Korjauskustannukset ovat aina kohdekohtaisia ja ne sekä niihin sisältyvät energia-kustannukset voidaan laskea monella tavalla. Kustannuksiin vaikuttavat kohteen kunto ja korjauskonsepti. Yksittäisen rakennusosan korjaaminen tulee suhteessa kalliimmaksi kuin usean korjaaminen kerralla, pienen kohteen puolestaan kalliimmaksi kuin suuren kohteen kokonaisuuden. Ilmavaihtokorjauksessa ratkaisevaa on, korjataanko olemassa oleva järjestelmä vai rakennetaanko kokonaan uusi.

Tarkasteltujen korjausten energiasäästön kustannukset ovat 280–440 miljoonaa euroa vuodessa. Asuin-, liike- ja palvelurakennusten korjaustoiminnan arvo oli vuonna 2011 noin 8,5 miljardia euroa. Tällä hetkellä korjausrakentamisesta huomattava osa on kunnossapitoa. Koko volyymista 55 prosenttia käytetään sisätilakorjauksiin ja tilamuutoksiin. Ulkovaipan ja talotekniikan korjauksistakin osa on kunnossapidon luonteista korjaustoimintaa.

3.2.4 Muut energiantuotantoon liittyvät oletukset

Tarkennetussa perusskenaariossa on asetettu energiantuotannolle joitakin minimi-tavoitteita. Tuulivoiman tuotanto on asetettu vuodesta 2025 lähtien minimitasolle 9 TWh, joka ylittää perusskenaarion vuodelle 2020 asetetun 6 TWh:n tavoitteen.

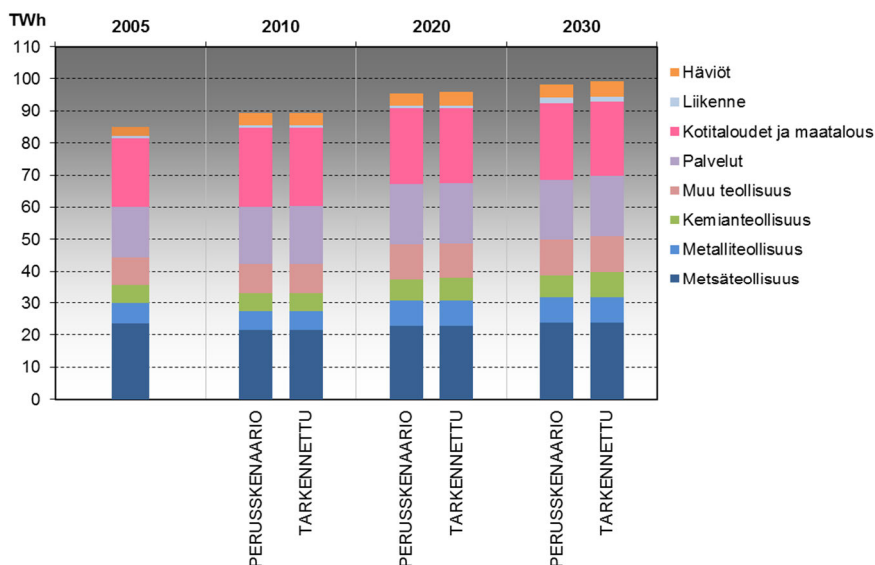
Lisäksi tarkennetussa perusskenaariossa esitetty kivihiilen korvaus kaukolämpö-sektorilla on kuvattu energiasäätelyjärjestelmämallissa puolittamalla kaukolämpö-CHP-laitosten kuluttama kivihiili verrattuna vuoden 2011 tasoon. Tämä puolitus merkitsee 6 TWh:n suuruista kivihiilen vähennystä CHP-laitosten polttoaineena. Lauh-desähkön tuotannossa asetetaan maksimirajoitus siten, että kivihiilen käyttö voi olla korkeintaan vuoden 2011 tasolla, eli 13 TWh.

3.3 Energiasäätelyjärjestelmätulokset perusskenaariossa ja tarkennetussa perusskenaariossa

3.3.1 Energian kysynnän kehitys

Kuvassa 2 on esitetty sähkön kysynnän kehitys perusskenaariossa ja tarkenne-tussa perusskenaariossa. Sähkön kokonaiskulutus kasvaa maltillisesti saavuttaen tason 99 TWh vuonna 2030, jolloin teollisuus vastaa noin puolta kokonaiskulutuk-

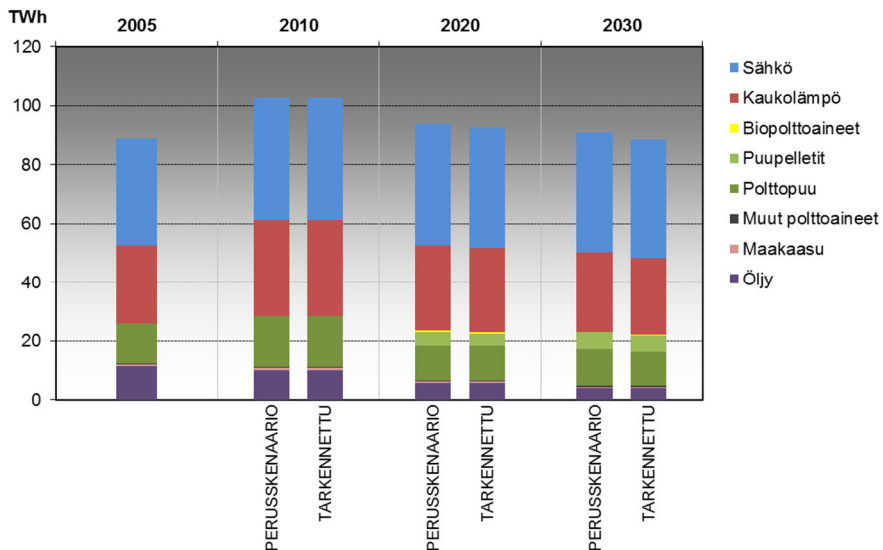
sesta. Suuria muutoksia eri sektoreiden sähkönkulutuksessa ei esiinny, pois lukien biojalostamoiden aiheuttama noin 1 TWh:n kasvu sähkönkulutuksessa perusskenaarioon verrattuna. Muuten tarkennettu perusskenaario ei juurikaan eroa sähkönkulutuksen suhteen perusskenaariosta.



Kuva 2. Sähkönkulutuksen kehitys eri energiankäyttösektoreilla.

Kuvassa 3 on esitetty kotitalouksien sekä palvelusektorin energian loppukäyttö. Energiatehokkuuden vaikutus näillä sektoreilla ilmenee energian kulutuksen tasaisena laskuna sekä perusskenaariossa että tarkennetussa perusskenaariossa. Energian kulutus laskee varsinkin rakennusten lämmityksessä, mikä käy ilmi öljyn ja kaukolämmön kulutuksen laskuna. Sähkönkulutuksen osuuden nousuun vaikuttaa niin palvelusektorin kasvu kuin lämpöpumppujen lisääntyvä käyttöönotto rakennusten lämmityksessä. Tarkennetun perusskenaarion korjausrakentamisen yhteydessä tehtävät toimet näkyvät selvästi vasta vuoden 2030 energian kulutuksessa varsin pienenä, 2,5 %:n erona kokonaiskulutuksessa. TIMES-VTT-skenaariolaskelmien perusteella voidaan todeta, että korjausrakentamisen yhteydessä tehtävät toimet toteutuvat suurimmaksi osaksi jo perusskenaariossa ennen vuotta 2030.

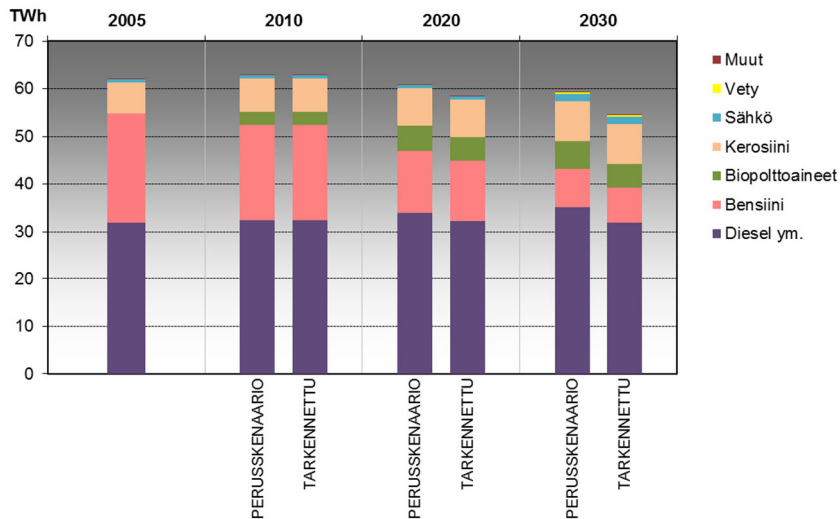
3. Tarkennetun perusskenaarion vaikutus Suomen energiajärjestelmään



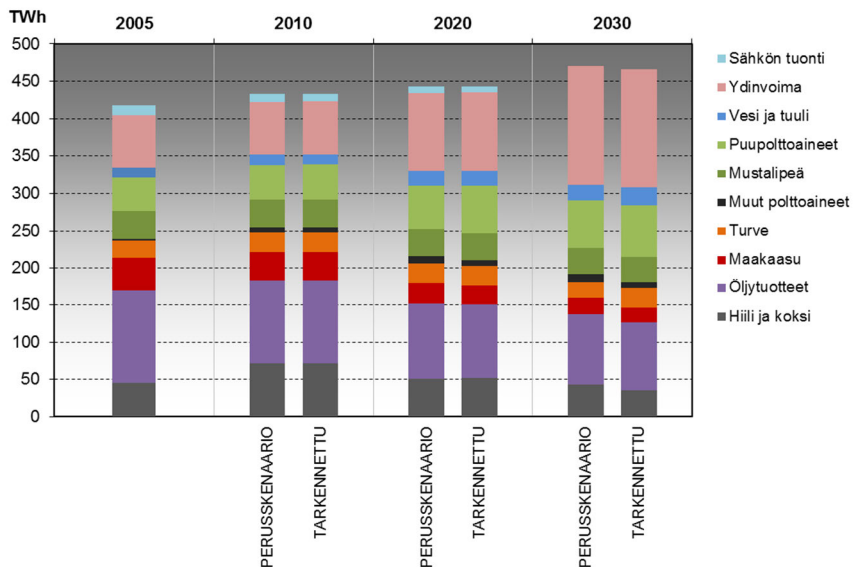
Kuva 3. Kotitalouksien ja palvelusektorin energian loppukäytön kehitys energialähteittäin.

