

**TUTKIMUSRAPORTTI**

VTT-R-03704-14



# **Ydinvoimapäätösten energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset**

Kirjoittajat: Antti Lehtilä, Juha Honkatukia, Tiina Koljonen

Luottamuksellisuus: Julkinen

<b>Raportin nimi</b>		
Ydinvoimapäätösten energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset		
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b>		<b>Asiakkaan viite</b>
Työ- ja elinkeinoministeriö		
<b>Projektin nimi</b>		<b>Projektin numero/lyhytnimi</b>
Arvio Suomen sähkön kysynnän kehityksestä vuoteen 2035		VTT-V-87685-14/TEMSäKy
<b>Raportin laatijat</b>		<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b>
Antti Lehtilä, Juha Honkatukia, Tiina Koljonen		29/-
<b>Avainsanat</b>		<b>Raportin numero</b>
sähkön kysyntä, ydinvoimapäätökset, energiatalous, kansantalous		VTT-R-0370414
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Työssä on selvitetty ydinvoiman lisärakentamisen vaikutuksia Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Tarkasteluissa vertailtiin ydinvoiman lisärakentamista ns. vertailuskenaarioon, jossa uusia ydinvoimaloita ei rakenneta OL3:n valmistumisen jälkeen. Energiajärjestelmätarkasteluissa sähkön kysynnän kehitykselle käytettiin kolmea eri kehitysarviota, jotka eroavat toisistaan metsäteollisuuden ja kaivannaisteollisuuden tuotantomäärien sekä palvelujen sähköintensiivisyyden suhteen.</p> <p>Tarkastelluissa skenaarioissa sähkön kokonaiskulutus nousee 92 TWh:n tasolle vuonna 2020 ja noin 97–99 TWh:n määrään vuonna 2030. Kulutusarvio on siten pienempi kuin vuonna 2013 energia- ja ilmastostrategiassa arvioitu sähkönkulutus. Tämä johtuu osin uusista toimialakohtaisista kehitysarvioista, ja osin siitä, että tarkastelussa on mukana EU:n 2030-ilmasto- ja energiapaketti. Laskelmien mukaan lisäydinvoimaa koskevien suunnitelmien toteutuessa sähkötase osassa skenaarioita kääntyisi vientivoittoiseksi vuosina 2025–2030, mutta jo vuonna 2035 sähköä ei lisäydinvoimasta huolimatta enää riittäisi nettovientiin edes alemman kysyntäuran tapauksessa.</p> <p>Ydinvoiman lisärakentamisskenaario synnyttää merkittäviä lisäinvestointeja paitsi energiatoimialoille, myös rakentamiseen ja monille investointihyödykkeitä tuottaville toimialoille. Kansantaloudellisten vaikutusarvioiden perusteella investoinneista syntyvät lisätulot piristävät myös kulutuskysyntää. Laskelmien mukaan ydinvoimalainvestoinnit kasvattaisivat investointia vertailuskenaarioon verrattuna lähes 2 % ja kansantuotetta yli 0,5 % 2020-luvulla.</p>		
<b>Luottamuksellisuus</b>	Julkinen	
Espoo 13.8.2014		
<b>Laatija</b>	<b>Tarkastaja</b>	<b>Hyväksyjä</b>
Antti Lehtilä, johtava tutkija	Tiina Koljonen, tutkimustiimin päällikkö	Tuula Mäkinen, tutkimusalueen päällikkö
<b>VTT:n yhteystiedot</b>		
<b>Jakelu</b>		
Työ- ja elinkeinoministeriö, VTT, VATT		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

## Alkusanat

---

Raportissa on esitetty VTT:n laskemat arviot Suomen sähkön kysynnän kehityksestä vuoteen 2035 sekä VATT:n arviot ydinvoimahankkeiden vaikutuksista kansantalouteen. Työn tilaaja oli työ- ja elinkeinoministeriö. Hankkeen projektipäällikkönä toimi Tiina Koljonen VTT:ltä ja energiajärjestelmälaskelmista vastasi Antti Lehtilä VTT:ltä. VATT:n kansatalouslaskelmista vastasi Juha Honkatukia. Tutkimusta ohjasivat Pekka Tervo ja Bettina Lemström TEM:stä.

Espoo 13.8.2014

Tekijät

## Sisällysluettelo

---

Alkusanat .....	2
Sisällysluettelo .....	3
1. Johdanto.....	4
2. Skenaariot vuoteen 2035 .....	5
2.1 Tarkastelussa käytetty laskentamalli.....	5
2.2 Lähtöoletukset .....	6
2.2.1 Energia- ja ilmastopoliittika.....	6
2.2.2 Energian maailmanmarkkinahinnat .....	7
2.2.3 Sähkön kysynnän arviot.....	8
2.2.4 Kysynnän herkkyytstarkastelu.....	9
2.2.5 Tuotannon kehitysarviot.....	12
2.3 Tarkastellut skenaariot.....	14
3. Tulokset.....	16
3.1 Tulosten yleispiirteitä .....	16
3.2 Sähkön hankinta.....	17
3.3 Sähkön kulutus.....	20
3.4 Sähkön tasapainohinnan kehitys .....	21
3.5 Kasvihuonekaasujen päästöt .....	22
4. Energia- ja ilmastopoliittisen toimenpidekokonaisuuden vaikutukset kansantalouteen ....	23
5. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	26
Lähdeviitteet.....	28

## 1. Johdanto

---

Suomessa oli vuonna 2014 neljä toiminnassa olevaa ydinvoimalaitosta, Loviisa 1 ja 2 sekä Olkiluoto 1 ja 2. Laitosten kokonaisteho on 2750 MW ja vuotuinen kokonaistuotanto on vastannut keskimäärin 26 % sähkön kokonaishankinnasta. Viides voimalaitos, Olkiluoto 3, on rakenteilla, ja sen arvioidaan tulevan tuotantoon noin vuonna 2017. Tällöin ydinvoimalaitosten yhteenlaskettu teho nousee 4350 MW:iin.

Työ- ja elinkeinoministeriöön jätettiin vuosina 2008–2009 kolme periaatepäätöshakemusta (ns. PAP-hakemusta) koskien suunniteltuja uusia ydinvoimalaitosyksiköitä. Valtioneuvosto antoi toukokuussa 2010 periaatepäätöksen, jonka mukaan Teollisuuden Voima Oyj:n (TVO) ja Fennovoima Oy:n esittämät uusien ydinvoimalaitosten rakennushankkeet ovat yhteiskunnan kokonaisedun mukaisia.

Fennovoima jätti 4.3.2014 työ- ja elinkeinoministeriöön valtioneuvostolle osoitetun hakemuksen periaatepäätöksen täydentämisestä niiltä osin, kuin sen hanke oli vuonna 2010 annetun periaatepäätöksen jälkeen muuttunut. Olennaisin muutos oli suunnitellun reaktoriyksikön vaihtuminen.

TVO on toimittanut 20.5.2014 työ- ja elinkeinoministeriöön valtioneuvostolle osoitetun hakemuksen valtioneuvoston 6.5.2010 tekemän periaatepäätöksen (PAP) täydentämiseksi pyytämällä hallitusta asettamaan uuden määräajan Olkiluoto 4 -ydinvoimalaitosyksikön (OL4) rakentamisluvan hakemiselle. Täydennyslakemuksessaan TVO esittää, että periaatepäätöksen voimassaoloaikaa jatketaan viidellä vuodella.

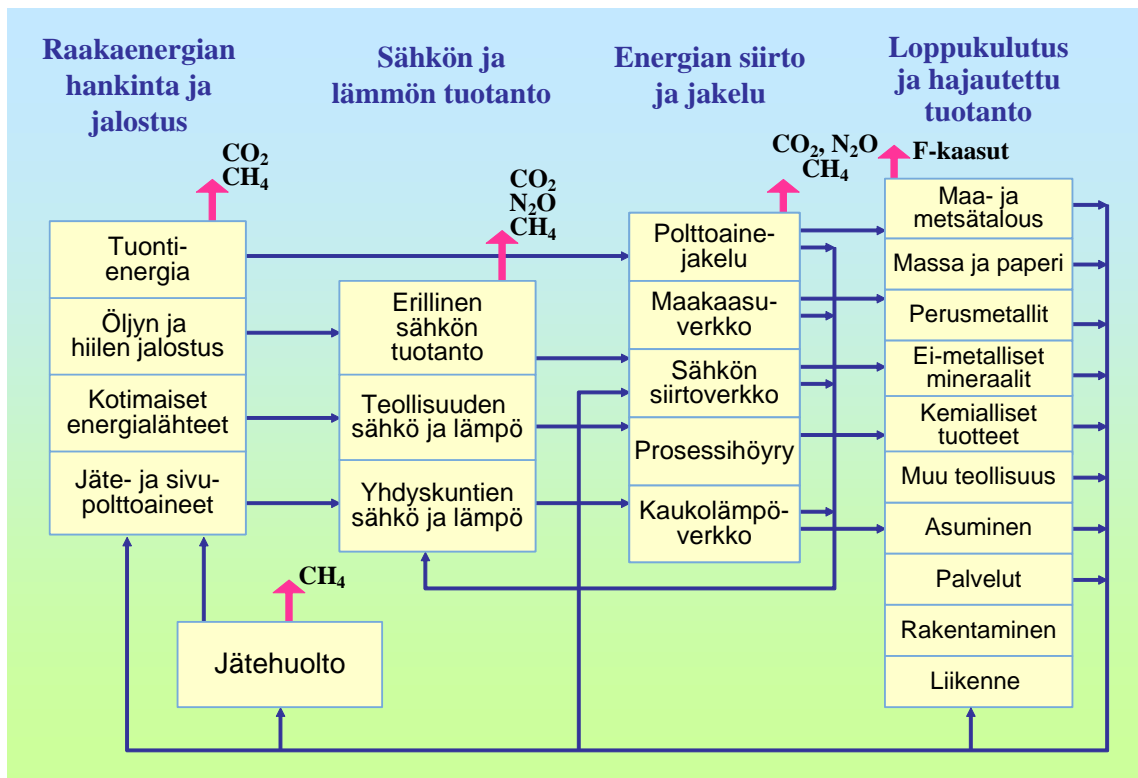
Fennovoiman ja TVO:n PAP-uusintakäsittelyn yhteydessä halutaan jälleen varmistua siitä, että hankkeet ovat yhteiskunnan kokonaisedun mukaisia. Tämä raportti pyrkii antamaan taustatietoa uusien ydinvoimalaitosten energia- ja kansantaloudellisista vaikutuksista. Raportti ei kuitenkaan ota kantaa siihen, ovatko uudet voimalaitokset yhteiskunnan kokonaisedun mukaisia.

VTT:n ja VATT:n laatima selvityskokonaisuus muodostuu kahdesta osasta. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan ydinvoiman lisärakentamisen vaikutuksia Suomen energiajärjestelmään, ja toisessa osassa sen vaikutuksia kansantalouteen. Ensin mainittu osa selvityksestä on laadittu VTT:llä ja jälkimmäinen osa VATT:ssa. VTT:n työssä tarkastellaan myös sähkön kysynnän kehitystä vuoteen 2035 asti. VTT:n ja VATT:n analyysit liittyvät toisiinsa siten, että energiajärjestelmäanalyysi tuottaa sähkönkysynnän ja hankinnan kehitysarviot sekä arvion sähkön pitkän aikavälin tasapainohinnan kehityksestä. Energiajärjestelmämallin tuloksia käytetään edelleen VATT:n tasapainomallissa kansantaloudellisten vaikutusten selvittämiseksi.

## 2. Skenaariot vuoteen 2035

### 2.1 Tarkastelussa käytetty laskentamalli

Analyyssissä käytetty laskentamalli perustuu IEA:n ETSAP-ohjelmassa kehitettyyn TIMES-mallinnusympäristöön (Loulou et al. 2005), jota on VTT:llä sovellettu Suomen ja muiden Pohjoismaiden energiajärjestelmien kuvaamiseen. Malli kuvaa koko energiajärjestelmän primaarienergian hankinnasta hyötyenergian kysyntään. Metodiikaltaan malli on niin sanottu osittaistasapainomalli, joka tuottaa kysynnän ja tarjonnan tasapainon kullekin mallissa kuvatulle energiahyödykkeelle. Lisäksi mallissa on kuvattu kattavasti kaikkien Kioton protokollaan sisältyvien kuuden kasvihuonekaasuun päästölähteet ja tärkeimmät päästöjen vähennystoimet. Mallin avulla voidaan tarkastella energiajärjestelmän pitkän aikavälin kehitystä erilaisissa skenaarioissa, joissa voidaan varioida oletuksia muun muassa talouskasvusta, energia- ja ympäristöpolitiikasta tai energiateknologian kehityksestä.



Kuva 1. TIMES-mallin rakenteen yksinkertaistettu periaatteellinen rakennekaavio.

Pitkällä aikavälillä erityyppisten voimalaitosten tuotantokapasiteetin tulisi kehittyä siten, että tuotantojärjestelmän rakenne olisi mahdollisimman edullinen kulutuksen määrän ja vaihteluiden kannalta. Perustuotantomuotojen laajentamista, sikäli kuin se ylipäättään on mahdollista, rajoittaa yleensä jokin sähköjärjestelmän ulkopuolinen tekijä. Esimerkiksi vesivoiman laajentamista rajoittavat luonnonolosuhteet ja koskien suojelemista koskeva lainsäädäntö, ja yhteistuotannon laajentamista rajoittaa lämpökuormien määrä.

VTT:n TIMES-järjestelmämallissa on kuvattu varsin kattavasti kaikki Suomen energiatalouden kannalta oleelliset sähköntuotantomuodot ja sellaiset tuotantotekniikat, joilla voidaan arvioida olevan merkitystä vuoteen 2050 mennessä. Yhteensä teknologiavaihtoehtoja on yli sata, ja jokaiselle tekniikalle on arvioitu myös sen teknis-

taloudellisen suorituskyvyn tuleva kehitys, niiden käyttämien energialähteiden potentiaalit ja kustannukset sekä markkinaosuuksia koskevat rajoitukset.

Energiajärjestelmätarkastelussa otetaan huomioon koko energiajärjestelmä ja sen kehitystä rajoittavat tekijät. Laskentamalli ottaa huomioon eri energialähteet, energian tuotanto-tekniikat ja muuntoprosessit, energian siirron ja jakelun sekä kaikkien energiaa käyttävien sektorien loppukäyttökohteet. Järjestelmämallitarkastelujen vahvuus on juuri siinä, että ne ottavat huomioon energiajärjestelmän osien väliset vuorovaikutukset siten, että kokonaisuus toimii järkevästi. Millä tahansa sektorilla tapahtuvat muutokset heijastuvat vuorovaikutusten kautta koko energiatalouteen ja tulevat huomioon otetuiksi.

Energiajärjestelmämallissa ei siis tarkastella pelkästään sähkön tuotantovaihtoehtoja vaan niiden rinnalla ja samanarvoisina käsitellään energian käytön tehostamisen investointeja. Kullakin energiaa käyttävälle sektorilla mallissa on määritelty joukko erilaisia teknologiavaihtoehtoja kussakin toimialan tärkeimmistä energian käyttökohteista. Uutta, tehokkaampaa teknologiaa otetaan käyttöön sitä mukaa, kun energian käytön tehostaminen tulee niiden avulla vanhaa tekniikkaa edullisemmaksi. Energiajärjestelmämalleilla on pyrkimys edistää energian säästötoimenpiteitä todellisuutta voimakkaammin. Tämä johtuu siitä, että mallissa säästötoimet asettuvat tuotantoinvestointien rinnalle samanveroisina ja mallin ”pääöksentekijöillä” on käytössään täydellinen informaatio. Tosielämässä säästötoimien toteutumiselle on erilaisia esteitä, muun muassa tiedon puutetta, kilpailevia hankkeita sekä erilaisia ns. transaktiokustannuksia, jotka vaikuttavat säästötoimien toteutukseen.

Käytetyssä laskentamallissa on kuvattu suuri joukko energian loppukäytön tekniikka-vaihtoehtoja teollisuuden toimialoilla, palveluissa, kotitalouksissa, rakennusten lämmityksessä, maataloudessa ja liikenteessä. Mallissa voidaan kuvata myös hyötyenergian kysynnän joustot oman hintansa suhteen, mutta tässä työssä näitä joustoja ei ole käsitelty. Työssä tarkastelluissa skenaariolaskelmissa on kuitenkin mukana sähkön kysynnän jousto siltä osin, kun se perustuu esimerkiksi sähkön käytön tehostamiseen teknologiavalintojen avulla.

## 2.2 Lähtöoletukset

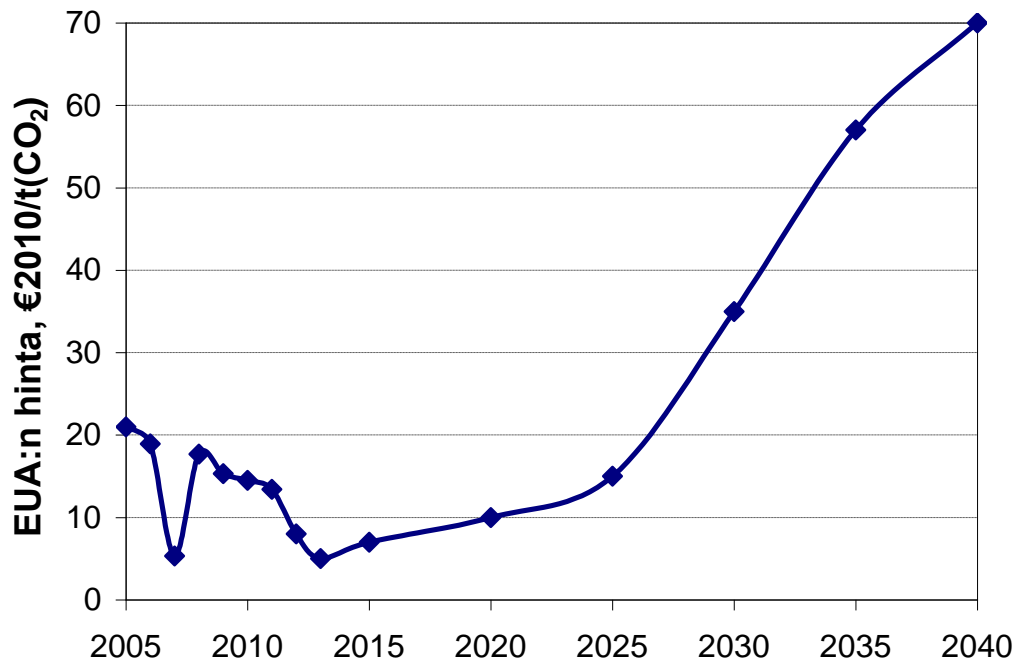
### 2.2.1 Energia- ja ilmastopoliittikka

Järjestelmämallissa on otettu huomioon nykyiset energiaverot ja -tuet sekä EU:n 20/20/20-politiikan kasvihuonekaasujen päästöjä koskevat tavoitteet. Energiatavoitteita, kuten RES-direktiivin vaatimuksien mukaista uusiutuvien energiamuotojen loppukäyttötavoitetta (i. 38 % vuonna 2020), ei ole sellaisenaan mallinnettu, vaan uusiutuvan energian osalta skenaariolaskelmissa on asetettu seuraavat vähimmäistavoitteet:

- Tuulivoiman tuotanto 6 TWh vuonna 2020 ja 9 TWh vuonna 2030;
- Metsähakkeen kokonaiskäyttö vuonna 2020 25 TWh;
- Asuin- ja palvelurakennusten lämpöpumppujen tuottama uusiutuva energia vähintään 6 TWh vuonna 2020.

Tarkastelluissa skenaarioissa pyritään lisäksi simuloimaan Euroopan komission helmikuussa 2014 julkaiseman EU:n 2030 ilmasto- ja energiapoliittisia tavoitteita koskevan toimenpidepaketin vaikutuksia Suomelle. Toimenpidepaketin seuraukset voidaan jakaa päästökauppasektorille ja ei-päästökauppasektorille kohdistuviin vaikutuksiin.





Kuva 2. Päästöoikeuksien yksikköhinnan eli EUA:n hinnan oletettu kehitys EU:n päästökauppajärjestelmässä vuoteen 2040.

Päästökauppa- ja ei-päästökauppasektoreita koskeva EU:n ilmastopolitiikka on mallinnettu olettamalla päästöoikeuden hinnan kehittyvän komission arvioiden mukaisesti, ja asettamalla ei-päästökauppasektoreiden kasviuonekaasujen päästöille katto Suomen kansallisten tavoitteiden mukaisesti. Tässä tutkimuksessa Suomen tavoitteeksi vuodelle 2030 ei-päästökauppasektoreiden päästöille on oletettu 32 %:n vähennys vuoden 2005 tasosta. EU:n komission arvioima päästöoikeuksien hinnan kehitys on havainnollistettu kuvassa 2.

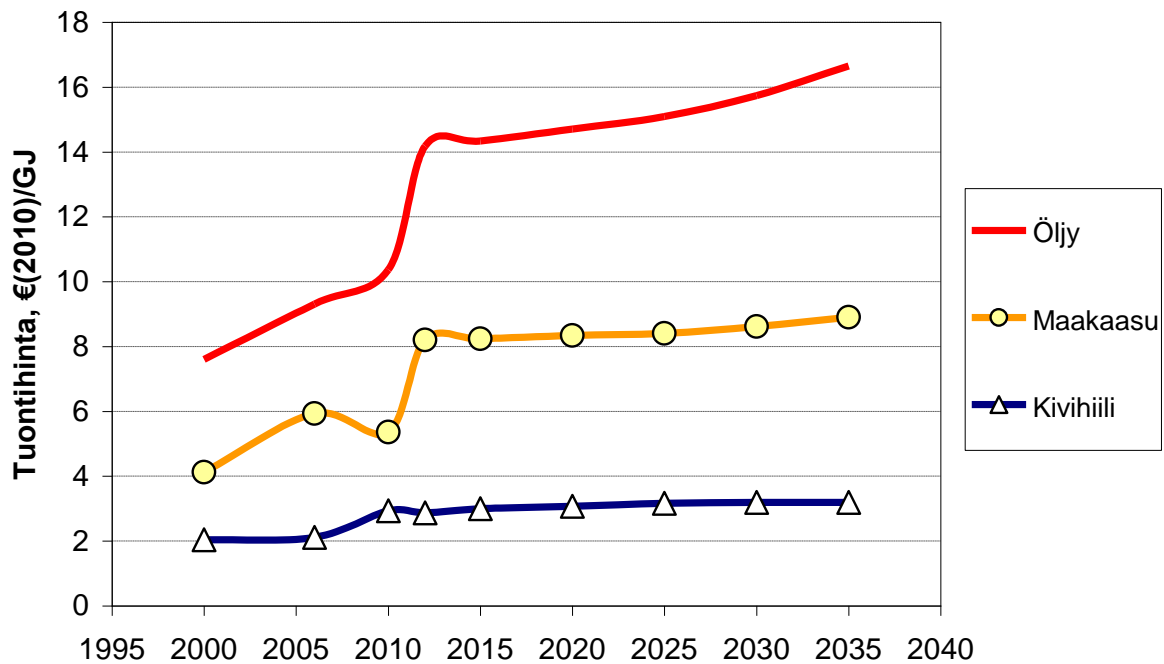
Päästökauppasektorin osalta EU:n 2030-toimenpidepaketti tulee kiristämään päästöoikeuksien määrää, jonka seurauksena päästöoikeuksien hinnan arvioidaan nousevan tuntuvasti vuoden 2020 jälkeen. Työssä käytetty hinnan kehitysarvio perustuu komission Trends to 2050 -selvityksen *EU Reference Scenario 2013* -skenaarioon (EC 2013). Skenaarion mukaan päästöoikeuden hinta nousee vuonna 2030 keskimäärin 35 euroon ja vuonna 2035 jo 57 euroon.

### 2.2.2 Energian maailmanmarkkinahinnat

Käytetyssä laskentamallissa polttoaineiden hinnat muodostuvat mallin ratkaisun yhteydessä (l. endogeenisesti) kysynnän ja tarjonnan tasapainoehtojen mukaisesti. Mallin primaarienergian tuotannon tarjontakäyrät (öljyn, kaasun, ja kivihiilen tuotantokustannuskäyrät) on kuitenkin pyritty kalibroimaan siten, että hinnat kehittyvät suunnilleen IEA:n esittämien arvioiden mukaisesti.

Oheisessa kuvassa 3 on esitetty IEA:n Word Energy Outlook -raportin oletusten mukainen keskeisten tuontipolttoaineiden hintojen kehitys Euroopassa (IEA 2013). Kuten kuvasta voidaan nähdä, IEA olettaa öljyn, maakaasun ja kivihiilen hintojen muutokset varsin maltillisiksi. Myös kaikkien kotimaisten polttoaineiden hinnat ovat mallissa periaatteessa endogeenisia, eli laskennallisia arvioita. Polttoturpeen hinta on kuitenkin käytännössä syötetty malliin, sillä sille on määritelty vain yksi tuotantoteknologia, jonka kustannusten ei oleteta muuttuvan reaalisesti nykytasosta. Metsähakkeen tuotantopotentiali on jaettu mallissa kuuteen kustannuksiltaan erilaiseen eri jakeeseen, joita hyödynnetään edullisuusjärjestyksessä.





Kuva 3. Polttoaineiden maailmanmarkkinahintojen kehitys IEA:n mukaan.

### 2.2.3 Sähkön kysynnän arviot

Tarkastelussa tehdyissä mallilaskelmissa sähkön kysynnän perusarvio, eli perusura, muodostettiin käyttäen lähtökohtana vuoden 2013 energia- ja ilmastostrategian perusskenaariota, jota on päivitetty mm. uusimmilla lyhyen aikavälin talousennusteilla. Merkittävin ero on kaivannaisteollisuuden tuotannon ja sähkönkulutuksen kehityksessä, joka perustuu Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) uusiin arvioihin (GTK 2014).

Mallissa kuvattujen varsinaisten kysyntöjen kehityksen lisäksi kaikilla toimialoilla sähkön kysyntään vaikuttavat merkittävästi myös tulevaisuuden teknologiavalinnat niin teollisuuden prosesseissa kuin vaikkapa henkilöautoliikenteessä. Pitkäaikainen trendi on ollut energian kulutuksen sähköistyminen useimmilla toimialoilla. Käytetyssä laskentamallissa teknologiavalinnat ovat suurelta osin endogeenisiä, ja kussakin käyttökohteessa valinnat perustuvat eri tekniikoiden taloudelliseen kilpailukykyyn tarkastellussa politiikkaskenaariossa. Kuten edellä mainittiin, malli sisältää laajan teknologiatietokannan, joiden tietoaineisto on kerätty lukuisista eri kotimaisista ja ulkomaisista lähteistä. Oletettu ilmastopolitiikka vaikuttaa uusien tekniikoiden taloudelliseen kilpailukykyyn sekä suoraan, päästöoikeuksien hinnan kautta, että epäsuorasti, politiikkaan sisältyvien tavoitteiden kautta. Esimerkiksi ei-päästökauppasektoreille asetettu päästötavoite parantaa epäsuorasti uusien ajoneuvotekniikoiden kilpailukykyä, kun malli etsii edullisimmat keinot tavoitteen saavuttamiseksi.

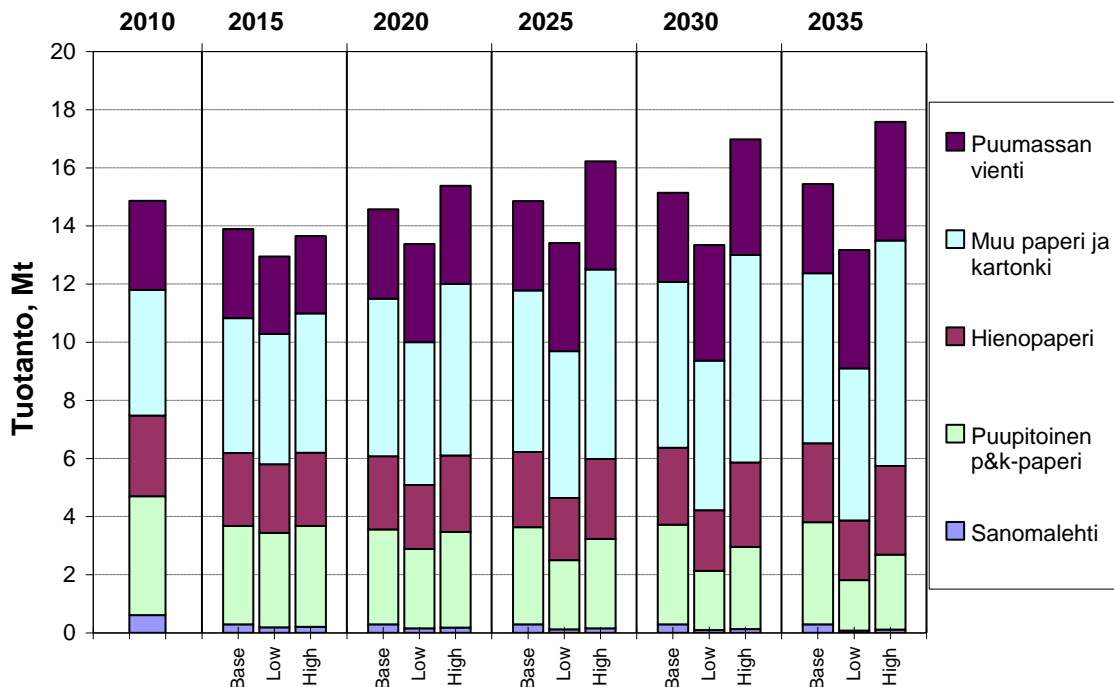
Kysynnän kehityksen epävarmuuksien vaikutusten selvittämiseksi muodostettiin lisäksi perusuraa hitaamman ja nopeamman kasvun kehitysarviot muutamalle tärkeimmistä sähkön kulutukseen vaikuttavista toimialoista. Näiksi toimialoiksi valittiin massan ja paperin valmistus, kaivannaisteollisuus ja palvelut, joiden vaihtoehtoisia kehitysarvioita kuvataan tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

## 2.2.4 Kysynnän herkkyytarkastelu

**Metsäteollisuus**

Metsäteollisuuden rakennemuutos on vähentänyt Suomen sähkönkulutusta merkittävästi uralta, jolla kulutus oli ennen vuosien 2008–2014 talouslamaa. Vaikka alan tuotannon kehitysnäkymissä on runsaasti epävarmuustekijöitä, massa- ja paperiteollisuus tulee arvioiden mukaan pysymään sähköntarpeeltaan keskeisimpänä teollisuuden toimialana ainakin vuoteen 2040 saakka.