Kuvassa 4 on esitetty liikennesektorin energian loppukäyttö, josta käy ilmi liikenteen energiatehokkuuden kehitys, joka koostuu teknologisesta kehityksestä sekä tarkennetussa perusskenaariossa ajotapamuutoksista. Liikenteen biopolttoaineiden käytön kasvu perustuu 15 %:n minimiosuuteen bensiini- ja dieselautoissa vuonna 2030 (12,5 % vuonna 2020), ja tarkennetussa perusskenaariossa biopolttoaineita kulutetaan hieman vähemmän. Syynä tähän on tehostamistoimenpiteistä johtuva pienempi polttoaineen kokonaiskulutus tarkennetussa perusskenaariossa (ks. luku 2, C. liikenteen lisätoimet). Lisäksi on syytä huomata tuonnin korvaaminen kotimaisella tuotannolla tarkennetussa perusskenaariossa (katso lähempi tarkastelu luvussa 3.3.4).

3. Tarkennetun perusskenaarion vaikutus Suomen energiajärjestelmään



Kuva 4. Liikenteen energiankulutuksen kehitys polttoaineittain. Kuvan vety tuotetaan maakaasusta.



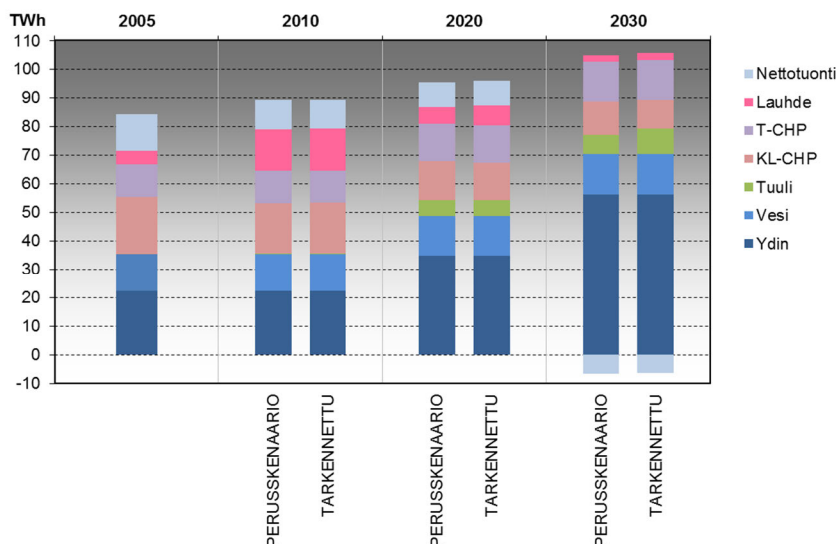
Kuva 5. Primäärienergian kysynnän kehitys.

Kuvassa 5 on esitetty primäärienergian käyttö. Kuvaajassa on primäärienergianlähteet järjestetty siten, että päästöjä tuottavat polttoaineet ovat alempana ja päästöttömät

ylempänä. Näin kuvasta voidaan nähdä suoraan tarkennetun perusskenaarion vaikutus vuoden 2030 päästöihin. Yleisenä trendinä voidaan nähdä maakaasun käytön väheneminen kustannussyistä sekä ydinvoiman suuri merkitys vuonna 2030. Lisäksi tarkennetun perusskenaarion rajoitus hiilen käytölle ilmenee selkeästi vuoden 2030 tuloksissa. Kivihiilen käytön rajoitus toisaalta näyttää lisäävän turpeen käyttöä tarkennetussa perusskenaariossa.

3.3.2 Energian tuotannon kehitys

Kuten edellä todettiin, energian käyttö ei tarkennetussa perusskenaariossa eroa merkittävästi perusskenaariosta. Näin ollen myös erot energian kokonaistuotannossa ovat varsin pienet. Tuotantomuodoissa ja käytetyissä polttoaineissa eroja skenaarioiden välillä kuitenkin löytyy. Kuvassa 6 on esitetty sähkön hankinnan kehitys tuotantomuodoittain. Uudet ydinvoimainvestoinnit muuttavat sähköntuotannon tilannetta huomattavasti vuonna 2030, jolloin Suomesta tulee sähkön nettoviejiä (noin 7 TWh). Tarkennetussa perusskenaariossa suurempi tuulivoiman kasvu leikkaa lisäksi yhdyskuntien CHP-sähkön tuotantoa, joka on 12 TWh perusskenaariossa ja 10 TWh tarkennetussa perusskenaariossa vuonna 2030. Kaukolämmön kilpailukykyä lämmityssektorilla tulisi kuitenkin arvioida tarkemmin kuin tässä hankkeessa oli mahdollista.

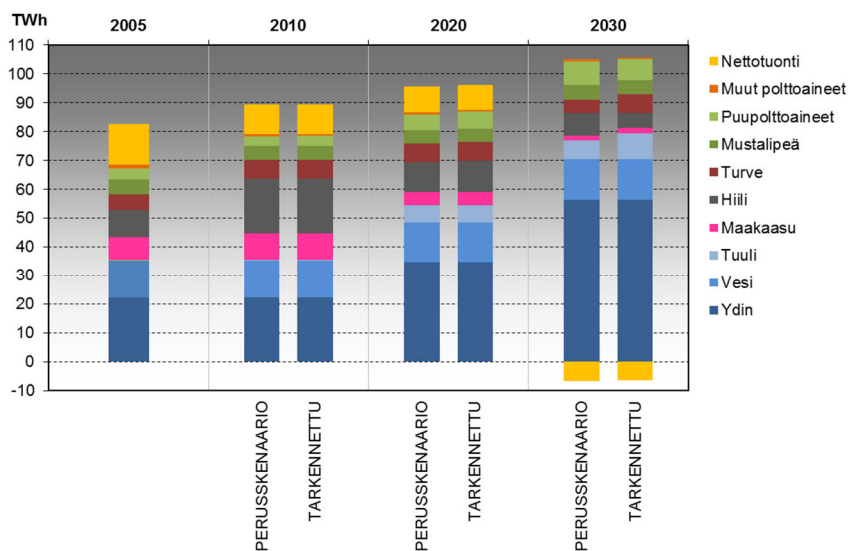


Kuva 6. Sähkön hankinnan kehitys tuotantomuodoittain.

Kuvassa 7 on esitetty sama sähkön hankinnan kehitys, mutta tässä tapauksessa sähköntuotannossa käytettyjen polttoaineiden mukaan jaettuna. Kuvaajasta käy selvästi ilmi maakaasun käytön väheneminen energiasektorilla, joka käy ilmi myös

primäärienergian hankinnan kuvaajasta (kuva 5). Maakaasun hinnan heikko kilpailukyky sähkön ja kaukolämmön polttoaineena aiheuttaa sen, että olemassa olevan tuotantokapasiteetin käytettävyyssasteet ovat erittäin alhaiset vuosina 2020–2030. Turpeen käyttö sähköntuotannossa pysyy vakiintuneella tasollaan lukuun ottamatta vuoden 2030 perusskenaariotapausta, jossa turpeen käyttö laskee. Hiilen käyttö laskee vuoteen 2030 mennessä selvästi, varsinkin hiilen käyttöä rajoittavassa tarkennetussa perusskenaariossa.

Samoin kuin kaukolämmön kilpailukyky, myös maakaasun kilpailukyky näyttää siis heikkenevän sekä perusskenaariossa että tarkennetussa perusskenaariossa, ja näillä kahdella on ilmeinen yhteys. Maakaasun kilpailukykyä Suomen energiajärjestelmässä tuli kuitenkin tarkastella perusteellisemmin kuin tässä työssä oli mahdollista. Maakaasumarkkinat ovat parhaillaan murroksessa, kun Yhdysvaltojen liuskekaasun tuotanto on painanut maakaasun markkinahinnat alas Yhdysvaltojen kaasumarkkinoilla ja lisäksi LNG (Liquefied Natural Gas) -markkinat ovat olleet voimakkaassa kasvussa.



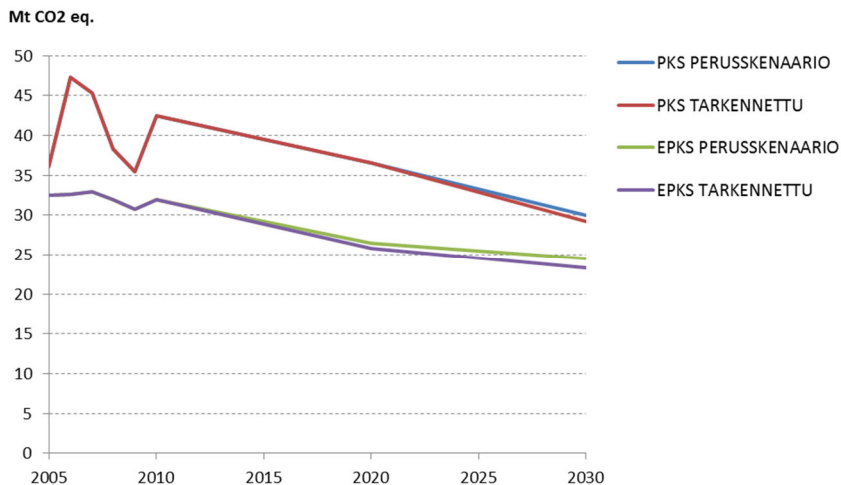
Kuva 7. Sähkön hankinnan kehitys jaoteltuna kulutettujen polttoaineiden mukaan.

Kuvat 6 ja 7 koskevat siis ainoastaan sähköntuotantoa, mutta yhdyskuntien CHP-tuotannon muutokset koskevat merkittävästi myös kaukolämmöntuotantoa. Yleinen kehityslinja suurissa kaupungeissa on monipolttoainevoimaloiden (varsinkin hiili-biomassakattilat) esiintulo. Lisäksi tarkennetussa perusskenaariossa tuontipuun käyttö suurissa kaupungeissa korvaa kivihiilen käyttöä, kun taas muilla alueilla CHP:n suhteen erot perusskenaarioon verrattuna eivät ole suuria. Suurissa kaupungeissa yhdyskuntajätettä hyödyntävät CHP-laitokset nousevat merkittävään asemaan, muilla alueilla jätettä poltetaan lähinnä kattiloissa.