Työssä tarkasteltiin kemiallisen metsäteollisuuden tuotannon kehittymisestä kolmea erilaista kehitysuraa (*Base*, *Low* ja *High*). Tuotannon kehityksen perusurassa (*Base*<sup>1</sup>) massa- ja paperiteollisuuden tuotantorakenne ja -kapasiteetit vastaavat nykytilanteen rakennetta ja kapasiteetteja, kun taas muut kaksi kehitysuraa (*Low* ja *High*) perustuvat Pöyryn työ- ja elinkeinoministeriölle laatimaan katsaukseen. Tuotannon perusuraskenaariossa (*Base*) massan ja paperin kokonaistuotanto palautuu vuoteen 2020 mennessä lähes vuoden 2010 tasolle, ja sen jälkeen tuotanto kasvaa hyvin hitaasti seuraavien vuosikymmenten ajan, siten että vuonna 2035 paperin ja kartongin tuotanto on 12,4 miljoonaa tonnia. Alemmassa tuotannon kehitysurassa (*Low*) kokonaistuotanto jää vuonna 2020 suunnilleen vuoden 2015 tasolle, ja jatkaa laskuaan tämän jälkeen. Vuonna 2035 paperin ja kartongin tuotanto on tässä skenaariossa enää 9,1 miljoonaa tonnia. Ylemmässä kehitysurassa (*High*) kokonaistuotanto ylittää jo vuonna 2020 vuoden 2010 tason, ja ripeämpi kasvu jatkuu vuoteen 2035 saakka, jolloin paperin ja kartongin tuotanto on 13,5 miljoonaa tonnia. Myös vientimassan tuotannon oletetaan kasvavan huomattavasti sekä perusuraskenaariossa että ylemmässä (*High*) tuotantoskenaariossa. Skenaarioiden tuotantomäärien eroja on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Massan ja paperin tuotannon oletettu kehittyminen tarkastelluissa skenaarioissa. Base-skenaarioiden tuotanto on sama kuin Mid-skenaariossa (vrt. Taulukko 1).

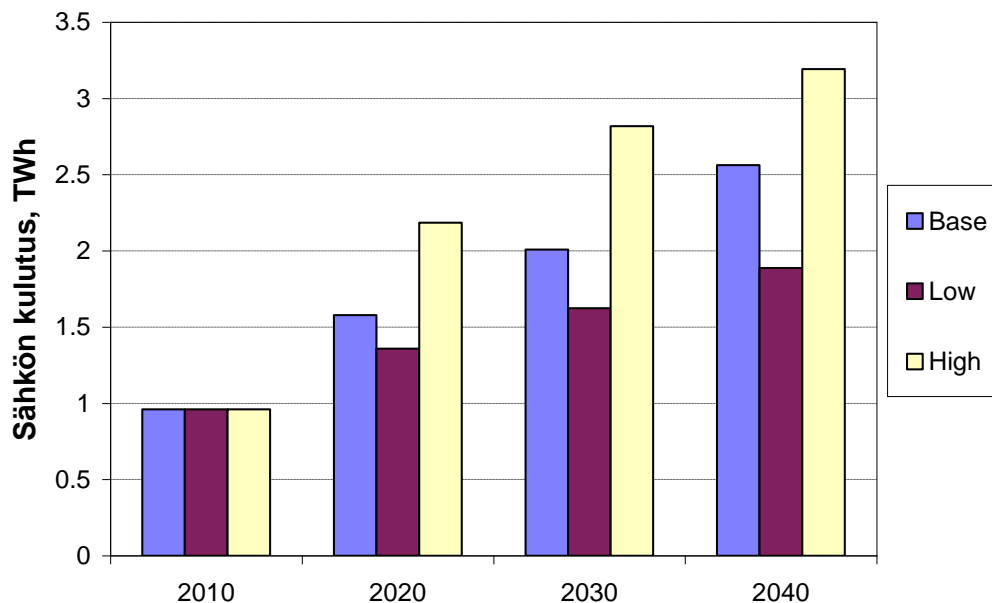
<sup>1</sup> Base-skenaario vastaa ns. "perusskenaariota", johon on sisällytetty nykytiedon mukaiset teollisuustuotannon kehitysarviot. Tässä työssä Base- ja Mid-skenaarioissa (vrt. taulukko 1) on oletettu samat tuotannon volyymit, mutta skenaariot poikkeavat oletetun ydinvoimakapasiteetin osalta.

Kemiallisen metsäteollisuuden sähkönkulutus eri skenaarioissa määräytyy laskentamallissa eri tuotteiden tuotantoprosessien ominaiskulutusten kautta. Malli sisältää myös uusia, energiatehokkaampia prosessivaihtoehtoja muun muassa mekaanisen massan valmistukseen. Vanhan tuotantokapasiteetin poistuessa käytöstä uutta teknologiaa otetaan mallissa käyttöön sitä mukaa, kun se tulee taloudellisesti kilpailukykyiseksi.

### Kaivannaistoiminta

Viimeisen kymmenen vuoden aikana kaivannaistoiminnan (pois lukien turpeen nosto) sähkön kulutus on kasvanut kaikista teollisuudenaloista voimakkaimmin. Kun toimialan sähkön kulutus oli vuonna 2004 vielä 0,6 TWh, se oli vuonna 2012 jo 1,4 TWh. Julkaistujen arvioiden mukaan Suomen mineraalivarojen kaupallinen hyödyntäminen voi edelleen laajentua merkittävästi lähivuosikymmenten aikana, mikä merkitsisi sähkön kulutuksen tuntuvaan kasvun jatkumista (ks. esim. Tuusjärvi & al. 2013). Energian kulutuksen kannalta viime vuosikymmenten huomattavin kaivoshanke on ollut Talvivaara, jonka tuotannon tulevaan kehitykseen liittyy merkittävää epävarmuutta.

Käyttäen lähtökohtana GTK:n laatimia tuotantoskenaarioita, työssä käytettiin kaivannaisteollisuuden sähkön kulutukselle kolmea eri kehitysuraa (*Base*, *Low* ja *High*), joita on havainnollistettu kuvassa 5. Vaikka nopeimman kasvun skenaariossa (*High*) sähkön kulutus kaivannaisteollisuudessa kasvaa lähes 300 % vuosina 2010–2030, kasvu jää kuitenkin selvästi pienemmäksi kuin GTK:n vuonna 2013 laatimassa perusarviossa ja merkittävästi pienemmäksi kuin GTK:n laatimassa maksimiskenaariossa (Tuusjärvi & al. 2013).

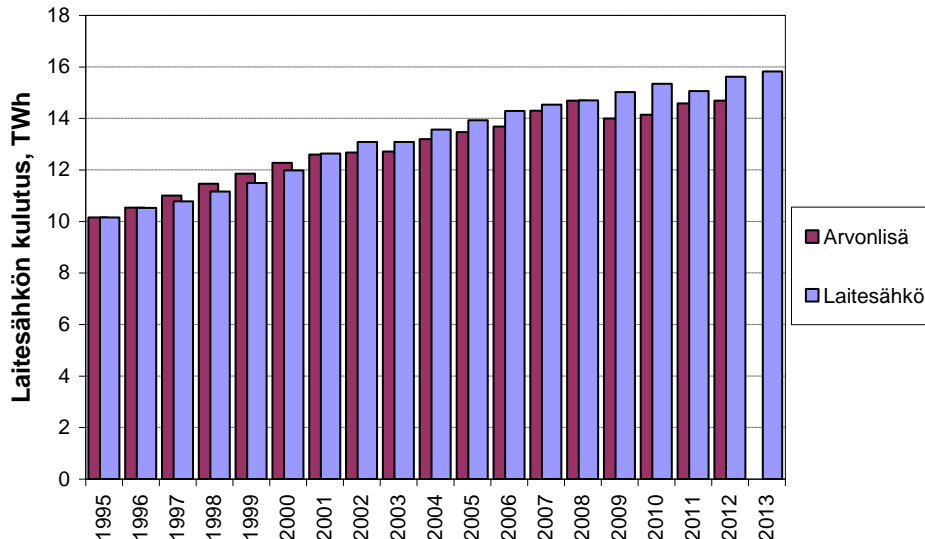


Kuva 5. Kaivannaistoiminnan (pois lukien turpeen nosto ja muokkaus) sähkön kulutuksen kehitysarviot tarkastelluissa skenaarioissa. Base-skenaariion tuotanto on sama kuin Mid-skenaariossa (vrt. Taulukko 1).

### Palveluiden sähkönkäyttö

Suomen sähkön kulutuksen kehityksessä on ollut merkille pantavaa palvelujen laitesähkön kulutuksen (valaistus ja sähkölaitteet mutta ei lämmitys) kasvun seuraaminen melko läheisesti palvelujen arvonlisän kehitystä. Tätä on havainnollistettu kuvassa 6, jossa arvonlisä on skaalattu siten, että pylväät ovat samankorkuisia vuonna 1995.

Monissa tulevaisuuden kehitysarvioissa on oletettu, että kytkentä talouskasvun ja sähkön kulutuksen välillä voisi heikentyä merkittävästi myös palveluissa, kuten monilla muilla toimialoilla on tapahtunutkin. Koska tästä ei kuitenkaan ole ollut vielä Suomessa selviä merkkejä, voidaan palvelujen sähkönkulutuksen kehitysarvioita pitää yhtenä suurimpia epävarmuuksia sisältävänä osana sähkön kokonaiskulutuksessa.

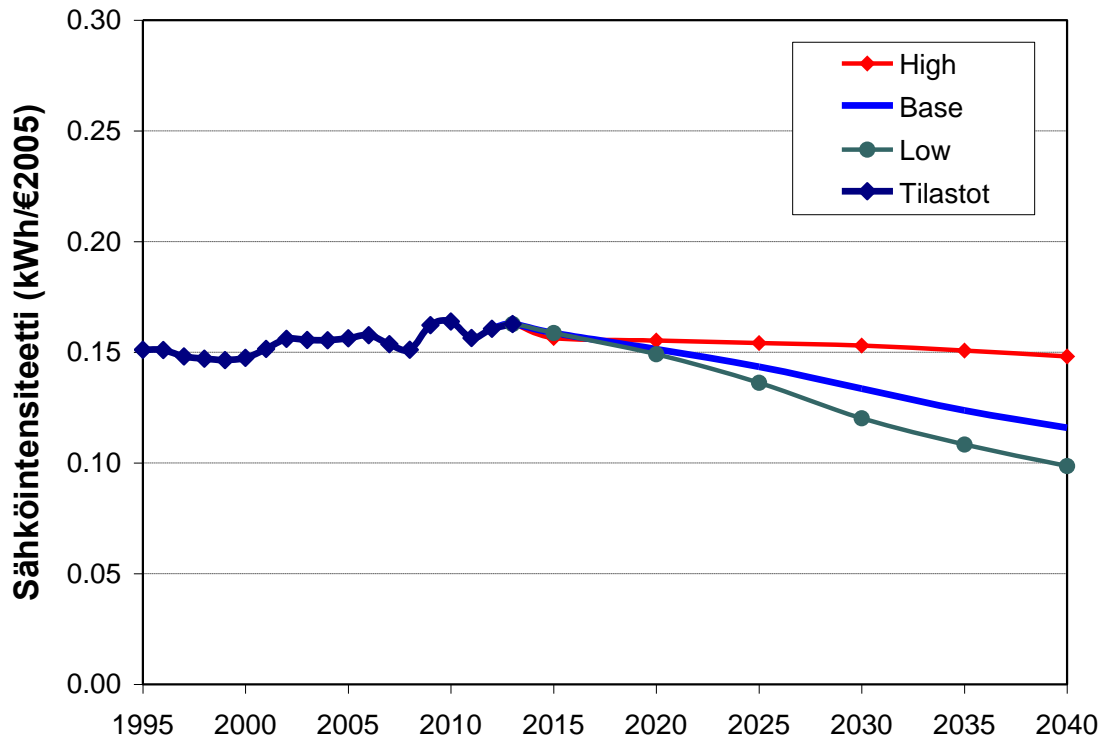


Kuva 6. Palveluiden laitesähkön kulutuksen ja arvonlisän kehitys 1995–2040 (skaalattu siten että vuoden 1995 arvonlisä = vuoden 1995 sähkön kulutus).

Palvelusähkön kysynnän epävarmuuksien ottamiseksi huomioon palvelujen laitesähkön kulutukselle muodostettiin kolme eri kehitysuraa (*Base*, *Low*, *High*). Näistä perusurassa (*Base*) laitesähkön loppukäyttökohteiden hyötyenergian kysyntä on kalibroitu siten, että sähkön kulutus vastaa energia- ja ilmastostrategian perusskenaariota, joka huomioi nykypolitiikan (TEM 2013). Alemmassa kysynnän kehitysurassa (*Low*) arvonlisään suhteutettu sähkön kulutus vuonna 2030 on 10 % pienempi kuin perusurassa, ja ylemmässä kysynnän kehitysurassa (*High*) se on puolestaan 15 % suurempi. Vuonna 2040 vastaavat erot perusuraan verrattuna kasvavat hieman suuremmiksi ja ovat noin –15 % ja +25 %.

Muodostettuja palvelusähkön kysyntäskenaarioita on havainnollistettu kuvassa 7, jossa on esitetty skenaario-oletusten mukainen sähköintensiteetin kehitys (sähkön kulutus / arvonlisä) vuoteen 2040. Kuten kuvasta voidaan nähdä, ylemmässä kysyntäskenaariossa intensiteetti pienenee hitaasti suunnilleen jakson 1995–2013 minimitasolle, kun taas alemmassa kysyntäskenaariossa intensiteetti pienenee lähes 40 % vuoden 2012–2013 tasosta.

Kysyntäskenaarioiden poikkeamien on arvioitu kohdistuvan eri loppukulutuskohteisiin tasaisesti siten, että esimerkiksi ylemmässä kehitysurassa kaikkien kulutuskohteiden (valaistus, kylmälaitteet, toimistotekniikka, ilmanvaihto, jne.) kysyntä eroaa perusurasta samalla kertoimella. Kysyntäskenaarioilla ei siten ole itsessään vaikutusta palvelujen sähkönkulutuksen kuormituskäyrän muotoon.



Kuva 7. Palveluiden laitesähkön kulutuksen intensiteetti jalostusarvoon nähden vuosina 1995–2013 sekä tulevaisuuden kehitysarviot vuoteen 2040.