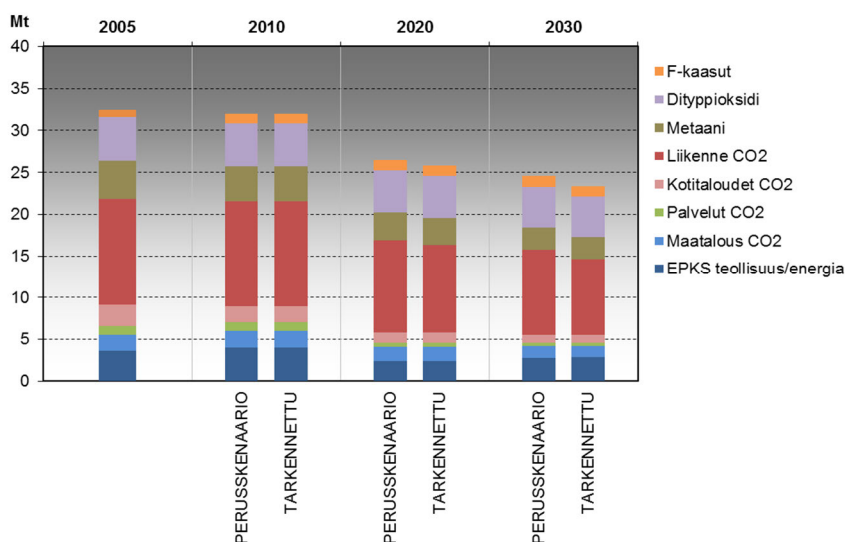
Politiikkaskenaariossa asetettu bioöljyn (l. laskelmissa lähinnä pyrolyysiöljyä) käyttö suuntautuu pääosin kaukolämpökattiloihin ympäri maata. Perusskenaarioon verrattuna bioöljy ei juurikaan syrjäytä öljyä kaukolämpökattiloiden polttoaineena, sillä tarkennetun perusskenaarion pienemmän kaukolämmön kulutuksen vastapainona CHP:n osuus kaukolämmön tuotannossa varsinkin vuonna 2030 (71% perusskenaariossa vs. 64% tarkennetussa perusskenaariossa) on pienempi, ja näin bioöljy kattaakin pääosin suurempaa kattilatuotantoa.

3.3.3 Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys

Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys päästökaupparektorilla (PKS) ja päästökaupan ulkopuolisella sektorilla (EPKS) on esitetty kuvassa 8 sekä perusskenaarion että tarkennetun perusskenaarion tapauksessa. Kuvan 9 EPKS-päästöjen kehitys ei eroa perusskenaariosta paljoakaan, poislukien liikenteen ajotapamuutosten vaikutus (noin 1 Mt:n päästövähennys vuonna 2030), vaikka politiikkatoimenpiteet koskevat suurelta osin päästökaupan ulkopuolista sektoria (korjausrakentamisen uudistukset, liikenteen biopolttoaineet, bioöljyn tuotanto). Syynä tähän on mm. liikenteen biopolttoaineiden tuonnin korvautuminen kotimaisella biopolttoaineella ja bioöljyn käyttäminen pääosin kaukolämpökattiloissa.



Kuva 8. Päästökaupparektorin (PKS) ja päästökaupan ulkopuolisen sektorin (EPKS) kasvihuonekaasupäästöjen kehitys.



Kuva 9. EPKS-päästöjen kehitys.

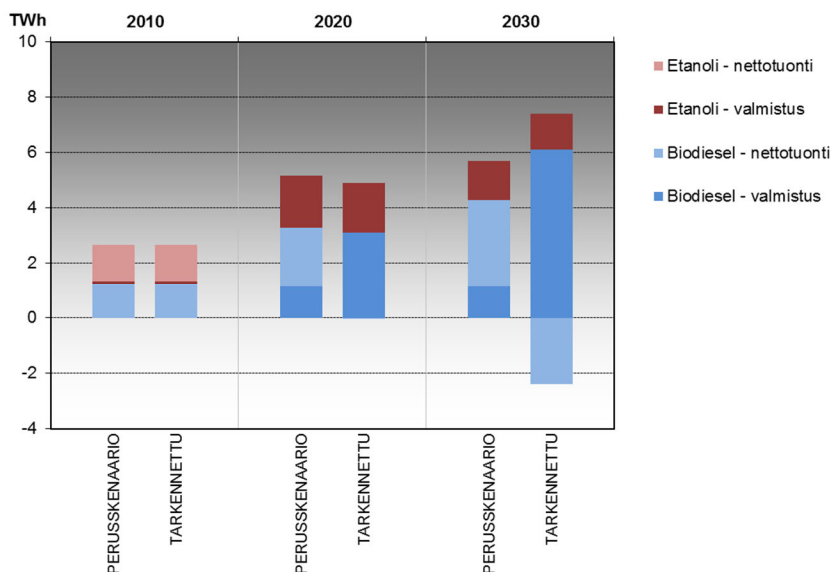
Vuonna 2030 päästökauppasektorin päästöissä tarkennettu perusskenaario tuottaa 0,8 Mt päästövähennyksen verrattuna perusskenaarioon (perusskenaario 30,0 Mt CO₂-eq., tarkennettu perusskenaario 29,2 Mt CO₂-eq.). PKS-päästöjen vähennys perustuu pääosin hiilen käytön vähentämiseen energiasektorilla, mikä käy ilmi kuvista 5 ja 7. Korjausrakentamisen vaikutuksen osuus kaukolämmön kulutuksen vähentymiseen peilautuu siten kaukolämmöntuotannon päästöissä. Toisaalta kivihiilen käytön rajoitus energiantuotannossa lisäsi turpeen käyttöä ja lisäksi kivihiilen käyttö kasvoi teollisuuden energialähteenä, jolle ei ollut asetettu rajoituksia. Näistä syistä tarkennetun perusskenaarion lisätoimenpiteiden vaikutukset PKS-päästöjen vähennykseen jäivät verrattain alhaiseksi.

3.3.4 Biopolttoaineiden lisääntyvän tuotannon vaikutukset energiajärjestelmään

Tarkennettu perusskenaario eroaa merkittävästi perusskenaariosta biopolttoaineiden tuotannon suhteen. Biopolttoaineiden hankinnan eroavaisuudet skenaarioissa esitetään kuvassa 10, jossa on esitetty niin bioetanolin kuin biodieselin tuotanto- ja nettotuottiluvut. Skenaariolaskelmien mukaan bioetanolin tuotettaisiin lähinnä puuperäisistä raaka-aineista, mutta myös bio- ja maatalouden sivutuotteita voidaan hyödyntää etanolintuotannossa. Kuvaajasta käy ilmi, miten kotimainen biodieselin tuotanto korvaa tarkennetussa perusskenaariossa tuontibiodieseliä, kun taas bioetanolin tuotanto ei skenaarioissa eroa juuri lainkaan perusskenaarioon verrattaessa. Kuva 10 indikoi myös sitä seikkaa, että tarkennetussa perusskenaariossa kotimaisen biodieselin tuotantoarviot käyvät melko hyvin yksiin kulutuksen kanssa,

3. Tarkennetun perusskenaarion vaikutus Suomen energiajärjestelmään

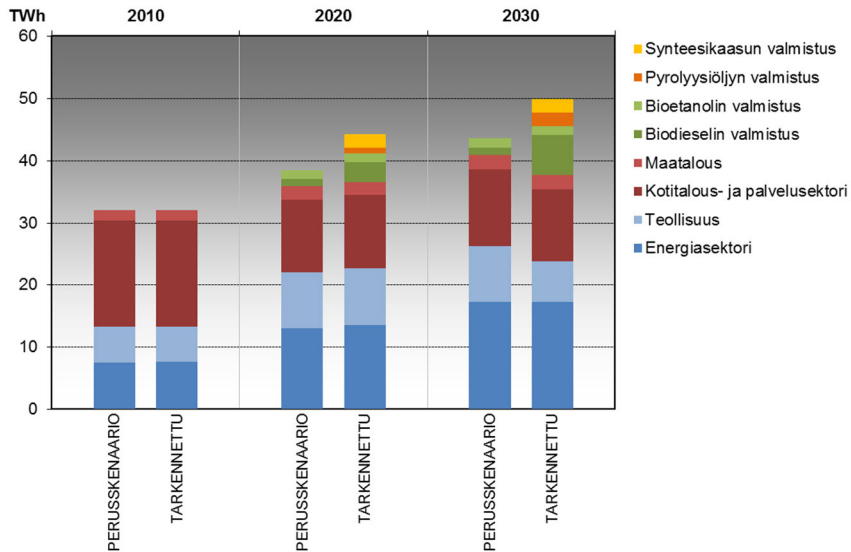
varsinkin vuonna 2020. Vuonna 2030 Suomi olisi laskelmien mukaan biodieselin nettoviejä. Tässä yhteydessä tulee kuitenkin huomata, että arviot bioetanolin ja biodieselin kotimaisista tuotantokustannuksista perustuvat nykyisiin arvioihin, minkä vuoksi tulokset biojalosteiden kauppataseesta sekä bioetanolin ja biodieselin osuuksista Suomen liikenteen polttoaineena ovat suuntaa antavia.



Kuva 10. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja nettotuonnin/viennin kehitys.

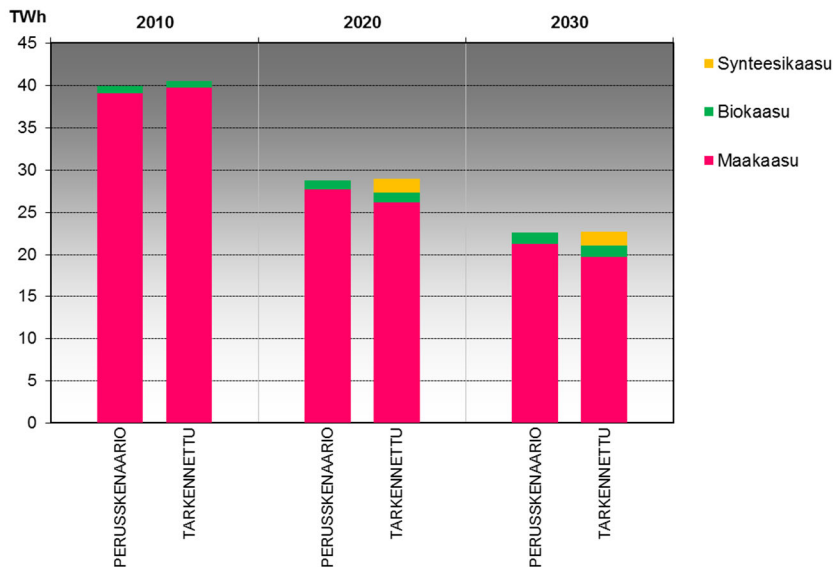
Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon vaikutus energiajärjestelmään laajemmin käy ilmi kuvasta 11, jossa on kuvattu puuperäisten biomassojen kulutusta käyttökohteittain eri skenaarioissa. On huomattava, että kuvaaja ei sisällä mustalipeää ja energiasectori sisältää vain kaukolämpöön liittyvän energiapuun käytön. Kuva 11 eroaa biomassan kulutuksen kokonaismääriltään kuvasta 1 (ks. luku 3.2.2), sillä kuvaaja sisältää myös metsäteollisuuden sivuvirrat, kotitalouksien pienpuun polton sekä tuontipuun. Selvästi liikenteen biopolttoaineiden, bioöljyn sekä puun kaasutuksen kuluttama puubiomassa muodostaa merkittävän eron skenaarioiden välillä, joskin tarkennetussa perusskenaariossa teollisuuden kuluttaman energiapuun määrä on vuonna 2030 jonkin verran pienempi, koska tarkennetussa perusskenaariossa teollisuuden energiatehokkuus kasvaa, kun energiapuun hinta kasvaa kysynnän kasvaessa. Lisäksi teollisuudessa fossiilisten energialähteiden käyttö kasvaa perusskenaarioon nähden (vrt. luku 3.3.3).

3. Tarkennetun perusskenaarion vaikutus Suomen energiajärjestelmään



Kuva 11. Puuperäisen biomassan (huom. ei sisällä mustalipeää) kulutuksen kehitys käyttökohteittain (energiasektori ei sisällä teollisuuden sähkön ja lämmön tuotantoa).

Tuloksista käy ilmi, että kummassakaan skenaariossa ei käytetä kuvan 1 (ks. 3.2.2) pienpuun ylemmän hintaportaan puuresurssia, mutta tuontipuun hintataso on määritetty sen verran alhaiseksi, että tämä puuresurssi käytetään täysin niin kaasutuksessa kuin suurien kaupunkien energiantuotannossa. Lisäksi vuonna 2030 kummassakin skenaariossa käytetään jonkin verran runkopuuta energia- tai jalostustarkoituksiin.



Kuva 12. Maakaasutyypin polttoaineiden (maakaasu, biokaasu ja synteesikaasu) hankinta. Ei sisällä metalli- ja kemianteollisuuden sivutuotekaasuja.

Tarkennetussa perusskenaariossa oletetaan puun kaasutuksen tuottavan Suomen maakaasuverkkoon vuosittain noin 1,5 TWh synteesikaasua vuodesta 2020 lähtien. Kuvassa 12 esitetään maakaasutyypin polttoaineiden (maakaasu, biokaasu ja synteesikaasu) hankinta. Maakaasun kulutus energiajärjestelmässä pienenee tarkennetussa perusskenaariossa hieman enemmän, mutta kaikkien maakaasuverkon kaasujen kulutus on taas vuonna 2030 tarkennetussa perusskenaariossa hieman suurempi. Biokaasun ja synteesikaasun osuus maakaasuverkon polttoaineista on perusskenaariossa vain 6 %, kun taas tarkennetussa perusskenaariossa synteesikaasun tuotanto nostaa kyseisen osuuden 13 %:iin. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että maakaasun kilpailukyky perustuu mallin laskemaan globaaliin maakaasun markkinahintaan, joka on kalibroitu tuottamaan vähintään IEA:n (2012) arviot maakaasun tuontihinnasta. Maakaasun kilpailukykyä tulisikin jatkossa arvioida tarkemmin huomioiden Suomen nykyiset politiikat ja mahdolliset muutokset niissä sekä maakaasuinfrastruktuurissa ja/tai maakaasumarkkinoissa.

3.3.5 Tarkennetun perusskenaarion suorat lisäkustannukset ja vaikutus energianhintoihin

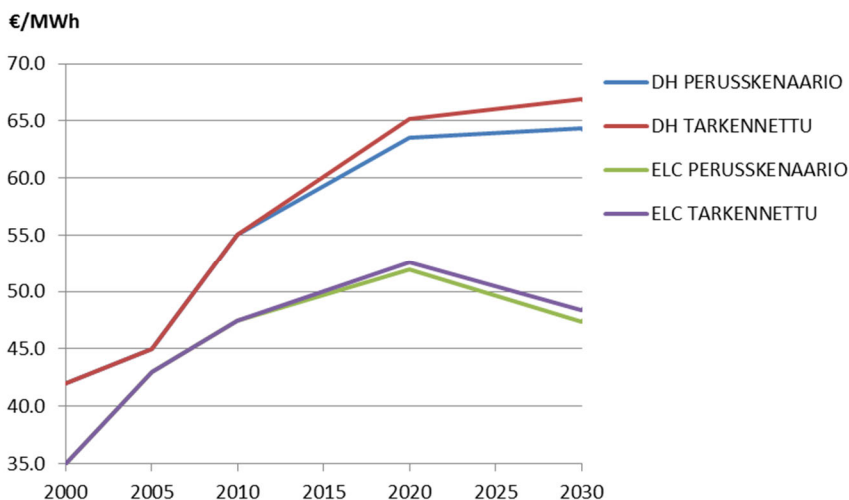
Tarkennetun perusskenaarion suoria kustannuksia energiajärjestelmään ei esitetä tässä yhteydessä, koska suurin osa lisäskenaarion toimenpiteistä on mallinnettu ilman kustannusoptimointia. Toisin sanoen skenaariolaskelmissa on oletettu, että investoinnit tulevat kannattaviksi riittävien tukien tai muiden toimenpiteiden myötä.

Tarkennetun perusskenaarion kustannusvaikutuksia on tarkasteltu lähemmin luvussa 4, jossa on esitetty arvioita tarkennetun perusskenaarion kansantaloudellisista vaikutuksista. VATTAGE-laskelmat tarvitsevat kuitenkin lähtötietoina joitain kustannuksia, kuten investoinnit rakennusten energiatehokkuuden lisäämiseen sekä investoinnit biojalosteiden lisätuotantoon.

Luvussa 3.2.3. esitettiin, että tarkasteltujen korjausten energiasäästön marginaalikustannukset ovat 280–440 miljoonaa euroa vuodessa. Vuosikustannukseksi tässä työssä arvioitiin 360 miljoonaa euroa vuodessa vuonna 2020, joka on Airaksisen ja Vainion (2012) raportissa esitettyjen kustannusten keskiarvo.

Biojalostamoiden (biodiesel-laitokset, pyrolyysi- tai muun bioöljyn tuotanto ja bio-SNG) osalta arvioitiin, että lisäinvestointitarve olisi yhteensä noin 1,6 miljardia euroa vuoteen 2030 mennessä. Arvio perustuu VTT:n aiempiin selvityksiin ja yritysten julkisesti raportoimiin kustannusarvioihin.

Kuvassa 13 on esitetty tarkennetun perusskenaarion vaikutus sähkön ja kaukolämmön hintojen kehitykseen. Huomioitavaa on, että kuvassa olevat hinnat perustuvat pitkän aikavälin marginaalikustannuksiin, joissa otetaan huomioon myös investointikustannukset. Näin ollen tässä esitetty sähkön hinta ei ole verrattavissa suoraan pohjoismaiseen sähkömarkkinahintaan, joka perustuu lyhyen aikavälin marginaalikustannuksiin. Sähkön hinta ei eroa skenaarioissa paljoakaan, kun taas kaukolämmön hinta on tarkennetussa perusskenaariossa jonkin verran korkeampi johtuen halvan kivihiihen käytön rajoituksista. Myös kaukolämmön hinta saattaa vaikuttaa tarkennetun perusskenaarion alempaan kaukolämmön kulutukseen.



Kuva 13. Sähkön (ELC) ja kaukolämmön (DH) hintojen (pitkän aikavälin marginaalikustannusten) kehitys.

4. Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset kansantalouteen

Kansantaloudellisia vaikutuksia on arvioitu kokonaistaloudellisen VATTAGE-mallin avulla. Tarkennetussa perusskenaariossa toteutettavien toimenpiteiden vaikutuksia verrataan perusskenaarioon, jolla oletetaan toteutettavan ilmasto- ja energia-poliittiset tavoitteet vuoteen 2020 mennessä mutta joka ei sisällä näitä sähkön- ja lämmöntuotantoa ja rakennusten energiatehokkuutta koskevia investointeja. Perusskenaariossa ei myöskään toteuteta yhtä laajoja investointeja biojalostamoihin.

Talouskehityksen osalta perusskenaario noudattaa muuten VATT:n talous- ja toimialakehityksen pitkän aikavälin ennakointihankkeen tuloksia. Arvion makrotaloutta koskevat oletukset perustuvat vuoteen 2016 saakka VM:n kansantalousosaston keskipitkän aikavälin ennusteeseen. Ennusteessa kansantalouden toipumisen vuoden 2009 finanssikriisin aiheuttamasta viennin sukelluksesta ennustetaan kestävän useita vuosia. Perusskenaariossa oletetaan työn tarjonnan kehittyvän Tilastokeskuksen ennusteen mukaisesti, jolloin 2010-luvun jälkipuolella työn tarjonta alkaisi kuitenkin supistua. Tällöin talouskasvu riippuu ennen kaikkea tuottavuuskehityksestä.

Ilmastopolitiikka saattaa vaikuttaa tuottavuuskehitykseen yksittäisillä toimialoilla, minkä lisäksi se vaikuttaa kokonaistuottavuuden kasvuun muuttamalla toimialarakenteen kehitystä. Perusskenaariossa toimialarakenne muuttuu työvoimavaltaisemmaksi, mikä korostaa sellaisten toimialojen vaikutusta kokonaistuottavuudesta, joiden tuottavuuskehitys on historiallisesti ollut pääomavaltaisempia, teollisia toimialoja hitaampaa. Osittain tämä kehitys on peräisin vientirakenteen ennakoidusta muutoksesta, joka pienentää ennen kaikkea elektroniikkateollisuuden viime vuosiin saakka suurta osuutta kokonaistuottavuuden kasvusta (Ahokas & Honkatukia 2012).

Taloudellinen tarkastelu ottaa huomioon taloudelliset ohjaustoimet päästöjen vähentämiseksi. Niitä ovat ennen kaikkea uusiutuvalle energialle kohdennetut tuet, energiaverojen korotus ja päästökauppa. Päästöoikeuden hinnan oletetaan perusskenaariossa ja tarkennetussa perusskenaariossa nousevan nykytasolta – noin 4 euroa tonnilta – 10 euroon tonnilta vuoteen 2020 mennessä ja 20 euroon vuoteen 2030 mennessä. Päästöoikeuksien alkujakomenettelyn osalta tutkimuksessa oletetaan, että vuoden 2013 jälkeen ilmaisjaon osuus vähitellen pienenee. Tällä on vaikutuksia ennen kaikkea valtiontalouteen, jolle kertyy kasvavia huutokauppatuloja päästöoikeuden hinnasta riippuen. Lisäksi huomioidaan Suomen sitoumukset kehitysmaille annettavan adaptaatioavun osalta. Lisäksi tarkastelussa

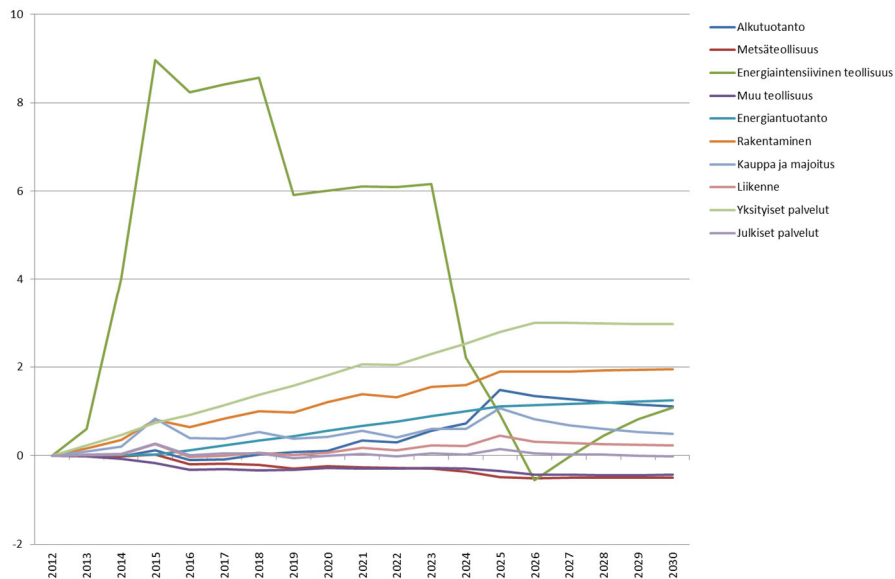
otetaan huomioon liikennepolttoaineiden sekoitevelvoitteet. Arviomme mukaan perusskenaarion toimilla päästäisiin vuoden 2020 EU-tavoitteisiin.