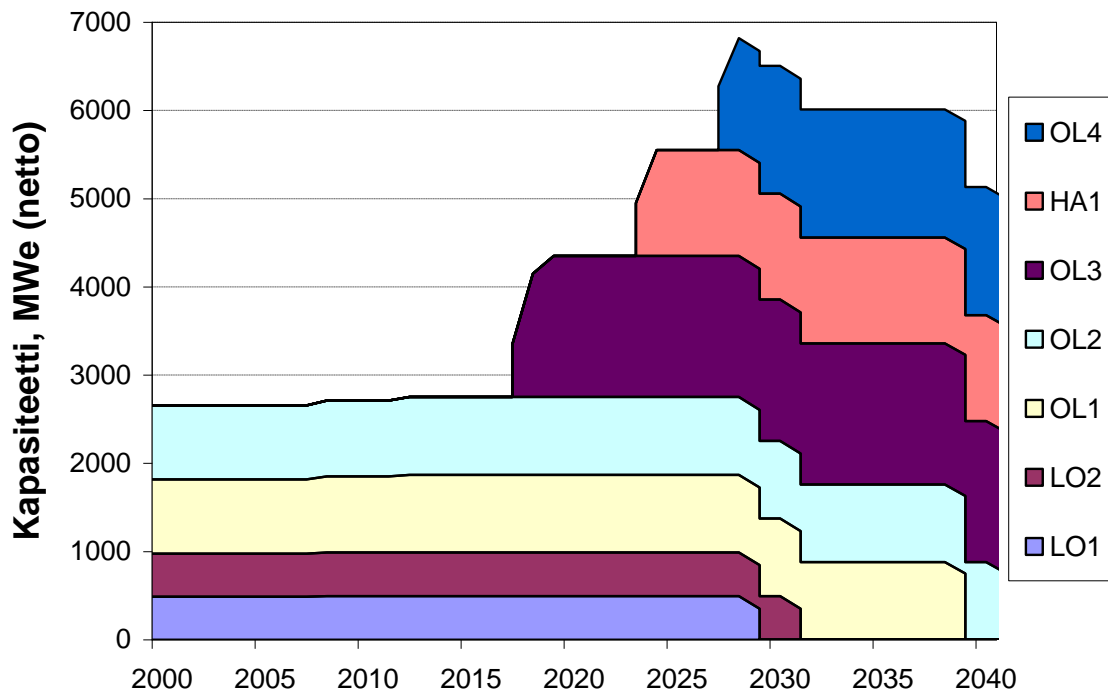
## 2.2.5 Tuotannon kehitysarviot

### Ydinvoima

Periaatepäätöshakemusten mukaisen lisäydinvoiman rakentamisen vaikutusten selvittäminen oli työn keskeinen tavoite. Kyseenä olevat uudet voimalaitokset ovat Fennovoima Oy:n suunnittelema Hanhikivi 1 -voimalaitos (1200 MW) sekä TVO:n suunnittelema Olkiluoto 4 -voimalaitos (1450 MW).

Uusien laitosten vaikutusten analysoimiseksi työssä tarkastellaan vertailuskenaariona tapausta, jossa kumpaakaan esitettyä uutta voimalaitosta ei rakenneta, ja kysyntä kehittyy esitetyn perusuran mukaisesti. Vertailuskenaarion rinnalla tarkastellaan kolmessa eri kysyntäskenaariossa tapausta, jossa kumpikin uusi voimalaitos puolestaan toteutetaan.

Kuvassa 8 on havainnollistettu Suomen koko käytettävissä olevan ydinvoimakapasiteetin kehitys vuoteen 2040, jos suunnitellut uudet laitokset toteutuvat. Vertailuskenaarion mukainen kehitys saadaan poistamalla kaaviosta HA1- ja OL4-voimalaitokset.



Kuva 8. Ydinvoimakapasiteetin kehitys tarkastelluissa skenaarioissa. Uusien laitosten, HA1 ja OL4 ei oleteta toteutuvan vertailu- eli Base-skenaariossa.

## Vesivoima

Vesivoiman olemassa olevan tuotantokapasiteetin on oletettu pysyvän käytössä koko tarkasteluhorisontin ajan. Uuden vesivoiman rakentamispotentiaalia on Suomessa edelleen, mutta taloudellisesti kannattaviksi arvioitujen kohteiden potentiaali on verraten pieni. Näiden lisäksi laskentamallissa on oletettu myös minivesivoiman lisärakentamispotentiaalia, mutta se tulee kilpailukykyiseksi vasta sähkön hinnan noustessa riittävästi. Kannattavan lisärakentamiskohteiden hyödyntämisen myötä kokonaistuotantopotentiaalin on oletettu olevan noin vajaat 14,5 TWh ja enimmäispotentiaalin noin 16 TWh vuonna 2030.

## Tuulivoima

Tuulivoiman tuotantopotentiaali Suomessa on jaettu laskentamallissa kymmeneen eri luokkaan. Tuulivoiman kokonaistuotannon lisäystahdille ei mallissa ole alle 20 %:n osuuksilla käytännössä muuta rajoitusta kuin näiden eri tuuliluokkien potentiaalit sekä reservikapasiteetin lisätarpeen aiheuttamat lisäkustannukset. Mallissa huomioon otettu tuulivoiman potentiaali Suomessa on noin 30 TWh vuonna 2040. Koska syöttötariffin mekanismia ei voida laskentamallissa kuvata oikein, sen sijasta mallissa on oletettu tuulivoiman vähimmäistuotannoksi vuonna 2020 tavoitteiden mukaiset 6 TWh, ja viimeistään vuonna 2030 tuotannon on nouseva 9 TWh:in.

## Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto on luonteeltaan perustuotantoa, jonka määrää ei voi ohjata vapaasti. Yhteistuotannon määrä on sidottu pääosin kaukolämmön ja teollisuuden prosessihöyryn tarpeeseen, mutta suurissa asutuskeskuksissa myös jossain määrin kaukojäähdytyksen kulutukseen. Laskentamallissa Suomen kaukolämmön kysyntä on jaettu alueellisesti erityyppisiin kaukolämpöverkkoihin, joiden yhteistuotantokapasiteettia voidaan lisätä investoimalla kokoluokaltaan ja polttoainehuolloltaan kullekin alueelle ominaisiin laitostyyppihin.

Investoinnit uuteen yhteistuotantokapasiteettiin määräytyvät mallissa varsin vapaasti taloudellisin perustein niin yhdyskuntien tuotannossa kuin teollisuudessa. Sähkön ja lämmön yhteistuotantoa näin ollen laajennetaan tai supistetaan kilpailukyvyyn mukaan. Myös kaukolämpöverkoston investoinnit on otettu mallissa huomioon, mutta olemassa olevien verkostojen on oletettu vanhenevan varsin hitaasti, jolloin yhteistuotannon tason säilyttäminen vuoteen 2035 ei edellytä suuria investointeja verkoston uusimiseen.

### **Erillinen lämpövoima**

Konventionaalinen lauhdevoima ja vain sähköä tuottavat moottorivoimalaitokset ovat Suomessa pääosin täydentäviä tuotantomuotoja, jotka säädettävän vesivoiman ohella huolehtivat tuotannon ja kulutuksen tasapainosta. Uuden hiililauhdevoiman rakentaminen on suljettu pois mallin investointivaihtoehdoista, ellei laitos sisällä hiilidioksidin talteenottoa (CCS). Laskelmissa CCS:n oletetaan kuitenkin kaupallistuvan vasta 2030-luvulla. Muihin energialähteisiin perustuvaa erillistä lämpövoimaa ei ole mallissa rajoitettu.

### **Sähkön nettotuonti**

Suomen vuotuisen sähkön nettotuonnin enimmäistasoksi on oletettu 15 TWh vuodesta 2020 lähtien. Vuotuiselle kokonaistuonnille sen sijaan ei ollut asetettu rajoitusta.

## **2.3 Tarkastellut skenaariot**

Energian kulutuksen vaikuttavia keskeisiä tekijöitä ovat talouden kasvun ja rakenteen kehitys, primaarienergiälähteiden hintojen kehitys sekä teknologian kehittyminen ja sen vaikutus niin tuotetun energian hintoihin kuin energian käytön tehokkuuteen. Kuten yllä on kuvattu, tässä työssä sähköenergian kysynnän kehityksen perusarvio pohjautuu suurelta osin energia- ja ilmastostrategian perusskenaarioon (TEM 2013), jota on päivitetty uusimmilla lyhyen aikavälin talousennusteilla. Kysynnän kehityksen perusura muodostaa lähtökohdan työssä tehtäville laskelmille.

Kysynnän perusura-arvion on kuitenkin arvioitu pätevän vain nykypolitiikan vallitessa. Kun tarkastellaan EU-2030-paketin mukaista tiukempaa ilmastopolitiikkaa vuoden 2020 jälkeen, sähköenergian käyttö saattaa joko vähentyä tai kasvaa perusuran arviosta, kun kysyntä ja tarjonta asettuvat tasapainoon muuttuvan politiikan alaisuudessa.

Työssä arvioitiin, että seuraavien vuosikymmenten aikana sähkön kysynnän kehittämisessä on erityisen tuntuva epävarmuutta kemiallisen metsäteollisuuden tuotannon kehittämisessä, palvelujen sähköintensiivisyyden vähenemisnopeudessa sekä kaivannaisteollisuuden kehityksessä. Näiden toimialojen kehitykselle muodostettiin sen vuoksi perusarvion rinnalle kaksi vaihtoehtoista kehityspolkua, alempi ja korkeampi kehitysurat, jotka on kuvattu edellä. Koska on myös hyvin ajateltavissa, että näillä toimialoilla kysynnän poikkeamat perusurasta saattavat korreloida, rajattiin lisäydinvoiman vaikutusten tarkastelu kaikkiaan kolmeen kysyntäskenaarioon: perusskenaario sekä alemman ja ylemmän kysyntäuran skenaarioihin. Alemman kysynnän skenaariossa siis kaikilla edellä mainitulla kolmella toimialalla oletetaan kysynnän noudattavan alemmalla kehitysuralla, ja vastaavasti korkeamman kysynnän skenaariossa kyseisten toimialojen kysynnän oletetaan noudattavan ylempää kehitysuraa.

Tarkasteltujen kolmen toimialan lisäksi huomattavaa epävarmuutta voidaan arvioida olevan muun muassa kemian teollisuudessa, jossa mallilaskelmista merkittävästi poikkeavat investoinnit biojalostamoihin voivat vaikuttaa tuntuvasti sähkön kulutukseen, sekä liikenteessä, jossa sähköajoneuvojen laaja käyttöönotto saattaa lisätä kulutusta. Näillä sektoreilla laskentamallin perusuraoletukset on kuitenkin pyritty kalibroimaan siten, että mallin tuottama kulutus on näillä sektoreilla varsin hyvin mahdollisen vaihteluvälin keskivaiheilla.



Kysyntäarvioiden lisäksi tarkastelun keskeisenä parametrina on lisäydinvoima. *Base*-skenaariossa oletetaan, että uutta lisäydinvoimaa ei rakenneta enää Olkiluoto 3:n jälkeen. *Base*-skenaario toimii vertailuskenaariona lisäydinvoiman vaikutusten analysoimiseksi.

Kolmessa muussa skenaariossa, *Mid*, *Low* ja *High*, puolestaan oletetaan kumpikin vuonna 2010 valtioneuvoston periaatepäätöksen puoltamista laitoksista rakennettavan 2020-luvun aikana. Uusien ydinvoimalaitosten koot ovat oletusten mukaan 1200 MW ja 1450 MW, ja niiden käyttöönottovuosiksi on oletettu 2024 ja 2027.

Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto tarkastelluista neljästä analyysiin valitusta skenaariosta.

Kaikissa neljässä tarkastellussa analyysiskenaariossa oletetaan vuonna 2014 julkistetun EU-2030-paketin mukaista energia- ja ympäristöpolitiikkaa toteutettavan vuodesta 2020 lähtien. Kuten edellä on mainittu, politiikan arvioidaan nostavan päästöoikeuden hintaa tuntuvasti EU:n päästökauppajärjestelmässä vuoden 2020 jälkeen, siten että hinta nousee 70 € tasolle vuoteen 2040 mennessä. Ei-päästökauppasektoreiden osalta tavoitteeksi oletettiin Suomessa 32 %:n päästöjen vähennys vuonna 2030 (vrt. Koljonen *et al.* 2014).

Tarkastelun aikajänne ulottuu vuodesta 2010 vuoteen 2040, ja se on jaettu viiden vuoden jaksoihin siten, että tuloksia tarkastellaan vuosista 2010, 2020, 2025, 2030 ja 2035.

Taulukko 1. Yhteenveto työssä tarkasteltujen skenaarioiden peruspiirteistä.

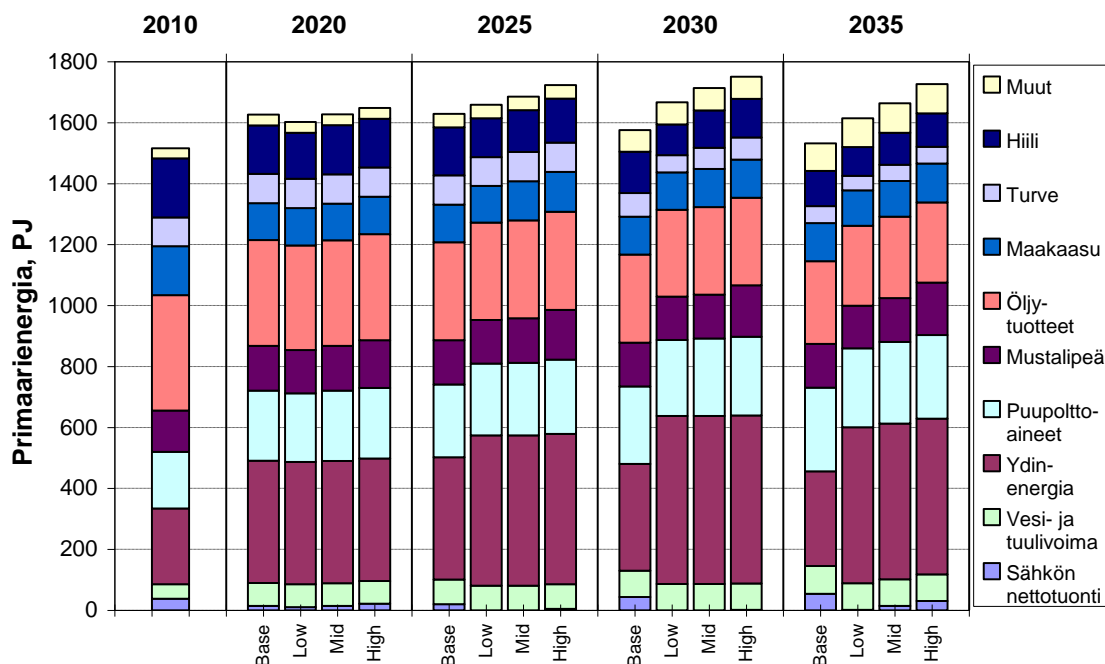
Skenaario	Ilmastopolitiikka päästöoikeuden hinta	Ydinvoimainvestoinnit, sähkön kysynnän kehitys
Base	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU-2030-paketti</li> <li>Noin 35 €/t v. 2030</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perusuran mukainen talouskasvu ja sähkön kysyntä</li> <li>Ei uusia voimalaitoslupia</li> <li>Vertailuskenaario lisäydinvoiman vaikutusten analysointiin</li> </ul>
Low	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU-2030-paketti</li> <li>Noin 35 €/t v. 2030</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hitaampi sähkön kysynnän kasvu valituilla sektoreilla</li> <li>Kaksi uutta ydinvoimalaa toteutuu 2030 mennessä</li> </ul>
Mid	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU-2030-paketti</li> <li>Noin 35 €/t v. 2030</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perusuran mukainen talouskasvu ja sähkön kysyntä</li> <li>Kaksi uutta ydinvoimalaa toteutuu 2030 mennessä</li> </ul>
High	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU-2030-paketti</li> <li>Noin 35 €/t v. 2030</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nopeampi sähkön kysynnän kasvu valituilla sektoreilla</li> <li>Kaksi uutta ydinvoimalaa toteutuu 2030 mennessä</li> </ul>

### 3. Tulokset

#### 3.1 Tulosten yleispiirteitä

Mallin tarkasteluhorisonttina oli 2005–2040, joka oli jaettu viiden vuoden periodeihin. Tuloksia tarkastellaan seuraavassa vain vuoteen 2035 saakka. Myöhemmillä periodeilla energian tuotanto perustuu mallilaskelmissa osittain tulevaisuuden tuotantotekniikoille, joiden teknisen ja taloudellisen suorituskyvyn kehittyminen oletetusti edellyttää vielä kehitystyötä.