Tarkennettu perusskenaario poikkeaa lähtökohdasta kolmessa suhteessa. Ensinnäkin tarkennetussa perusskenaariossa on tarkennettu arviota energiatoimialojen energiankäytöstä ja niillä tapahtuvien investointien ajoituksesta sekä huomioitu kivihiilen korvaamiseen tähtäävät toimenpiteet. Tarkennetussa perusskenaariossa on myös käytetty tarkennettuja arvioita kiinteistöjen energiansäästöinvestoinneista ja niiden vaikutuksista energiankulutukseen. Lisälaskelmassa investoinnit nousevat selvästi korkeammiksi, ja kun reilu kolmannes Suomen pääomakannasta on sitoutunut asuin- ja liikekiinteistöihin, on vaikutus koko kansantaloudenkin tasolla huomattava. Kolmas ero syntyy perusskenaarioon verrattuna mittavammista biopolttoaineiden jalostukseen tehtävistä investoinneista, jotka nekin ovat huomattavat ja vaikuttavat sekä rakennusaikana että valmistuttuaan koko kansantalouden investointitasolla merkittävästi.

Investointien eroa perusskenaarioon kehitykseen nähden voi tarkastella kuvasta 14. Investoinnit kiinteistöihin lukeutuvat kuvassa yksityisiin palveluihin. Kuvasta näkyy, kuinka energiansäästöinvestoinnit nostavat yksityisten palvelualojen investoinnit 2020-lukuun mennessä noin 3 % perusskenaarion tasoa korkeammaksi. Biojalostamot lukeutuvat kuvassa muihin teollisuuden toimialoihin, jossa niiden investoinnit nousevat suurimmillaan lähes 9 % perusskenaariota korkeammaksi tällä vuosikymmenellä. Jalostamoinvestointien oletetaan valmistuvan 2020-luvun puoliväliin mennessä, mutta ne jättävät näiden toimialojen investoinnit pitkälläkin aikavälillä jonkin verran perusskenaariota korkeammiksi. Energiasektorillakin investoinnit ovat pidemmällä tähtäimellä yli prosentin perusskenaariota suuremmat. Tarkennetussa perusskenaariossa oletetaan, että rakennusten energiansäästöinvestoinnit toteutuvat joko kannattavina tai hallinnollisin vaatimuksin, samoin energiasektorin lisäinvestoinnit. Biojalostamoiden on sen sijaan arvioitu vaativan tuotanto- tai investointitukea. Näiden kolmen sektorin lisäinvestoinnit lisäävät myös monien muiden toimialojen investointeja, ennen kaikkea rakentamisen, jota tarvitaan muiden toimialojen investointeihin.

Koska investoinnit ovat varsin työllistäviä, kasvattavat kotitalouksien tuloja ja sitä kautta kotimaista kysyntää, mikä näkyy myös palvelualojen lisäinvestointeina. Kotimarkkinoiden piristyminen nostaa toisaalta hintatasoa, mikä heikentää ajan mittaan viennin kilpailukykyä ja esimerkiksi metsäteollisuuden investointien kannattavuutta, mikä kuviossa näkyy vientisektorien perusskenaariota alemmina investointeina.

4. Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset kansantalouteen

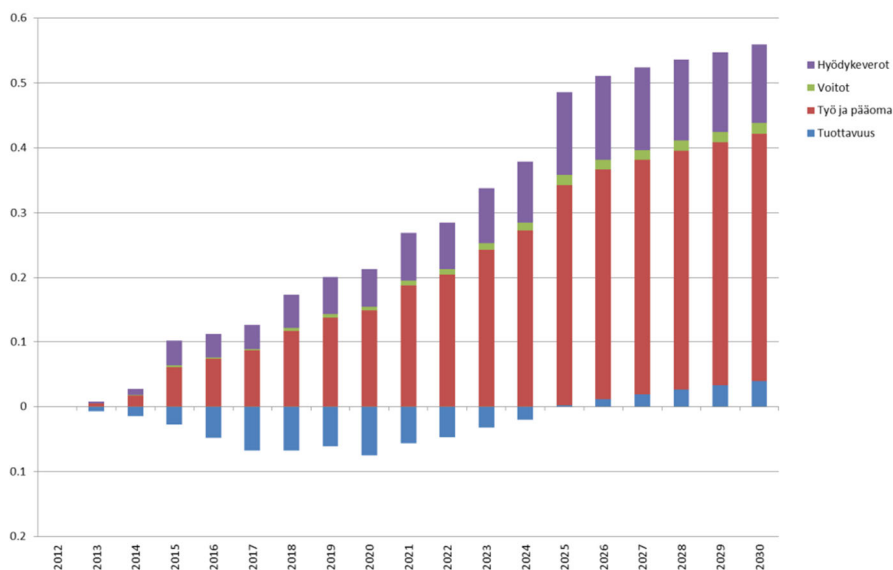


Kuva 14. Investoinnit (prosentuaalinen tasoero perusskenaarioon).

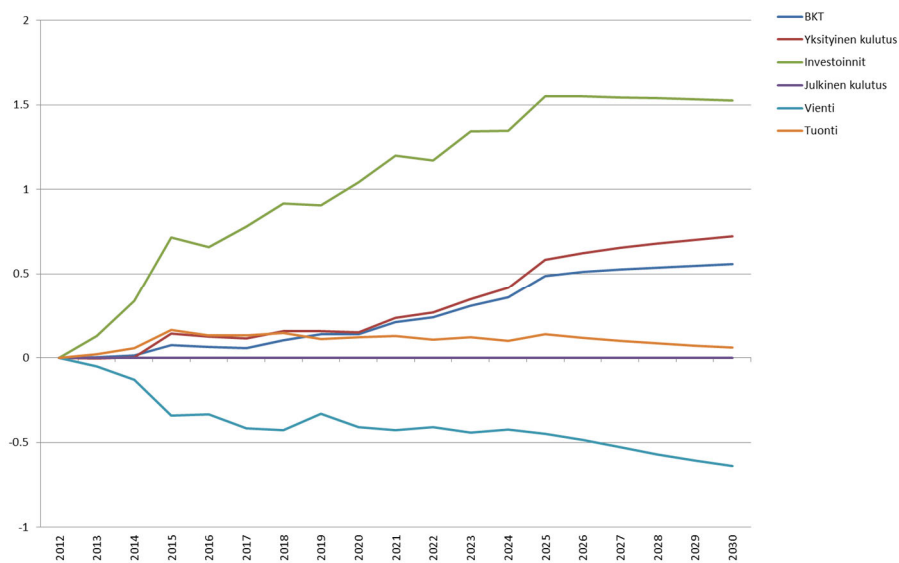
Lisäinvestoinnit vaikuttavat myös kokonaistarjontaan, jota tarkastellaan kuvassa 15. Kuvasta näkyy, kuinka kokonaistarjonta – kansantalouden kyky tuottaa tavaroita ja palveluita – kasvaa pääomakannan ja työllisyyden kasvaessa perusskenaarioon verrattuna. Pääomakannan kasvu johtuu lisäinvestoinneista, kun taas työllisyyden kasvu perustuu oletukseen, että reaali-palkkojen sopeutuminen vaatii jonkin verran aikaa, jolloin kasvanut työn kysyntä nostaa työllisyyttä perusskenaarioon verrattuna. Pidemmällä tähtäimellä työllisyyden kasvu riippuu kuitenkin työvoiman tarjonnasta, johon tarkennetun perusskenaarion toimenpiteet eivät vaikuta, ja siten työllisyyden kasvu jää lyhytaikaiseksi liittyen ennen kaikkea investointivaiheen lisääntyneeseen kysyntään.

Kuvassa 16 tarkastellaan kansantuotteen kysyntäerien kehitystä. Kuvasta näkyy, että investointien kasvu ja työllisyyden paraneminen lisäävät myös kotimaista kulutuskysyntää. Kun samanaikaisesti lisäinvestoinneista johtuva kokonaistarjonnan kasvu kohdistuu ennen kaikkea kotimarkkinasektoreihin, syntyy tilanne, jossa kansantuotteen kotimainen käyttö syrjäyttää vientiä, joka laskee perusskenaarioon verrattuna. Investoinnit jäävät pysyvästi perusskenaariota korkeammalle tasolle, mikä johtuu ennen kaikkea siitä, että rakennuskanta vaatii aiempaa suurempia investointeja myös tulevaisuudessa. 2010-luvun voimakkaassa investointivaiheessa tuonti kasvaa pitkälti investointihyödykkeiden kysynnän kasvun vuoksi, mutta 2020-luvulle tultaessa sekä energiansäästö että lisääntynyt kotimaisten energianlähteiden käyttö polttoaineiden valmistuksessa pienentävät tuonnin takaisin perusskenaarion tasolle. Lisäksi biojalostamoiden valmistuminen 2010-luvun jälkipuoliskolla vapauttaa kapasiteettia viennin käyttöön.

4. Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset kansantalouteen



Kuva 15. Tarjontaerien vaikutus kansantuotteen kasvuun (prosentuaalinen tasoero perusskenaarioon).