Mallin tulosten mukainen primaarienergian kokonaiskulutus on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Primaarienergian kokonaiskulutuksen kehitys tarkastelluissa skenaarioissa.

Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee vuoteen 2030 mennessä selvästi. Lisäydinvoiman vaikutus tulee esiin vuodesta 2025 alkaen samalla, kun Loviisan olemassa olevat laitokset tulevat teknisen käyttöikänsä päähän. Lauhdevoimana ydinvoima lisää primaarienergian kokonaiskulutusta, mutta vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä sähkön tuotantoon.

IEA:n arvioiden mukaan maakaasu pysyy tulevaisuudessakin suhteellisen kalliina polttoaineena. Laskelmien mukaan sen käyttö väheneekin selvästi vuoden 2015 jälkeen (kuva 9). Maakaasun käyttö kohdentuu kombivoimalaitoksiin, joissa se voidaan muuttaa hyvällä hyöty- ja rakennussuhteella mahdollisimman suuressa määrin sähköksi.

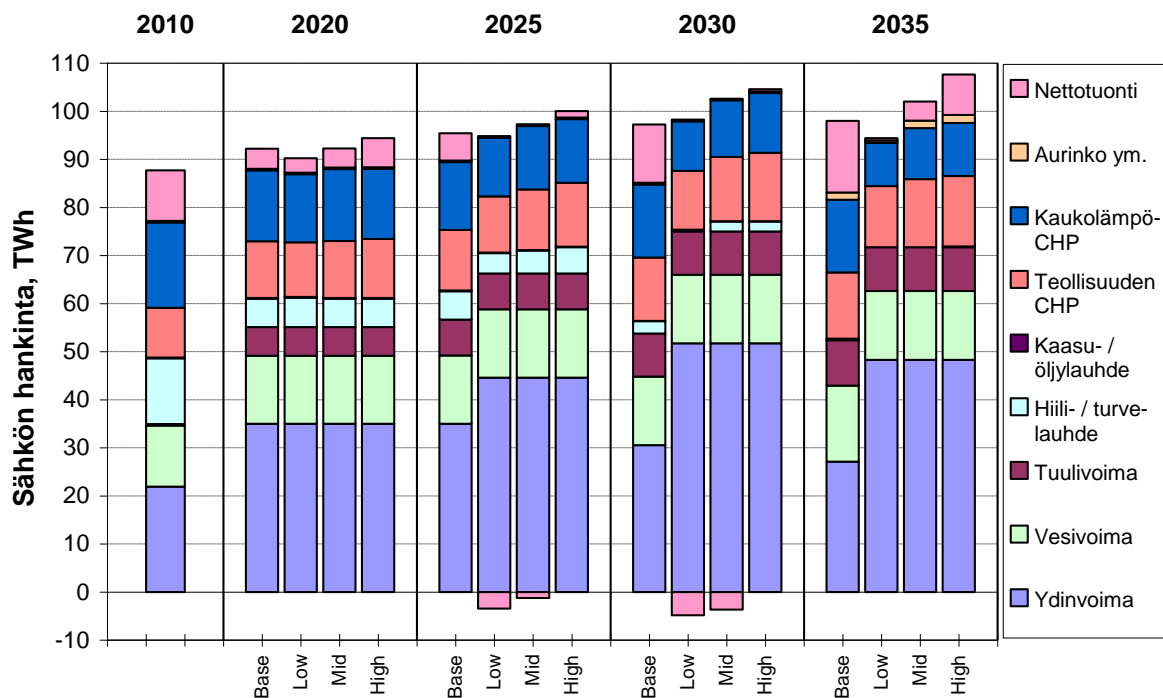
Myös hiilen käyttö vähenee selvästi vuoden 2015 jälkeen, kun päästöoikeuden hinta alkaa jälleen nousta. Hiilen käyttöä sähkön ja lämmön tuotantoon ei ole skenaarioissa rajoitettu, vaan sen kilpailukyky määräytyy verojen ja päästöoikeuksien hinnan mukaan. Alhaisilla päästöoikeuksien hinnoilla hiilen kilpailukyky pysyy kohtuullisena. Varastoitavuudesta johtuen se on myös hyvä tuki- ja varapolttoaine. Myös turve säilyttää kohtuullisena polttoaineena kilpailukykyä suunnilleen vuoteen 2025 asti sekä kaukolämpövoiman tuotannossa että teollisuuden yhteistuotannossa, mutta sen jälkeen kulutus vähenee voimakkaasti päästöoikeuden hinnan noustessa.

### 3.2 Sähkön hankinta

Energiajärjestelmätarkastelujen keskeinen osa koostuu energian hankinnan optimoinnista.

Hankinta koostuu omasta tuotannosta ja nettotuonnista. Lyhyellä aikavälillä kyse on olemassa olevan tuotantokapasiteetin tehokkaasta ja taloudellisesta käytöstä; pitkällä aikavälillä on tarkasteltava lisäksi tuotannon rakenteen kehittymistä investointien ja vanhan kapasiteetin poistuman kautta sekä Suomessa että sen lähilueilla.

Kuvassa 10 on esitetty sähkön hankinnan kehitys skenaarioittain vuoteen 2035. Sähkön kokonaishankinnan tarve kasvaa kysynnän perusuran mukaisissa skenaarioissa (*Base-* ja *Mid*-skenaariot) noin 12 % vuodesta 2010 vuoteen 2035, eli noin 100 TWh:iin. Tarkastelun keskeisenä skenaarioparametrina oleva ydinvoimatuotannon lisäys näkyy sähkön hankintarakenteessa selvästi: Kun kokonaishankinnasta oli vuonna 2010 noin 25 % ydinvoimaa, vuonna 2020 osuus on keskimäärin 38 % ja vuonna 2030 se nousee 49–55 %:iin. Fossiilisiin polttoaineisiin perustuvalla erillisellä lämpövoimalla on kaikissa skenaarioissa vähenevä merkitys ennen kaikkea hiililauhdevoiman osalta. Myös sähkön tuonnin osuus vähenee kaikissa skenaarioissa ja laskelmien mukaan Suomi olisi sähkön hankinnan osalta omavarainen *Low-* ja *Mid*-skenaarioissa vuosina 2025 ja 2030, mutta sen jälkeen Suomi olisi jälleen sähkön hankinnan suhteen netto-ostaja. *High*-skenaariossa Suomi olisi laskelmien mukaan sähkön netto-ostaja ydinvoimainvestoinneista huolimatta.



Kuva 10. Sähkön kokonaishankinnan kehitys tarkastelluissa skenaarioissa.

#### Yhteistuotanto

Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ydinvoiman lisärakentaminen vaikuttaa huomattavimmin yhdyskuntien yhteistuotantoon, jonka tarve pienenee. Selvimmin vähennys näkyy alemman kysyntäuran skenaariossa, jossa yhdyskuntien CHP-tuotannon osuus jää vuonna 2030 11 %:iin kokonaishankinnasta. Sen sijaan teollisuuden yhteistuotanto kasvaa hitaasti kaikissa skenaarioissa, eikä lisäydinvoimalla ole siihen sanottavaa vaikutusta. Teollisuuden yhteistuotannon lisääminen perustuu rakennusasteen kasvattamiseen. Erityisesti kasvua saadaan uusissa kombivoimalaitoksissa, joissa polttoaineena voidaan käyttää joko maa-

kaasua tai biokaasua. Myös mustalipeän kaasutuksen oletetaan kypsytävän tuotantokäyttöön vuoteen 2030 mennessä.

On huomattava, että laskentamallissa teollisuuden yhteistuotannon piiriin on luettu myös niitä voimalaitoksia, jotka tuottavat pääosin prosessihöyryä teollisuudelle, mutta jonkin verran myös kaukolämpöä, joten jako ei vastaa täysin energiatilastoja. Teollisuuden kaukolämpöä sivutuotteena tuottavien laitosten merkitys kasvaa biojalostamoiden myötä, sillä prosessiin on edullista integroida kaukolämmön tuotantoa (Hannula & Kurkela 2013).

Yhdyskuntien yhteistuotannon kehittymiseen vaikuttaa skenaarioissa monta eri tekijää. Ydinvoimatuotannon kasvun voidaan tuloksissa nähdä heikentävän sekä teollisuuden että yhdyskuntien yhteistuotannon kannattavuutta jonkin verran, lähinnä sähkön hinnan kautta. Mutta yhteistuotannon kilpailukykyä on heikentämässä myös usea muu tekijä. Vaikka rakennuskanta kasvaa tulevaisuudessakin, kasvun on oletettu olevan aiempaa hitaampaa sekä asuin- että palvelurakentamisessa. Yhdessä matalaenergiarakentamisen yleistymisen ja energiatehokkaan korjausrakentamisen kanssa tämä johtaa lämmitysenergian tarpeen asteittaiseen vähenemiseen. Kaukolämmön kysynnän pieneneminen johtaa näin yhdyskuntien yhteistuotantopotentiaalin pienenemiseen, mikä alkaa näkyä tuloksissa tarkastelu-aikavälin loppupuolella. Myös ilmastopolitiikan tiukentuminen vaikuttaa osaltaan yhteistuotannon kilpailukykyyn, sillä riittävän edullisten uusiutuvien biopolttoaineiden saatavuus on rajallinen, ja polttoaineen toimitus suurten asutuskeskusten tarpeisiin aiheuttaa lisäkustannuksia. Biojalostamojen ja puun raaka-ainekäytön kilpailu samoista biomassalähteistä nostaa osaltaan polttoaineen hintaa. Voimalaitos- ja kaukolämpötekniikan tekninen kehitys voi kompensoida yhdyskuntien yhteistuotannon kilpailukykyyn heikkenemistä muun muassa matalalämpötekniikalla, kaukojäähdytyksen integroinnilla verkkoihin ja hiilidiodioksidin talteenottojärjestelmillä, mutta tarkastelluissa skenaarioissa ne eivät riitä säilyttämään yhteistuotannon kilpailukykyä nykyisellä tasolla.

Laskelmissa oletetuilla polttoaineiden markkinahinnoilla maakaasu korvautuu 2020-luvulta lähtien yhteistuotannossa biopolttoaineella, mikä samalla johtaa pienempään sähköntuotantoon alhaisemman rakennusasteen vuoksi. Toisaalta LNG-terminaali-investointien myötä Suomi ei olisi enää yksinomaan venäläisen kaasuntuonnin varassa. Tässä on siten todettava, että maakaasun hintakehitykseen ja kysyntään liittyy merkittävää epävarmuutta.

### **Uusiutuvalla energialla tuotettu sähkö**

Uusiutuviin energialähteisiin perustuva sähköntuotanto kasvaa kaikissa skenaarioissa merkittävästi. Vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman yhteinen osuus nousee parhaimmillaan 24–27 %:iin koko sähkönhankinnasta, eli skenaarioiden välillä ei ole suurta eroa. Bioenergia mukaan luettuna uusiutuvan sähköntuotannon osuus nousee 39–46 %:iin hankinnasta. *Base*- ja *Mid*-skenaarioiden välinen ero on kuitenkin edelleen varsin pieni, edellisessä uusiutuvien osuus on 46 % ja jälkimmäisessä 42 %. Uusiutuvan sähköntuotannon kehitys on esitetty kuvassa 11.

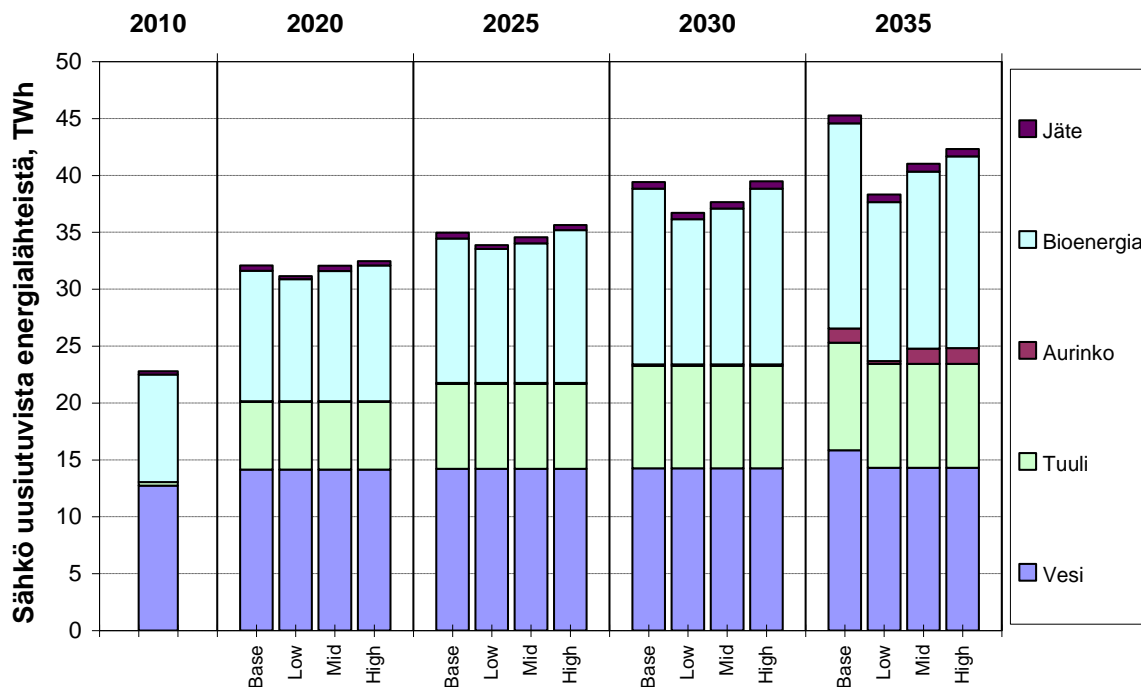
Koska hyödynnettävissä oleva vesivoimapotentiaali on pääosin jo käytetty, vesivoiman tuotanto kasvaa Suomessa hitaasti, pääosin vanhojen laitosten uudistamisten myötä. *Base*-skenaariossa päästöoikeuksien ja sähkön hinnan reipas nousu vuoden 2030 jälkeen tekee kuitenkin joitakin lisärakentamiskohteita kannattaviksi, jolloin vesivoiman tuotanto nousee 15,8 TWh:in. Muissa skenaarioissa vesivoiman kasvu jää tuskin havaittavaan määrään.

Tuulivoiman määrä lisääntyy nykytasosta merkittävästi pääosin rannikotuulivoimaloina. Laskelmien lähtöoletusten mukaan vuonna 2020 tuotanto on kaikissa skenaarioissa 6 TWh, ja vuonna 2030 saavutetaan vähintään 9 TWh:n tuotantotavoite. Aurinkovoiman tuotanto nousee vuonna 2035 yli 1 TWh:n tason kaikissa muissa paitsi alemman kysyntäuran skenaariossa.

## Sähkön tuonti ja vienti

Laskelmien mukaan pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla vallitseva hintataso pysyy Euroopan mantereelle johtavien siirtoyhteyksien rajallisen kapasiteetin vuoksi kohtuullisen alhaisena. Ydinvoimaa lisäävissä skenaarioissa Suomen aluehinta pysyy lähellä pohjoismaista tasoa, mutta Base-skenaariossa hinta nousee vuoden 2020 jälkeen Suomessa Ruotsin tasoa korkeammalle. Tämä aiheutuu osittain siitä, että mallilaskelmissa oletettiin vuotuisen sähkön nettotuonnin enimmäistasoksi 15 TWh vuodesta 2020 lähtien. Nettotuonti on Base-skenaariossa ylärajallaan vuonna 2035, ja on suurta juuri talven huippukulutuksen aikaan.

Tulosten mukaan sähkön nettotuonti pysyy varsin suurena Olkiluoto 3:n käyttöönottoon saakka. Vuonna 2020 nettotuonti vähenee 3–6 %:n tasolle, ja suurin tuontitarve on ylemmän kysyntäuran skenaariossa. Ydinvoimaa lisättäessä nettotuontitarvetta ei enää ole vuosina 2025–2030, ja alemman kysyntäuran skenaariossa sähköä kannattaa jopa viedä 4–5 TWh:n verran Baltiaan ja Ruotsiin. *Mid*- ja *High*-skenaariossa sähkön kauppatase on lähes tasapainossa vuosina 2025–2030. Sen sijaan *Base*-skenaariossa sähkön nettotuonti kasvaa uudestaan tuntuvaksi vuoteen 2030 mennessä, jolloin se on noin 12 TWh, ja vuonna 2035 tuonti kasvaa oletettuun enimmäismäärään, 15 TWh:n tasolle.



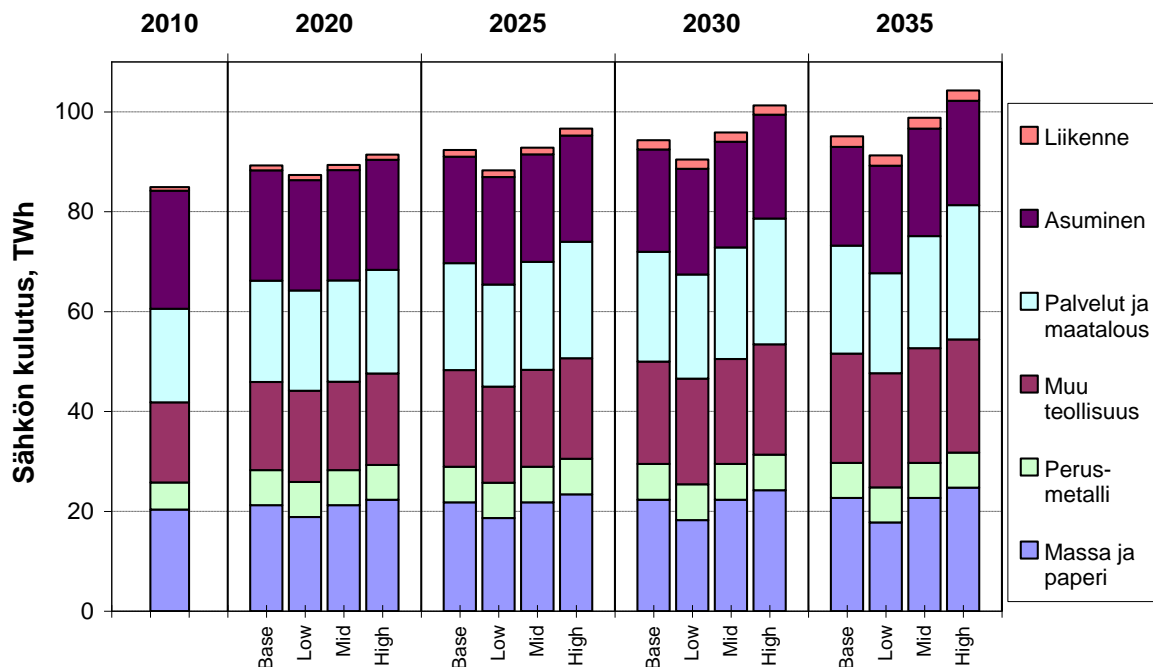
Kuva 11. Sähköntuotanto uusiutuvilla energialähteillä vuosina 2010–2035 tarkastelluissa skenaarioissa TIMES-mallin tulosten mukaan.

Merkille pantavaa on lisäksi, että ydinvoimaa lisättäessä sähkön nettovientiä ei enää ole vuonna 2035 missään kysyntävaihtoehdossa. Tämä johtuu suurelta osin kiristyvistä ilmastopolitiikasta, joka seurauksena fossiiliset polttoaineet ja turve menettävät kilpailukykyänsä sähkön tuotannossa ja jäävät marginaaliseen asemaan.

### 3.3 Sähkön kulutus

Sähkön kysyntä kasvaa kaikissa skenaarioissa vuodesta 2010 vuoteen 2035. Teollisuuden sähköistyminen jatkuu koko tarkastelujakson ajan, mikä tarkoittaa, että sähkön osuus energian loppukäytöstä kasvaa polttoainekäyttöön verrattuna. Kulutuksen kehitystä on havainnollistettu kuvassa 12 pääsektoreittain.

*Base*-skenaariossa sähkön kulutus kasvaa 89 TWh:in vuonna 2020 ja 94 TWh:in vuonna 2030. *Low*-skenaariossa kulutus jää 87 TWh:in vuonna 2020 ja 90 TWh:in vuonna 2030. *High*-skenaariossa sähkön kulutus puolestaan kasvaa 91 TWh:in vuonna 2020 ja 101 TWh:in vuonna 2030. Skenaarioiden välinen ero sähkön kokonaiskulutuksessa on noin 4 TWh vuonna 2020 ja noin 11 TWh vuonna 2030. Vuoden 2020 jälkeen sähkön kokonaiskulutuksessa näkyy myös ydinvoiman lisärakentamisen vaikutus. Lisärakentamisen aiheuttama tuotantorakenteen muutos vaikuttaa sähkön hintaan ja sitä kautta sähkön markkinaosuuteen energian kysynnässä. Kulutuksen ero *Base*- ja *Mid*-skenaarioiden välillä kasvaa ajan myötä, ja 2035 ero skenaarioiden välillä on 3,7 TWh.



Kuva 12. Sähkön kulutuksen kehitys sektoreittain tarkastelluissa skenaarioissa vuosina 2010–2035 TIMES-mallin tulosten mukaan.

Massa- ja paperiteollisuuden sähkön kulutus pysyy kysynnän perusuraskenaarioissa (*Base* ja *Mid*) suunnilleen vuoden 2010 tasolla. Alemman kysyntäuran skenaariossa kulutus putoaa siitä noin 10 % ja ylemmän kysyntäuran skenaariossa se kasvaa noin 20 % vuoteen 2035 mennessä. Ominaiskulutusten pieneneminen vähentää silti sähkönkäyttöä yksittäisten tuotantoprosessien tasolla kaikissa tapauksissa nykytasosta.

Metallien valmistuksessa tuotantoprosessit säilyvät pitkälti nykyisinä. Rauta- ja teräsmetallien valmistuksessa sähkön käyttö kasvaa vuoden 2010 tasosta erityisesti jaloteräksen ja ferrokromin valmistuksessa, joiden tuotanto kasvaa. Myös muiden metallien valmistuksessa on oletettu tuotannon hidasta kasvua. Nykyisten tuotantoprosessien ominaiskulutukset voivat arvioiden mukaan pienentyä tehostustoimien myötä vain hitaasti, sillä Suomessa käytettävien prosessien tehokkuus on jo nykyisin suunnilleen BAT (I. Best Available Technology) -tasolla.



Muun teollisuuden sähkönkulutus kasvaa kaikissa skenaarioissa huomattavasti. Tämä johtuu muun muassa kaivannaisteollisuuden, kemian teollisuuteen luettavien biojalostamoiden, mekaanisen metsäteollisuuden ja metallituoteollisuuden tuntuvasta kasvusta. Sähkön kulutuksen kasvu vuodesta 2010 vuoteen 2035 on *Base*-skenaariossa 36 %, ja kaikissa lisäydinvoimaskenaarioissa noin 40 %. Muussa kuin energiaintensiivisessä teollisuudessa energia on varsin pieni kustannuserä, mutta erot sähkön hinnassa näkyvät kuitenkin selvästi muun teollisuuden sähkönkäytön tehostumisessa.

Muilla sektoreilla kuin teollisuudessa merkittävin sähkön käytön muutos molemmissa skenaariossa on lämmityssähkön määrän väheneminen. Vaikka sähkölämmitys jopa lisää markkinaosuuttaan pientaloissa, suoran sähkölämmityksen väheneminen ja rakennusten energiatehokkuuden paraneminen johtavat lämmityssähkön kulutuksen vähenemiseen.

Kotitalouksien laite- ja valaistussähkön käyttö pysyy tehokkaamman tekniikan ansiosta suunnilleen nykytasolla, vaikka väestön ja kotitalouksien sekä erilaisten elektronisten laitteiden määrä kasvaa. LED-valaisimien yleistyminen on esimerkki teknologiasta, jolla on huomattava vaikutus kotitaloussähkön käytön tehostumiseen.

Palveluiden sähkön käytön kehitys noudattaa kussakin skenaariossa pitkälti edellä mainittuja palvelujen laitesähkön käyttöä koskevia skenaario-oletuksia. Kulutus kasvaa vuosina 2010–2035 alemman kysyntäskenaarion tapauksessa vain 7 %, mutta ylemmässä kysyntäskenaariorissa kasvu on jo varsin tuntuva, 44 %. Kasvu 25 vuoden aikana jää silti huomattavasti pienemmäksi kuin vuosina 1995–2013, eli 18 vuoden aikana toteutunut kasvu, joka oli 58 %. Palvelujen sähkön käytössä tapahtuu silti myös tehostumista, muun muassa LED-valaisimien yleistymisen myötä.

### 3.4 Sähkön tasapainohinnan kehitys

VTT:n TIMES-malli laskee sähkön pitkän aikavälin tasapainohinnan laskenta-alueilla (Suomi, Ruotsi, Norja, Tanska, Itä-Eurooppa, Länsi-Eurooppa, Venäjä), johon sisältyy myös investointikustannusten vaikutus. Sähkön markkinahinta määräytyy sähkön lyhyen aikavälin tasapainohinnan perusteella, joten alla esitetyt eivät ole suoraan verrannolliset pohjoismaiseen tukkusähköhintaan. Lisäksi tulee huomioida, että esitetyt tulokset ovat tasapaino-, eli ns. minimihintoja.

VTT:n TIMES-mallissa on kuvattuna nykyinen sähköntuotantorakenne ja sähkönsiirtoyhteydet kyseisillä laskenta-alueilla samoin kuin nykyinen sähkön kysyntärakenne. Skenaariotarkasteluissa malli optimoi uuden sähkön tuotanto- ja kysyntärakenteet laskenta-alueilla. Investoinnit uuteen sähkönsiirtokapasiteettiin laskenta-alueiden välillä ovat myös mahdolliset (esim. Pohjoismaiden välillä, Pohjoismaiden ja Keski-Euroopan välillä sekä Suomen ja Venäjän välillä), mikäli se olisi taloudellisesti kannattavaa. Uusien sähkönsiirtoinvestointien maksimikapasiteettia on kuitenkin mallissa rajoitettu perustuen julkisissa lähteissä julkaistuihin arvioihin ja suunnitelmiin uusista siirtoyhteyksistä pitkällä aikavälillä.

Edellä esitetyin laskentaoletusten perusteella malli ei kuitenkaan investoisi uusiin siirtoyhteyksiin. Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla vallitseva hintataso pysyy siten Euroopan mantereelle johtavien siirtoyhteyksien kapasiteetin vuoksi kohtuullisen alhaisena.

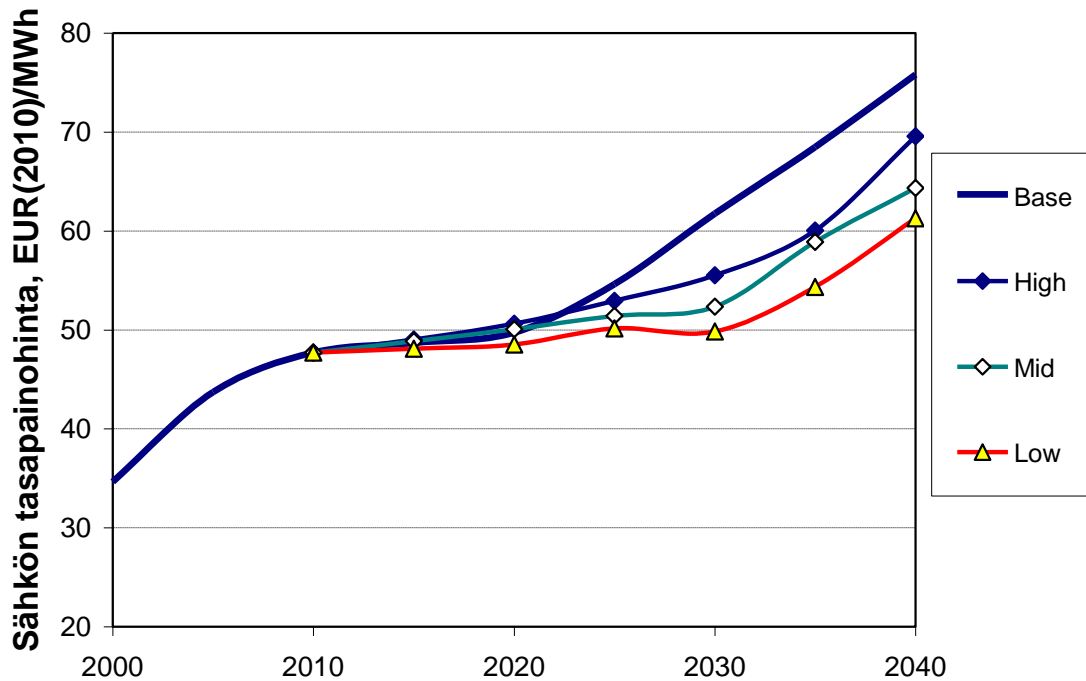
Ydinvoimaa lisäävissä skenaarioissa Suomen aluehinta pysyy lähellä pohjoismaista tasoa, mutta *Base*-skenaariossa hinta nousee vuoden 2020 jälkeen Suomessa Ruotsin tasoa korkeammalle. Tämä johtuu paitsi siirtoyhteyksien rajoituksista myös osittain siitä, että mallilaskelmissa oletettiin vuotuisen sähkön nettotuonnin enimmäistasoksi 15 TWh vuodesta 2020 lähtien. Nettotuonti on *Base*-skenaariossa ylärajallaan vuonna 2035.

Lisäydinvoiman rakentamisella on alentava vaikutus sähkön markkinahintaan ainakin niin kauan, kun polttoaineisiin perustuvaa tuotannolla on merkittävä rooli, sillä ydinvoiman



muuttuvat tuotantokustannukset ovat pienet. Kuten edellä esitettiin, käytetyssä laskentamallissa sähkön hinta vastaa teoriassa pitkän aikavälin tasapainohintaa, johon sisältyy myös investointikustannusten vaikutus. Tarkastelluissa skenaarioissa investointeja lisäydinvoimaan ei kuitenkaan jätetty mallin vapaasti ratkaistaviksi, joten ydinvoiman osalta investoinnit eivät näy mallin tuottamissa tasapainohinnoissa.

Tarkasteltujen skenaarioiden tulosten mukaista sähkön hinnan kehitystä on havainnollistettu kuvassa 13. Hinta pysyy tulosten mukaan varsin vakaana vuoteen 2025 saakka. Sen jälkeen alkaa kuitenkin päästöoikeuden hinnan voimakas nousu heijastua sähkön hintaan, ja tämä näkyy luonnollisesti selvimmin Base-skenaariossa. Hintojen ero *Base*- ja *Mid*-skenaarioiden välillä on 11–14 €/MWh vuosina 2030–2040. Myös skenaarioiden erot sähkön kysynnässä heijastuvat sähkön hintaan noin 10 %:n vaihteluvälinä hinnassa vuosina 2030–2040.