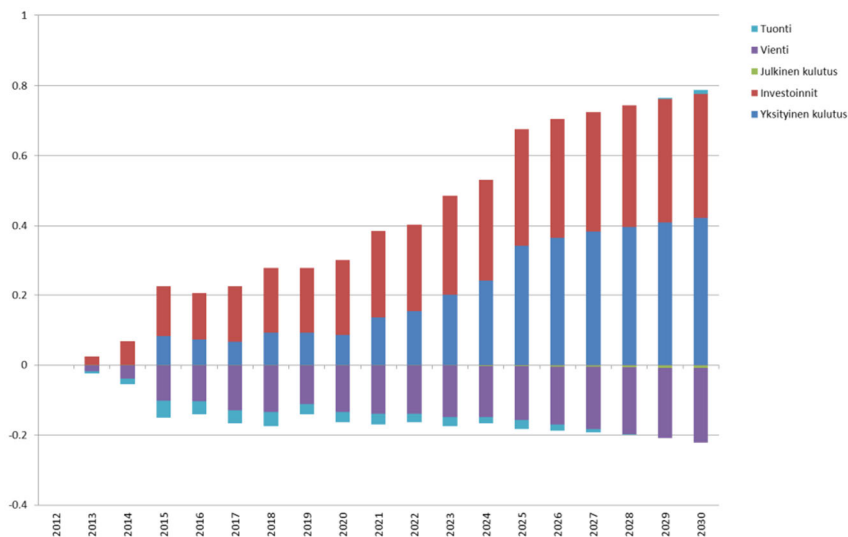


Kuva 16. Kansantuotteen kysyntäerien muutos (prosentuaalinen tasoero perusskenaarioon).

Kuvassa 17 tarkastellaan kysyntäerien muutosten vaikutusta kansantuotteen käyttöön. Kuvasta ilmenee selvästi, kuinka kotimaisen kysynnän kasvu ja läsinvestoinnit nostavat kansantuotetta perusskenaarioon verrattuna, kun taas viennin hitaampi kasvu perusskenaarioon verrattuna laskee sitä. Kuvasta näkyy myös, että investointien vaikutus säilyy tärkeimpänä muutoksena koko tarkastelujakson.

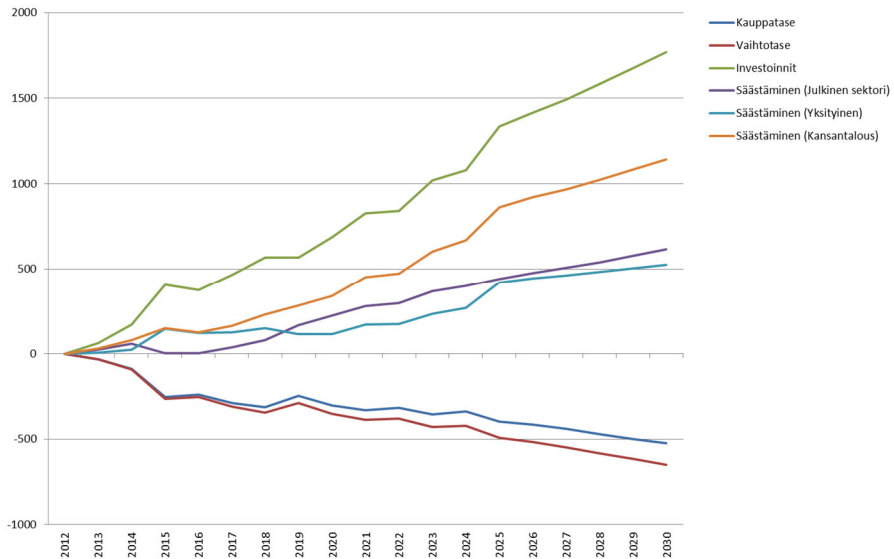
Kuvassa 18 tarkastellaan vaikutuksia kansantalouden ulkoiseen tasapainoon. Talouden ulkoinen tasapaino heikkenee lievästi 2010-luvulla rakennuskannan investointien kasvaessa voimakkaasti, mutta kotimaisen säästämisen kasvaessa maltillisemmin. Tästä seuraa kuvassa näkyvä vaihtotaseen vajeen kasvu. Kauppataaseen vajeen kasvussa on kyse ennemminkin yllä käsitellystä viennin laskusta ja samanaikaisesta tuonnin kasvusta. Toisaalta on huomattava, että vaikka investointien voimakas investointien kasvu heikentää ulkoista tasapainoa, syntyy niistä myös lisätuloja kotitalouksille, mikä lisää kotimaista säästämistä. Niinpä vaihtotaseen heikkeneminen tasaantuu pian, eikä vaihtotaseen vaje kasva suhteessa kansantuotteeseen 2010-luvun lopullakaan kuvassa näkyvästä euromääräisestä kasvusta huolimatta.

Kuvassa 18 näkyy myös julkisen säästämisen kehitys. Arviomme olettaa, että energiasektorin ja rakennusten energiansäästön vaatimat läsinvestoinnit toteutuvat ilman lisätukea. Biojalostamot sen sijaan vaativat tukea toteutuakseen, mikä näkyy julkisen säästämisen notkahduksena. Julkisen sektorin nettorahoitusasema ei kuitenkaan käänny negatiiviseksi tuista huolimatta. Tämä johtuu siitä, että kaiken kaikkiaan käynnissä olevat markkinaehtoiset ja tuetut investoinnit kasvattavat kotitalouksien ja yrityselämän tuloja ja nostavat siten myös verotuloja. Julkisen talouden rahoitusasemaa parantaa myös se, että pidemmällä tähtäimellä julkisen sektorin menot kasvavat kansantuotetta hitaammin.



Kuva 17. Kysyntäerien vaikutus kansantuotteen kasvuun (prosentuaalinen tasero perusskenaarioon).

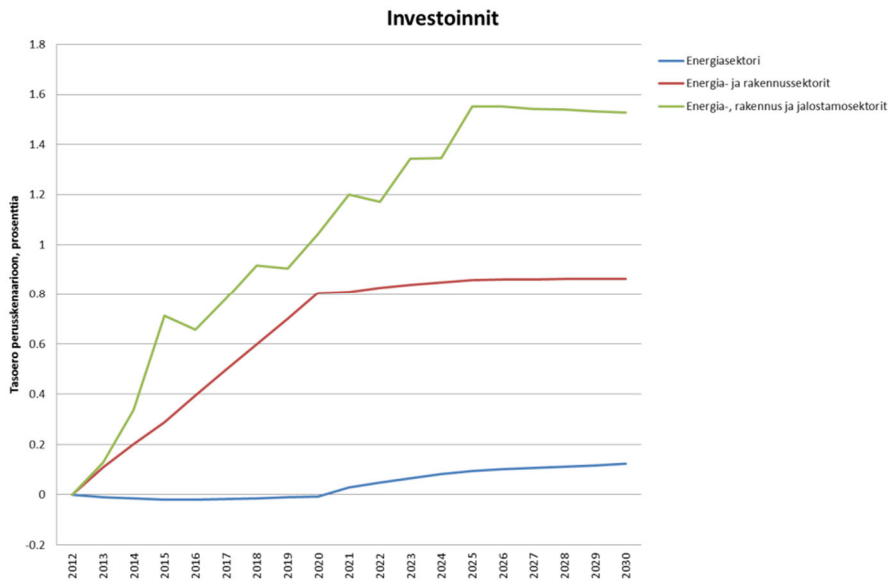
4. Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset kansantalouteen



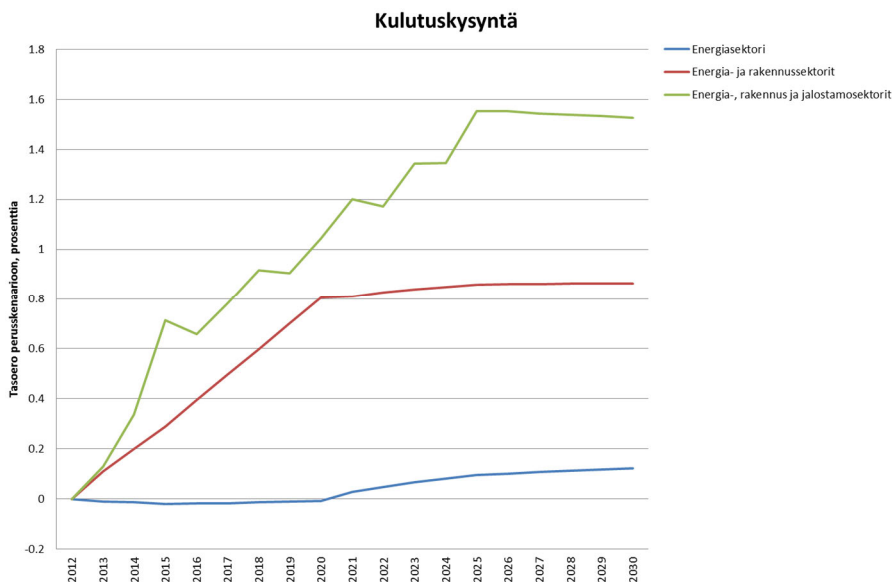
Kuva 18. Kansantalouden ulkoisen tasapainon muutos perusskenaarioon verrattuna (miljoonaa euroa).

Kuvassa 19 tarkastellaan tarkennetun perusskenaarion kattamien energiasektorin, rakennusten energiansäätön ja biojalostamoiden vaatimien investointien vaikutusta kokonaisinvestointeihin vaiheittaisesti. Kuvasta näkyy, että investoinnit rakennuskantaan vaikuttavat kokonaisinvestointeihin suhteellisesti eniten, mutta myös biojalostamoiden vaikutus kokonaisinvestointeihin on merkittävä. Kuvaan 20 on koottu vastaava tarkastelu yksityisen kulutuksen osalta. Kulutuksen osalta jalostamoinvestointien vaikutus on suurempi kuin muiden investointien, koska jalostamoiden toiminta synnyttää lisäkysyntää esimerkiksi metsätalouteen ja nostaa siksi kotitalouksien tuloja laajemmin kuin investoinnit itsessään. Samanlainen vaikutus syntyy myös kansantuotteeseen, jota esittää kuva 21.

4. Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset kansantalouteen

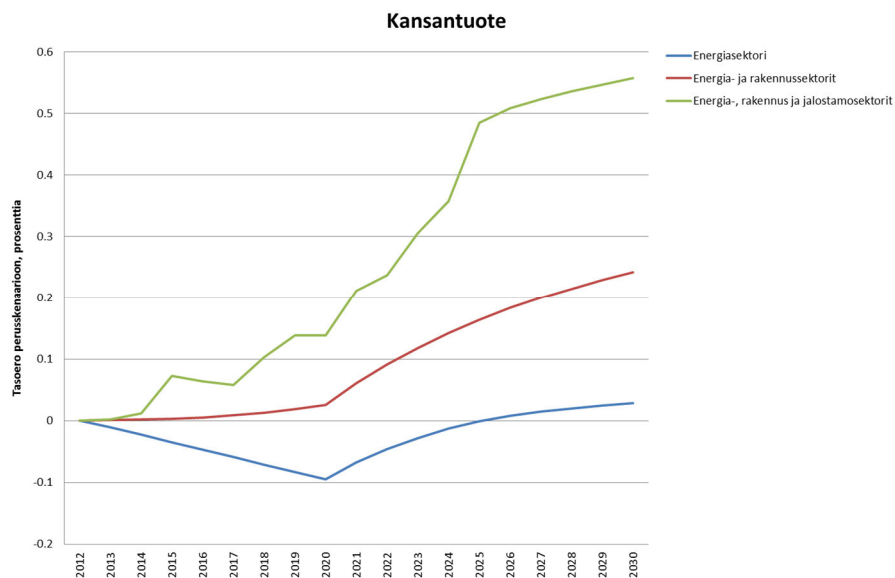


Kuva 19. Tarkennetun perusskenaarion kattamien energiasektorin, rakennusten energiansäästön ja biojalostamoiden vaatimien investointien vaikutus kokonaisinvestointeihin vaiheittaisesti perusskenaarioon verrattuna.