Kuva 13. Sähkön aluehinnan kehitys Suomessa tarkastelluissa skenaarioissa TIMES-mallin tuottaman pitkän ajan tasapainohinnan kehityksen mukaan.

### 3.5 Kasviuonekaasujen päästöt

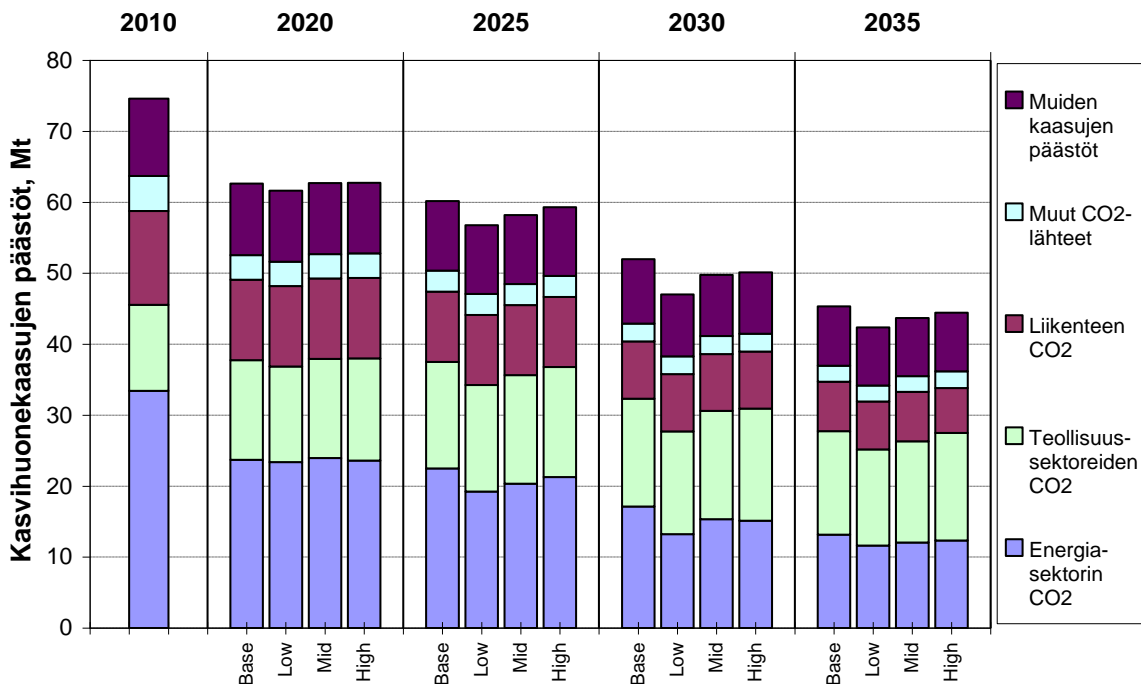
EU:n ilmastopolitiikan tavoitteena on vähentää kasviuonekaasujen päästöjä noin 80 % vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 päästöihin verrattuna. Välitavoitteeksi vuodelle 2030 on esitetty noin 40 %:n vähennys päästöissä vuoden 1990 päästöihin verrattuna. Tarkastelluissa skenaarioissa tämä välitavoite otettiin huomioon olettamalla päästöoikeuden hinnan nousevan 35 € tasolle vuonna 2030, ja asettamalla ei-päästökauppasektoreille eri maille arvioidut vähennystavoitteet, Suomelle 32 % vuoteen 2005 verrattuna (vrt. Koljonen *et al.* 2014).

Laskentamallin tuottama Suomen kasviuonekaasupäästöjen kehitys on esitetty kuvassa 14.

Tulosten mukaan Suomen päästöt vähenisivät näillä toimin EU:n keskiarvoa vähemmän, vain 26–33 %, joista pienin päästöjen vähennys saavutetaan *Base*-skenaariossa ja suurin alemman kysyntäuran skenaariossa. Suomi olisi siten laskelmien mukaan päästöoikeuksien netto-ostaja. Suomi saavuttaisi kuitenkin suunnilleen 40 %:n vähennyksen hieman myöhemmin, vuonna 2035.

Skenaarioissa kasviuonekaasupäästöt eivät kovin paljon poikkea toisistaan lisädinvoiman rakentamisesta huolimatta. Tämä johtuu muun muassa suurista eroista sähkön tuonnissa, joka toimii merkittävänä päästöjen vähennyskeinona *Base*-skenaariossa. Sillä korvataan suuri osa lisädinvoiman tuottamasta sähkömäärästä. Toinen asiaan vaikuttava tekijä on sähkön hintataso, joka on sitä korkeampi, mitä vähemmän uutta ydinvoimaa rakennetaan. Korkea sähkön hinta kannustaa sähkön suurempien säästöinvestointien toteuttamiseen ja johtaa pienempään sähkön kokonaiskulutukseen.

Erityisesti teollisuuden päästöjen vähentäminen on tulosten mukaan haastavaa kaikissa skenaarioissa. Toisaalta teollisuuden päästöistä suuri osa on päästökaupan piirissä, joten siltä osin päästöjen kehitys on kuitenkin EU:n kokonaistavoitteen mukaista, sikäli kuin päästöoikeuksien hinnan arvioitu kehitys on oikeaan osuva.



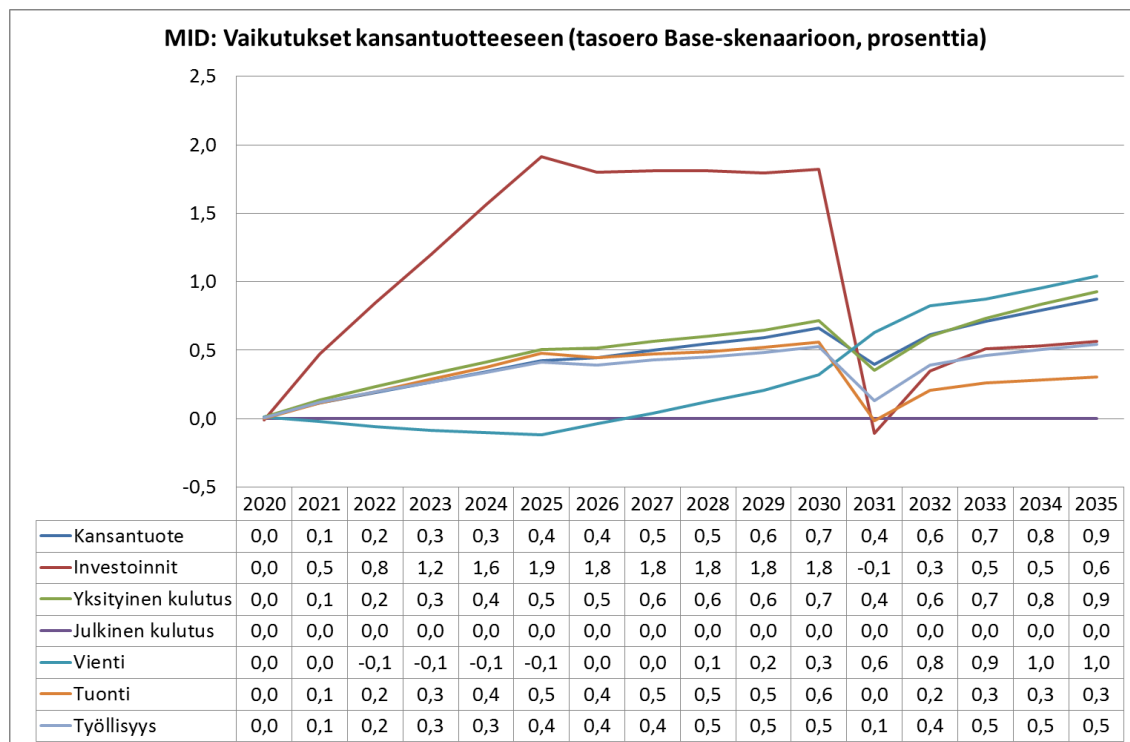
Kuva 14. Suomen kasviuonekaasupäästöjen kehitys tarkastelluissa skenaarioissa vuoteen 2035.

#### 4. Energia- ja ilmastopoliittisen toimenpidekokonaisuuden vaikutukset kansantalouteen

Ydinvoimahankkeiden kansantaloudellisia vaikutuksia on arvioitu koko kansantalouden tasolla VATTAGE-mallin avulla (Honkatukia 2009). Lähtökohtana arviolle on EU:n ilmasto- ja energiastrategian mukaisten tavoitteiden toteuttaminen vuoteen 2030 mennessä. Kansantalouden muu kehitys noudattaa VATT:n pitkän aikavälin toimialakehitystä arvioivan ennakkointihankkeen (Honkatukia *et al.* 2014) pohjalta päivitettyä perusuraa. VATTAGE-malli sisältää itsessään toimialakohtaisen kuvauksen sekä päästöistä että hyödykeverorakenteesta, jolloin päästökaupan vaikutusten ja energiaverojen vaikutus pystytään kohdentamaan realistisesti toimiala- ja polttoainekohtaisesti. Myös uusiutuvien energiamuotojen käyttöä tarkastellaan yksityiskohtaisesti. VATTAGE-mallilla ei ole kuitenkaan tuotettu itsenäistä ennustetta energiansäästöstä ja uusiutuvan energian käytön lisäyksestä, vaan näiltä osin on tarkastelussa otettu lähtökohdaksi VTT:n energiajärjestelmämallien tuottamat arviot.

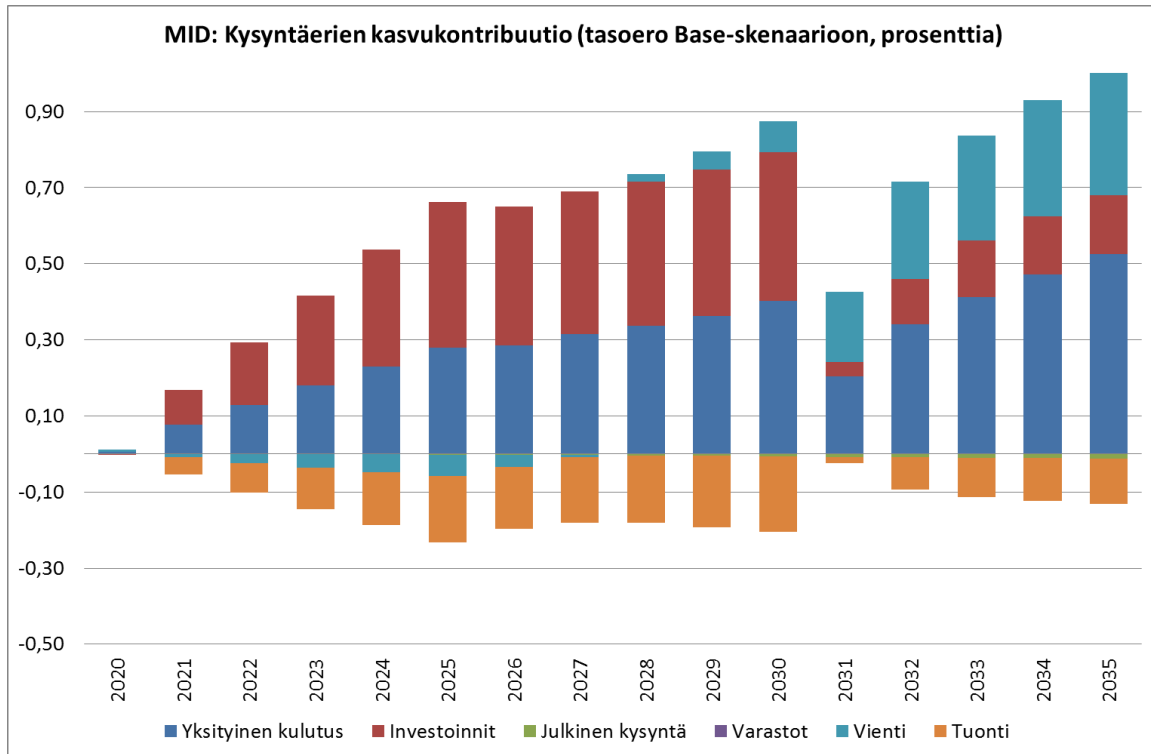
Vertailuskenaariossa (*Base*) EU:n vuoden 2030 päästötavoitteet toteutetaan ilman uusia ydinvoimaloita. Poliittikkaskenaarioissa voimalat valmistuvat vuoteen 2030 mennessä (I. *Mid*-sähkönkysyntäskenaario), mutta muuten ilmastopolitiikan tavoitteet säilyvät samoina. Tähän perusuraan verrattuna ydinvoiman lisärakentamisskenaario synnyttää merkittäviä lisäinvestointeja paitsi energiatoimialoille, myös rakentamiseen ja monille investointihyödykkeitä tuottaville toimialoille. Tästä syntyvät lisätulot piristävät myös kulutuskysyntää. Aiemman ydinvoimaselvityksen tapaan (Forsström *et al.* 2010) myös tässä oletetaan, että rakennetyöttömyys voi pitkällä aikavälillä muuttua, mikä sallii sen, että työllisyys asettuu perusuraa korkeammalle tasolle. Energiaintensiivisen teollisuuden ja työllisyyden osalta on tehty myös herkkyystarkasteluja energiaintensiivisen teollisuuden ja työmarkkinoiden osalta.

Kuvassa 15 on esitetty ydinvoimalahankkeiden vaikutukset kansantuotteeseen verrattuna vertailuskenaarioon (*Base*), jossa ei ole lisäydinvoiman rakentamista. Kuvassa tarkastellaan kansantuotteen muutosta kysyntäerien kasvukontribuution kautta. Oletettaessa *Mid*-skenaarion mukainen sähkönkysyntä ydinvoimalainvestoinnit kasvattavat investointia vertailuskenaarioon (*Base*) verrattuna lähes 2 % ja kansantuotetta yli 0,5 % 2020-luvulla. 2030-luvulle tultaessa voimalainvestointien oletetaan valmistuneen. Kun investoinnit lisäävät etenkin rakennusalan työllisyyttä, nousee työllisyysaste perusuraa korkeammaksi. Herkkyyksanalyysin perusteella 2030-luvun alussa työllisyys olisi *Base*-skenaariota korkeammalla tasolla, vaikka työmarkkinoita koskevia oletuksia muutettaisiinkin. Talouskasvun piristymisen synnyttää lisätuloja, jotka lisäävät myös kotitalouksien kulutusta *Base*-skenaarioon nähden. Lisäksi energian maltillisempi hintakehitys ydinvoimainvestointien myötä (*Mid*-skenaario) lisää ostovoimaa ja parantaa viennin hintakilpailukykyä.



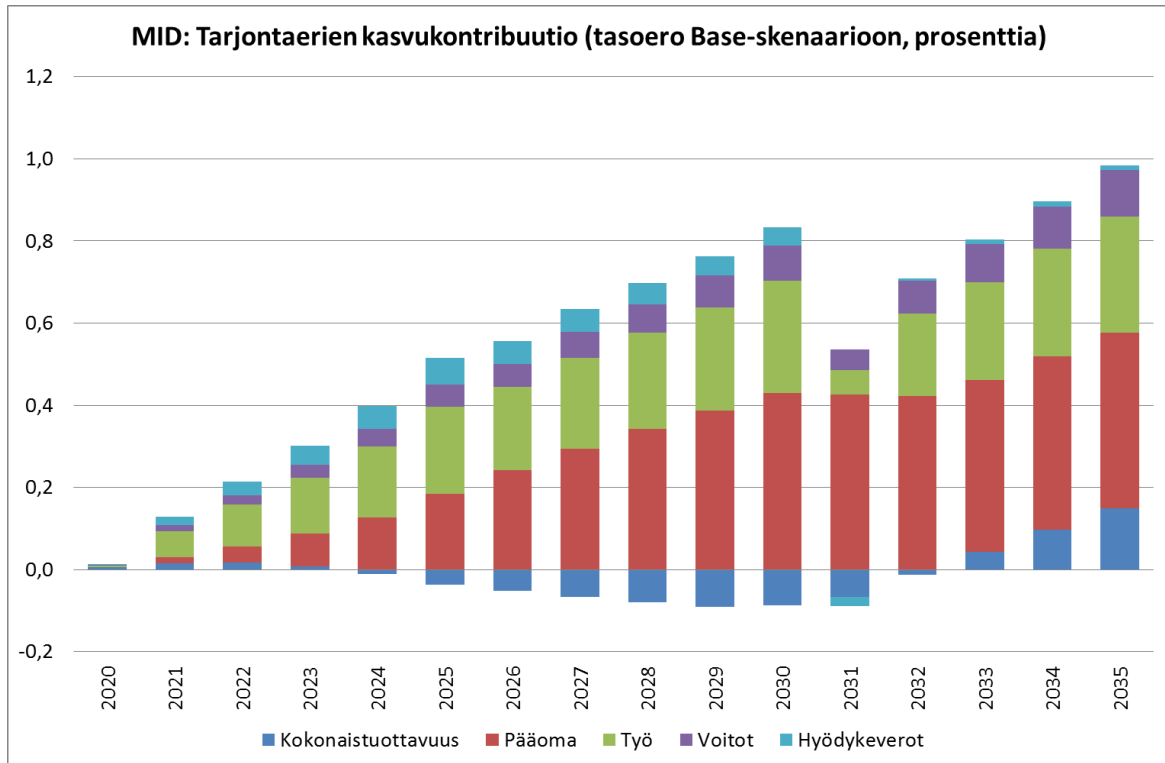
Kuva 15. Ydinvoimalahankkeiden (*Mid*-skenaario) vaikutukset kansantuotteeseen verrattuna *Base*-skenaarioon.

Kuvaan 16 on koottu kansantuotteen kysyntäerien kasvuvaikeus vuoteen 2035 mennessä. Kuvasta nähdään, että kansantuotteen kasvusta lähes puolet liittyy investointien kasvuun koko 2020-luvun ajan, ja että investoinnit aikaansaavat myös kotitalouksien ostovoiman ja kulutuskysynnän kasvua. Viennin kasvun kontribuutio muodostaa pidemmällä aikavälillä kolmanneksen kansantuotteen kasvusta *Base*-skenaarioon nähden.



Kuva 16. Ydinvoimalahankkeiden (Mid-skenaario) vaikutukset kansantuotteiden kysyntäeriin verrattuna Base-skenaarioon.

Kuvaan 17 on koottu kansantuotteen tarjontaerien kasvuvaikutus vuoteen 2035 mennessä Base-skenaarioon verrattuna. Kuvassa on dekomponoitu tuotannontekijöiden vaikutus kansantuotteen kasvuun Base-skenaarioon verrattuna. Lisäkasvusta noin puolet muodostuu investoinneista. 2020-luvulla valtaosa lisäinvestoinneista suuntautuu energiantuotantoon, mutta kulutuksen kasvu lisää investointeja myös kaupan ja yksityisten palveluiden aloilla. Teollisuuden lisäinvestoinnit kohdistuvat investointihyödykkeitä valmistuviin aloihin 2020-luvulla, kun taas muunkin vientiteollisuuden investoinnit alkavat kasvaa korostuneemmin 2030-luvulle tultaessa. Kuvasta 17 näkyy myös, että työllisyyden paranemisen kasvua lisäävä vaikutus on noin kolmannes kansantuotteen lisäkasvusta perusuraan nähden. Jos työmarkkinoiden toiminta ei mahdollista työllisyysasteen pysyvää paranemista, jäisi tämä vaikutus pitkällä aikavälillä arvioitua pienemmäksi. Tällöin kansantuotteen kasvu perusuraan verrattuna kohdistuisi korostuneemmin pääomavaltaisille toimialoille.



Kuva 17. Kansantuotteen tarjontaerien kasvuvaiutus (Mid-skenaario) verrattuna Base-skenaarioon.

## 5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Työssä on selvitetty ydinvoiman lisärakentamisen vaikutuksia Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Tarkasteluissa vertailtiin ydinvoiman lisärakentamista ns. vertailuskenaarioon, jossa uusia ydinvoimaloita ei rakenneta OL3:n valmistumisen jälkeen. Energiajärjestelmätarkasteluissa sähkön kysynnän kehitykselle käytettiin kolmea eri kehitysarviota, jotka eroavat toisistaan metsäteollisuuden ja kaivannaisteollisuuden tuotantomäärien sekä palvelujen sähköintensiivisyyden suhteen.

Suomen energiajärjestelmän kehitykseen vaikuttavat merkittävästi EU:ssa yhteisesti määritellyt energia- ja ilmastopolitiikan suuntaviivat, joissa asetetaan muun muassa kasvihuonekaasupäästöjen yläraja päästökauppaan kuulumattomille toimialoille ja tavoitteet uusiutuvien energianlähteiden osuudelle energian kokonaiskulutuksesta. Vuonna 2014 hahmoteltu EU-2030-paketti on otettu karkealla tasolla huomioon tehdyissä laskelmissa, vaikka sen vaikutukset selviävät monilta osin tarkemmin vasta myöhemmin.

Sähkön kulutuksen määrään vaikuttaa tuotannon ja hyötyenergian kulutuksen laajuuden lisäksi sähkön käytön tehostuminen. Tehostumista tapahtuu kaikessa sähkön käytössä. Luonnollisen tehostumisen lisäksi toteutetaan sähkön säästötoimenpiteitä siinä määrin, kun ne ovat taloudellisesti kannattavia. Tarkasteluissa skenaarioissa sähkön kokonaiskulutus nousee työssä laaditun perusuran mukaan 92 TWh:n tasolle vuonna 2020 ja noin 97–99 TWh:n määrään vuonna 2030. Kulutusarvio on siten pienempi kuin vielä vuonna 2013 energia- ja ilmastostrategiassa arvioitu sähkönkulutus. Tämä johtuu osin uusista toimialakohtaisista kehitysarvioista, ja osin siitä, että tarkastelussa on mukana EU:n 2030-ilmasto- ja energiapaketti.

Suomi on osa pohjoismaisia sähkömarkkinoita, ja Suomi on ollut vuosikymmenet sähkön nettotuojia. Mallilaskelmissa sähkön tuonti- ja vientimäärien annettiin määräytyä melko vapaasti markkinatilanteen mukaan, ja tulokset osittavat, että lisäydinvoimaa koskevien

suunnitelmien toteutuessa sähkötase kääntyisi vientivoittoiseksi vuosina 2025–2030. Tämä tilanne jäisi kuitenkin tulosten mukaan tilapäiseksi, sillä jo vuonna 2035 sähköä ei lisäydinvoimasta huolimatta enää riittäisi nettovientiin edes alemman kysyntäuran tapauksessa. Ilman lisäydinvoimaa sähkön nettotuonti Suomeen kasvaisi tulosten mukaan vuonna 2035 takaisin noin 15 TWh:n tasolle, vaikka samalla sähkön hinta nousisi lähelle Keski-Euroopan tasoa. Jos tätä tuontimäärää ei olisi saatavissa edes mallin tuottamilla hinnoilla ja tuonti olisi korvattava omalla tuotannolla, vaikutus energiantuotannon päästöihin ja/tai kansantalouden kustannuksiin saattaisi nousta merkittäväksi.

Sähkön nettotuonnin ohella lisäydinvoiman toteutumisella on tulosten mukaan merkittävä vaikutus sähkön ja lämmön tuotantoon yhdyskunnissa, voimakkaimmin alemman kysyntäuran tapauksessa. Mallilaskelmien mukaan siis suunnitellun lisäydinvoiman jääminen toteutumatta korvattaisiin pääosin sähkön tuonnilla ja yhteistuotannolla. Muita, pienempiä muutoksia sähkön hankintarakenteeseen olisivat vesi- ja tuulivoiman hieman laajempi lisärakentaminen. Sähkön hinta nousisi tulosten mukaan vuosina 2030–2035 noin 15 % korkeammalle tasolle ilman lisäydinvoimaa, ja se johtaisi samalla myös jonkin verran suurempiin sähkön käytön tehostamistoimiin.

Suomen kasvihuonekaasupäästöjen määrä olisi lisäydinvoiman tapauksessa tulosten mukaan noin 4 % pienempi vuosina 2030–2035. Päästömäärien erot kohdistuisivat luonnollisesti pääosin päästökauppasektorille.

Ydinvoiman lisärakentamisskenaario synnyttää merkittäviä lisäinvestointeja paitsi energiatoimialoille, myös rakentamiseen ja monille investointihyödykkeitä tuottaville toimialoille. Kansantaloudellisten vaikutusarvioiden perusteella investoinneista syntyvät lisätulot piristävät myös kulutuskysyntää. Ydinvoimalainvestoinnit kasvattavat investointeja vertailuskenaarioon verrattuna lähes 2 % ja kansantuotetta yli 0,5 % 2020-luvulla. Kansantuotteen kasvusta lähes puolet liittyy investointien kasvuun koko 2020-luvun ajan. Investoinnit aikaansaavat myös kotitalouksien ostovoiman ja kulutuskysynnän kasvua. 2030-luvulle tultaessa voimalainvestointien oletetaan valmistuneen. Kun investoinnit lisäävät etenkin rakennusalan työllisyyttä, nousee työllisyysaste perusuraa korkeammaksi. Talouskasvun piristyminen synnyttää lisätuloja, jotka lisäävät myös kotitalouksien kulutusta perusuraan nähden. Lisäksi energian perusuraa maltillisempi hintakehitys lisää ostovoimaa ja parantaa viennin hintakilpailukykyä.

2020-luvulla valtaosa lisäinvestoinneista suuntautuu energiantuotantoon, mutta kulutuksen kasvu lisää investointeja myös kaupan ja yksityisten palveluiden aloilla. Työllisyyden paranemisen kasvua lisäävä vaikutus on noin kolmannes kansantuotteen lisäkasvusta vertailuskenaarioon nähden. Jos työmarkkinoiden toiminta ei mahdollista työllisyysasteen pysyvää paranemista, jäisi tämä vaikutus pitkällä aikavälillä arvioitua pienemmäksi. Tällöin kansantuotteen kasvu vertailuskenaarioon verrattuna kohdistuisi korostuneemmin pääomavaltaisille toimialoille.

## Lähdeviitteet

---

- Airaksinen, M. & Vainio T. 2012. Rakennuskannan korjaamisen ja kunnossapidon energiantehokkuustoimenpiteiden vaikuttavuuden arviointi energiansäästön, CO<sub>2</sub>-ekv.päästöjen, kustannuksien ja kannattavuuden näkökulmista. VTT Tutkimusraportti VTT-CR-00426-12.
- Capros, P. & al. 2013. EU Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050: Reference scenario 2013. European Commission, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Climate Action and Directorate-General for Mobility and Transport
- EC 2014. Euroopan komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Ilmasto- ja energiapolitiikan puitteet vuosille 2020–2030. Brussels 22.1.2014. MOM(2014) 15 lopullinen. [http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation_en.htm)
- Forsström, J., Pursiheimo, E., Kekkonen, V. & Honkatukia, J. 2010. *Ydinvoimahankkeiden periaatepäätökseen liittyvät energia- ja kansantaloudelliset selvitykset*. VTT Working Papers 141.
- GTK 2014. Geologian tutkimuskeskuksen kehitysarviot kaivannaisteollisuudelle perustuen Low Carbon Finland Platform -hankkeen skenaarioihin. Julkaistaan raportissa VTT Technology 167.
- Hannula, I. & Kurkela, E. 2013. *Liquid transportation fuels via large-scale fluidisedbed gasification of lignocellulosic biomass*. VTT Technology 91.
- Honkatukia, J. 2009. *VATTAGE – A dynamic, applied general equilibrium model of the Finnish economy*. VATT Tutkimuksia 150.
- Honkatukia J., Ahokas. J. & Simola, A. 2014. Kriisien jälkeen - Suomen talouden rakenteellinen kehitys vuosina 2013–2030. VATT Tutkimukset 176. VATT, Helsinki. 82 s. [http://www.vatt.fi/file/vatt\\_publication\\_pdf/t176.pdf](http://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/t176.pdf).
- IEA. 2013. *World Energy Outlook 2013*. Paris: OECD, International Energy Agency.
- Loulou R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtilä, A. & Goldstein, G. 2005. Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP).
- Loulou 2008. "ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part II: Mathematical formulation". *Computational Management Science*, Vol. 5, Issue 1-2, pp. 41–66.
- Loulou, R. & Labriet, M. 2008. "ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure". *Computational Management Science*, special issue on Energy and Environment, Vol. 5, No 1–2, pp. 7–40.
- Mäkelä, K. & Auvinen, H. 2013. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt – LIISA 2012 laskentajärjestelmä. VTT Tutkimusraportti Nro VTT-R-06355-13, 16.9.2013.
- Mäkelä, K. & Järvi, T. 2012. Liikenteen tietoaineisto raportissa: Low Carbon Finland 2050. VTT clean energy technology strategies for society. Espoo: VTT, VTT Visions 2.
- Pursiheimo, E., Koljonen, T., Honkatukia, J., Lehtilä, A., Airaksinen, M., Flyktman, M., Sipilä, K., & Helynen, S. 2013. Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraportti. VTT Technology 86. VTT, Espoo, 41 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T86.pdf>.



- Pöyry 2014. TEM Tuotantoennusteet [52X235215]. Julkaisematon tietoineisto työ- ja elinkeinoministeriölle. Pöyry 2014.
- Ruska, M. & Koreneff, G. 2009. Ydinvoimalaitoshankkeiden vaikutukset kilpailuun sähkömarkkinoilla. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2509. 57 s. +liitt. 12 s.
- TEM 2013. Työ- ja elinkeinoministeriö. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Taustaraportti. 21.3.2013. 179 s. [https://www.tem.fi/files/36279/Kansallinen\\_energia-\\_ja\\_ilmastostrategia\\_taustaraportti.pdf](https://www.tem.fi/files/36279/Kansallinen_energia-_ja_ilmastostrategia_taustaraportti.pdf).
- Tuusjärvi, M., Mäenpää, I., Vuori, S., Eilu, P., Kihlman, S. & Koskela, S. 2013. Arvio Suomen kaivannaistoiminnan kehityksestä vuosiin 2020 ja 2030. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 200.
- Vesirakentaja 2008. Voimaa vedestä 2007. Selvitys vesivoiman lisäämismahdollisuuksista. Oy Vesirakentaja, 2008.
- Vesisuunnittelu 2005. Pienvesivoimakartoitus – minivesivoimasektori <1MW. Kauppa- ja teollisuusministeriölle tehty selvitys. KTM Dnro 58/804/2004. PR Vesisuunnittelu OY.
- VTT 2012. Low Carbon Finland 2050. VTT clean energy technology strategies for society. Espoo: VTT, VTT Visions 2.