Kuva 20. Tarkennetun perusskenaarion kattamien energiasektorin, rakennusten energiansäästön ja biojalostamoiden vaatimien investointien vaikutus kulutuskysyntään vaiheittaisesti perusskenaarioon verrattuna.

4. Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset kansantalouteen



Kuva 21. Tarkennetun perusskenaarion kattamien energiasektorin, rakennusten energiansäästön ja biojalostamoiden vaatimien investointien vaikutus kansantuotteen vaiheittaisesti perusskenaarioon verrattuna.

5. Johtopäätökset

Suomen energia- ja ilmastostrategian päivitys kattaa perusskenaarion lisäksi ns. tarkennetun perusskenaarion, jonka energia- ja kansantaloudellisia vaikutuksia on arvioitu tässä raportissa. Määritetyt lisätoimenpiteet sisältävät työ- ja elinkeinoministeriön puhtaan energian ohjelman asettamat tavoitteet, rakentamiseen liittyvät lisätoimet, liikenteeseen liittyvät lisätoimet, puupolttoaineen käyttöön liittyvät tavoitteet ja jätehuollon lisätoimet. Sekä perusskenaariossa että tarkennetussa perusskenaariossa lähtökohtana oli EU:n Suomelle asettamat sitovat tavoitteet khk-päästöjen vähentämiseksi ja uusiutuvan energian osuuden lisäämiseksi energiankäytöstä vuoteen 2020 mennessä. Tarkennetussa perusskenaariossa on lisäksi määritetty toimia, joiden tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja pienentää khk-päästöjä vuoden 2020 jälkeen ja samalla lisätä Suomen energiaomavaraisuutta ja ns. CleanTech-työpaikkoja.

Tarkasteltaessa Suomen energijärjestelmän kehitystä eli energian tuotantoa ja käyttöä eri sektoreilla voidaan todeta, että erot perus- ja tarkennetun perusskenaarion välillä ovat pienet. Esimerkiksi tarkennetun perusskenaarion korjausrakentamisen yhteydessä tehtävät toimet näkyvät vasta vuoden 2030 energian kulutuksessa varsin pienenä, 2,5 %:n erona kokonaiskulutuksessa. Tulokset antavat ymmärtää, että suuri osa korjausrakentamisen energiasäästötoimista on kannattavia jo perusskenaariossa, jolloin ero perusskenaarion ja tarkennetun perusskenaarion välillä on vähäinen.

Energiantuotantomuodoissa ja käytetyissä polttoaineissa eroja skenaarioiden välillä kuitenkin löytyy johtuen toisaalta biopolttoaineiden käytön lisäyksestä sekä toisaalta fossiilisten polttoaineiden käytön rajoituksista tarkennetussa perusskenaariossa. Tarkennetussa perusskenaariossa CHP-tuotannon kilpailukykyyn vaikuttavat sekä uusiutuvien energialähteiden lisäys tarkennetussa perusskenaariossa että rakennusten energiankulutuksen pieneneminen. Laskelmissa suurempi tuulivoiman kasvu leikkaa yhdyskuntien CHP-sähkön tuotantoa, mikä vaikuttaa myös kaukolämmön kilpailukykyyn lämmityssektorilla. Vaikutus on kuitenkin suhteellisen pieni verrattuna siihen, kuinka paljon oletettu uusi ydinvoimakapasiteetti (ks. Honkatukia et al. 2013) pienentää CHP-tuotantoa. Lisäksi tarkennetussa perusskenaariossa tuontipuun käyttö suurissa kaupungeissa korvaa hiilivoimaloita puupolttoainetta käyttävillä CHP-laitoksilla, kun taas muilla alueilla CHP:n suhteen erot perusskenaarioon verrattuna eivät ole suuria. Aiempien selvitysten mukaan kivihiilen käyttöä voidaan vähentää CHP-tuotannossa vuoteen 2015 mennessä

noin 6 TWh, joka oli lähtökohtana myös tässä selvityksessä. Mallilaskelmissa oletettiin, että investoinnit hiilen korvaamiseksi ovat kannattavat, mutta käytännössä kannattavuuteen ja siten laitosten halukkuuteen tehdä investointeja kivihiilen korvaamiseksi vaikuttavat olennaisesti kattilalle suunniteltu jäljellä oleva käyttöikä ja laitoksen vuotuinen käyttöaika. Lisäksi laitosten rikki- ja typenoksideja ja hiukaspäästöjä koskevat päästömääräykset kiristyvät vuodesta 2016 alkaen teollisuuspäästöjä koskevan direktiivin (EU 2010) mukaisesti, ja niiden täyttäminen edellyttäne useissa laitoksissa merkittäviä investointeja. Useimpien kaupunkien laitoksille onkin tehty vaihtoehtoisia suunnitelmia, kuten investoinnit monipolttoainekattiloihin. Tämä tuli esille myös energijärjestelmäskenaarioissa, eli suurissa kaupungeissa yhdyskuntajätettä hyödyntävät CHP-laitokset nousivat merkittävään asemaan.

Suurimmat erot perusskenaarion ja tarkennetun perusskenaarion välillä nähdään puunkäytössä ja biopolttoaineiden tuotannossa. Puun käyttö kasvaa tarkennetussa perusskenaariossa perusskenaarioon nähden yli 6 TWh vuonna 2020–2030. Tarkennetussa perusskenaariossa kotimainen biodieselin tuotanto korvaa tuotibiodieseliä ja vuonna 2030 Suomi on jo biodieselin nettoviejä.

Tarkennetussa perusskenaariossa puun kaasutuksen oletetaan tuottavan Suomen maakaasuverkkoon vuosittain noin 1,5 TWh synteesikaasua vuodesta 2020 lähtien. Tämä riittäisi asetettuun 10 %:n biokaasutavoitteen saavuttamiseen, sillä kaikissa skenaarioissa maakaasun kilpailukyky heikkenee merkittävästi. Maakaasumarkkinat ovat paraillaan muutosten kourissa, ja asiaa tulisikin tarkastella perusteellisemmin, mihin tämän hankkeen puitteissa ei ollut mahdollisuutta. Maakaasun tarkempi tarkastelu energiantuotannossa saattaa myös muuttaa skenaariotuloksia liittyen CHP-tuotannon kilpailukykyyn.

Esitetyillä lisätoimenpiteillä on vain vähäinen vaikutus Suomen kasvihuonekaasupäästöihin, sillä esimerkiksi liikennesektorilla lisätoimenpiteillä korvataan biojalosteiden tuontia, joskin liikenteen ajotapamuutokset vähentävät ei-päästökauppasektorin päästöjä noin 1,0 Mt. Vaikutukset näkyvät selvimmin päästökauppasektorilla, jossa fossiilisia polttoaineita korvataan uusiutuvilla. Päästökauppasektorilla tarkennetun perusskenaarion päästövähennys perusskenaarioon nähden jää alle 1,0 Mt:n vuonna 2030, sillä kivihiilen käytön rajoitus energiantuotannossa lisäsi sen käyttöä teollisuussektorilla, jossa vastaavasti puunkäyttö väheni. Lisäksi tarkennetussa perusskenaariossa turpeenkäyttö kasvoi perusskenaarioon verrattuna. Lisätoimenpiteiden vaikutus ei-päästökauppasektorin päästöihin vuonna 2030 jää hyvin vähäiseksi. Tämän perusteella on selvää, että uusia politiikkatoimia tullaan tarvitsemaan erityisesti päästökaupan ulkopuolella.

Kansantalouden vaikutusarvioissa investoinnit nousevat selvästi korkeammiksi tarkennetussa perusskenaariossa. Rakennuskannan investoinnit vaikuttavat kokonaisinvestointeihin suhteellisesti eniten, ja kun reilu kolmannes Suomen pääomakannasta on sitoutunut asuin- ja liikekiinteistöihin, on vaikutus koko kansantalouden tasolla huomattava. Perusskenaarioon verrattuna biopolttoaineiden jalostukseen tehtävät investoinnit ovat myös huomattavat ja vaikuttavat kansantalouteen merkittävästi. Tarkennetun perusskenaarion lisäinvestoinnit vaikuttavat myös kokonaistarjontaan. Osa kasvusta on peräisin työllisyyden lievästä paranemisesta,

mutta valtaosa johtuu pääomakannan kasvusta. Toisaalta, kun samanaikaisesti myös lisäinvestoinneista johtuva kokonaistarjonnan kasvu kohdistuu ennen kaikkea kotimarkkinasektoreihin, syntyy tilanne, jossa kansantuotteen kotimainen käyttö syrjäyttää vientiä, joka laskee perusskenaarioon verrattuna.

Investointien kasvu ja työllisyyden paraneminen lisäävät myös kotimaista kulutuskysyntää. Kulutuksen osalta jalostamoinvestointien vaikutus on suurempi kuin muiden investointien, koska jalostamoiden toiminta synnyttää lisäkysyntää esimerkiksi metsätalouteen ja nostaa siksi kotitalouksien tuloja laajemmin kuin investoinnit itsessään.

Arviomme olettaa, että energiasektorin ja rakennusten energiansäästön vaatimat lisäinvestoinnit toteutuvat ilman lisätukea. Biojalostamot sen sijaan vaativat tukea toteutuakseen, mikä näkyy julkisen säästämisen notkahduksena. Julkisen sektorin nettorahoitusasema ei kuitenkaan käänny negatiiviseksi tuista huolimatta. Tämä johtuu siitä, että kaiken kaikkiaan käynnissä olevat markkinaehtoiset ja tuetut investoinnit kasvattavat kotitalouksien ja yrityselämän tuloja ja nostavat siten myös verotuloja. Julkisen talouden rahoitusasemaa parantaa myös se, että pidemmällä tähtäimellä julkisen sektorin menot kasvavat kansantuotetta hitaammin.

Johtopäätöksenä sekä energiajärjestelmä- että kansantaloustarkasteluista voidaan todeta, että tarkennetun perusskenaarion kokonaisvaikutukset pitkällä aikavälillä voivat parantaa Suomen työllisyyttä ja energiaomavaraisuutta sekä nostaa kansantuotetta. Edellytyksenä on, että investoinnit voidaan toteuttaa markkinaehtoisesti, lukuun ottamatta ensimmäisiä biojalostamoita ja hiilen korvausta uusiutuville energialähteillä, jotka vaativat tukea investointien toteutumiseksi. Lisäksi edellytetään, että puuraaka-ainetta on saatavilla riittävästi kilpailukykyiseen hintaan. Näillä edellytyksillä myös energiansäästöillä on pikemminkin kansantaloutta kasvattava vaikutus kuin sitä heikentävä. Vaikutukset kansantalouteen syntyvät ennen kaikkea tarkennetun perusskenaarion vaatimien huomattavien investointien työllistävyydestä, mutta koska ne muuttavat monia toimialoja nykyistä pääomaintensiivisemmäksi, jäävät investoinnit pysyvästikin perusskenaariota korkeammalle tasolle. Työllisyyden kasvu sen sijaan alkaa tasoittua ajan mittaan. Kun lisäksi kansantuotteen kasvu kohdentuu kotimaiseen kysyntään, kansantalouden ulkoinen tasapaino heikkenee. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen esitetyillä lisätoimilla on vain vähäinen vaikutus, joten Suomen saattaminen vähähiiliselle polulle vaatii muita toimia tulevaisuudessa. Tarkennetulle perusskenaariolle asetetut tavoitteet näyttäisivät siten toteutuvan laskelmille astetuilla lähtöoletuksilla khk-päästöjen vähennystavoitetta lukuun ottamatta.

Kirjallisuusviitteet

- Aho, K., Matilainen, J. & Hekkanen, M. 2012. Energiakorjausten pitkäaikaistoimivuus asuinkeuhkoalassa. Oulun ammattikorkeakoulu.
- Ahokas, J. & Honkatukia, J. 2012. Suomen talouden rakenteellinen kehitys finanssi-kriisin jälkeen – kysyntä- ja tuotantorakenteiden muutos vuosina 2012–2030. VATT-tutkimuksia 169. http://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/t169.pdf.
- Airaksinen, M. & Vainio, T. 2012. Rakennuskannan korjaamisen ja kunnossapidon energiatehokkuustoimenpiteiden vaikuttavuuden arviointi energiansääs-tön, CO₂-ekv-päästöjen, kustannuksien ja kannattavuuden näkökulmista. Asiakasraportti VTT-CR-00426-12. VTT, Espoo.
- Euroopan komissio 2012. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the council amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. COM(2012) 595 final. Brussels, 17.10.2012. 2012/0288 (COD). http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/fuel/docs/com_2012_595_en.pdf.
- EU 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU, annettu 24 päivänä marraskuuta 2010, teollisuuden päästöistä (yhtenäistetty ympä-ristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen). Euroopan unionin virallinen lehti L334/17. 17.12.2010. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:fi:PDF>.
- Flyktman, M., Kärki, J., Hurskainen, M., Helynen, S. & Sipilä, K. 2011. Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa. VTT Tie-dotteita 2595. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2595.pdf>.
- Forsström, J., Pursiheimo, E., Kekkonen, V. & Honkatukia, J. 2010. Ydinvoima-hankkeiden periaatepäätökseen liittyvät energia- ja kansantaloudelliset selvitykset. VTT Working Papers 141. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W141.pdf>.
- Honkatukia, J., Koljonen, T. & Lehtilä, A. 2013. 30 prosentin vähennystavoitteeseen siirtymisen energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset. VATT-tutkimuksia 170. Helsinki. http://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/t170.pdf.
- IEA 2012. World Energy Outlook 2012. International Energy Agency, Pariisi.

- IEA 2013. Nordic Energy Technology Perspectives 2013. International Energy Agency, Pariisi. <http://www.iea.org/etp/nordic>.
- KIMU 2011. Rantama, M., Nieminen, J., Palonen, J., Kouhia, I., Marttila, M., Pylsy, P. & Virta, J. Kerrostalon ilmastomuutos – energiatalous ja sisäilmasto kuntoon "KIMU". Projektin yhteenveto. <http://www.teeparannus.fi/attachements/2011-10-24T20-16-3314846.pdf>.
- Koljonen, T. & Lehtilä, A. 2010. Chapter 20, Global climate challenge – a stimulant for a new Nordic Business. In: Rydén, B. (ed.). Towards a Sustainable Nordic Energy System. Mölndal, Sweden. <http://www.nordicenergy.org/huvudrapport.pdf>.
- Koljonen, T. & Similä, L. (toim.) 2012. Low Carbon Finland 2050. VTT clean energy technology strategies for society. VTT Visions 2. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2012/V2.pdf>.
- Koljonen, T., Ruska, M., Flyktman, M., Forström, J., Kiviluoma, J., Kirkinen, J., Lehtilä, A., & Pahkala, K. 2009. Energiaressurssit ja –markkinat. VTT Tiedotteita 2489. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2489.pdf>.
- Lehtilä, A., Syri, S. & Savolainen, I. 2008. Teknologiapolut 2050. Skenaariotarkastelu kasvihuonekaasupäästöjen syvien rajoittamistavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa. VTT Tiedotteita 2433. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2433.pdf>.
- Lehtinen, E., Nippala, E., Jaakkonen, L. & Nuuttinen H. 2005. Asuinrakennukset vuoteen 2025 Uudistuotannon ja perusparantamisen tarve. VTT, Tampere. http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2005/asuinrakennukset_vuoteen_2025.pdf.
- Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtilä, A. & Glodstein, G. 2005. Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP). <http://www.etsap.org/documentation.asp>.
- Loulou, R. & Labriet, M. 2007. ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure. Computational Management Science special issue on Energy and Environment 5 (1–2), s. 7–40.
- Pöyry 2012. Puupolttoaineen lisäysmahdollisuudet muuttuneessa toimintaympäristössä vuoteen 2020 ja 2030. Työ- ja elinkeinoministeriö. 15.11.2012. Loppuraportti 52X103480B.

- Ruddock, L. & Lopes, J. 2006. The construction sector and economic development: The 'Bon curve'. *Construction Management and Economics*, 24(7), s. 717–723.
- Ruska, M., Koljonen, T. & Koreneff, G. 2012. Fossiiliset polttoainevarat ja markkinat. VTT Technology 28. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T28.pdf>.
- Teir, S., Hetland, J., Lindeberg, E., Asbjørn, T., Buhr, K., Koljonen, T., Gode, J., Onarheim, K., Tjernshaugen, A., Arasto, A., Liljeberg, M., Lehtilä, A., Kujanpää, L. & Nieminen, M. 2010. Potential for carbon capture and storage (CCS) in the Nordic region. VTT Tiedotteita – Research Notes 2556. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2556.pdf>.
- Tilastokeskus 2012. Energiatilasto Vuosikirja 2011. Helsinki. http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluettelo/yene_enev_201100_2012_6164_net.pdf.
- Vainio, T., Jaakkonen, L., Nippala, E., Lehtinen, E. & Isaksson, K. 2002. Korjausrakentaminen 2000–2010. VTT Tiedotteita 2154. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2154.pdf>.
- Vainio, T., Belloni, K. & Jaakkonen, L. 2012. Asuntotuotanto 2030 – asuntotuotantotarpeeseen vaikuttavia tekijöitä, VTT Technology 2. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T2.pdf>.
- Virta, J. & Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Kiinteistöalan Kustannus Oy.

Nimeke	Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraportti
Tekijä(t)	Esa Pursiheimo, Tiina Koljonen, Juha Honkatukia, Antti Lehtilä, Miimu Airaksinen, Martti Flyktman, Kai Sipilä & Satu Helynen
Tiivistelmä	Tässä tutkimuksessa on arvioitu Suomen energia – ja ilmastostrategian päivityksen puitteissa määritettyjen lisätoimenpiteiden vaikutuksia Suomen energia- ja kansantalouteen. Työ pohjautuu aiempaan VATT:n (Valtion taloudellinen tutkimuskeskus) ja VTT:n selvitykseen ”30 prosentin vähennystavoitteeseen siirtymisen energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset”, jossa mm. laskettiin perusura (l. tässä raportissa nimeltään perusskenaario) Suomen talouden ja energiajärjestelmän kehityksille. Tarkennetun perusskenaarion lisätoimenpiteet sisältävät työ- ja elinkeinoministeriön puhtaan energian ohjelman asettamat tavoitteet, rakentamiseen liittyvät lisätoimet, liikenteeseen liittyvät lisätoimet, puupolttoaineen käyttöön liittyvät tavoitteet ja jätteenhuollon lisätoimet. Tarkasteltaessa Suomen energiajärjestelmän kehitystä eli energian tuotantoa ja käyttöä eri sektoreilla voidaan todeta, että erot perus- ja tarkennetun perusskenaarion välillä ovat pienet. Energiantuotantomuodoissa ja käytetyissä polttoaineissa eroja skenaarioiden välillä kuitenkin löytyy johtuen toisaalta biopolttoaineiden käytön lisäyksestä sekä fossiilisten polttoaineiden käytön rajoituksista tarkennetussa perusskenaariossa. Puun käyttö kasvaa tarkennetussa perusskenaariossa perusskenaarioon nähden yli 6 TWh vuonna 2020–2030. Tarkennetussa perusskenaariossa kotimainen biodieselin tuotanto korvaa tuontibiodieseliä, ja skenaariolaskelmien oletuksilla Suomi voisi olla biojalosteiden nettoviejä. Johtopäätöksenä sekä energiajärjestelmä- että kansantaloustarkasteluista voidaan todeta, että tarkennetun perusskenaarion kokonaisvaikutukset pitkällä aikavälillä voivat parantaa Suomen työllisyyttä ja energiaomavaraisuutta sekä nostaa kansantuloa. Edellytyksenä on, että investoinnit voidaan toteuttaa markkinaehtoisesti, lukuun ottamatta ensimmäisiä biojalostamoita ja hiilien korvausta uusiutuvilla energialähteillä, jotka vaativat tukea investointien toteutumiseksi. Lisäksi edellytetään, että puuraaka-ainetta on saatavilla riittävästi kilpailukykyiseen hintaan. Näillä edellytyksillä myös energiansäästöillä on pikemminkin kansantaloutta kasvattava kuin sitä heikentävä vaikutus. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen esitetyillä lisätoimilla on vain vähäinen vaikutus, joten Suomen saattaminen vähähiiliseen polulle vaatii muita toimia tulevaisuudessa. Tarkennetulle perusskenaariolle asetetut tavoitteet näyttäisivät siten toteutuvan laskelmille astetuilla lähtöoletuksilla kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitetta lukuun ottamatta.
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7928-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)
Julkaisu aika	Maaliskuu 2013
Kieli	Suomi
Sivumäärä	41 s.
Toimeksiantajat	Työ- ja elinkeinoministeriö
Avainsanat	Energy strategy, climate strategy, Finland, additional measures, biofuels, energy efficiency, greenhouse gas emissions, greenhouse gas reduction, coal
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen

Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraportti

ISBN 978-951-38-7928-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)

