

Ilmastolain päästövähennys- tavoitevaihtoehtojen laskennalliset vaikutusarviot

Tiina Koljonen
Antti Lehtilä
Juha Honkatukia

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Laskentamallien kuvaus	7
2.1	TIMES-VTT -energiajärjestelmämallin kuvaus	7
2.2	FINAGE-mallin kuvaus	9
3	Laskentatapausten ja lähtöoletusten kuvaukset	12
3.1	WEM-skenaarion kuvaus	12
3.2	Ilmastolain KHK-päästövähennysvaihtoehtojen kuvaukset ja laskelmien lähtökohdat.....	14
4	Vaikutukset energiajärjestelmään ja kasvihuonekaasupäästöihin	18
5	Kansantalouden vaikutusarviot	27
5.1	Kansantalousskenaarioiden lähtökohdat ja WEM-skenaarion kuvaus	27
5.2	Ilmastolain päästövähennysvaihtoehtojen kansantaloudelliset vaikutukset	32
5.2.1	55 % päästövähennysskenaario.....	33
5.2.2	60 % päästövähennysskenaario.....	36
5.2.3	65 % päästövähennysskenaario.....	39
6	Johtopäätökset	42
	Lähteet	46

LUKIJALLE

Ilmastolakia uudistetaan ja lakiin on tarkoitus sisällyttää paitsi vuoden 2035 hiilineutraaliustavoite, myös vastaavat kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteet vuosille 2030, 2040 ja 2050. Pyrkimyksenä on, että Suomi tekee oman osansa maailman keskilämpötilan nousun rajoittamiseksi 1,5 asteeseen. Ilmastolakityön tueksi valtioneuvoston kanslia tilasi Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä selvityksen, jossa tarkasteltiin vaihtoehtoisten päästövähennystavoitteiden vaikutuksia Suomen energia- ja kansantalouteen. Työtä ohjasivat Jarmo Muurman ja Magnus Cederlöf ympäristöministeriöstä. Kansantaloudelliset arviot toteutti VTT:n alihankintana Merit Economics.

Tässä raportissa esitetyt kasvihuonekaasupäästövähennysten vaikutusarvioinnit laadittiin vuosille 2030, 2035, 2040 ja 2050 siten, että Suomen ilmastopaneelin arvioima oikeudenmukainen hiilibudjetti 79 Mt vuosille 2020–2050 ei ylittyisi. Vuoden 2030 tavoitteen tason osalta lähtökohtana oli, että Suomen kasvihuonekaasupäästöjä vähennettäisiin 55, 60 tai 65 prosentilla vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoteen 1990. Työn tuloksia esiteltiin ministeriöille, ilmasto- ja energiapoliittiselle ministerityöryhmälle sekä sidosryhmille huhti-kesäkuun aikana. Esitys uudeksi ilmastolaiksi lähetettiin lausuntokierrokselle 2.7.2021.

Tiina Koljonen

Elokuu 2021

1 Johdanto

Suomen Ilmastolakia uudistetaan parhaillaan ja uuteen lakiin on esitetty sisällytettävän vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitetta vastaavat päästövähennystavoitteet vuosille 2030, 2040 ja 2050. Pyrkimyksenä on, että Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitysura olisi yhdenmukainen Pariisin ilmastosopimuksen kanssa ilmaston lämpötilan nousun rajoittamiseksi 1,5 asteeseen. Ilmasto- ja energiapoliittinen ministerityöryhmä käsitteli ilmastolain päästövähennystavoitteita kokouksessaan 20.1.2021. Keskustelussa nostettiin esille erityisesti vuoden 2030 tavoitteen taso ja eri vaihtoehtojen vaikutukset.

Ilmastolain uudistuksen lisäksi ollaan parhaillaan laatimassa kansallista ilmasto- ja energiastrategiaa sekä keskipitkän aikavälin ilmastopoliittikan suunnitelmaa, eli KAISU:a. Osana vihreän kehityksen ohjelmaa Europan komissio ehdotti syyskuussa 2020, että EU:n vuodelle 2030 asettama kasvihuonekaasu (KHK)-päästöjen vähennystavoite kiristettäisiin nykyisestä 40 prosentista 55 prosenttiin verrattuna vuoden 1990 KHK-päästöihin. Euroopan parlamentti ja Neuvosto hyväksyivät eurooppalaisen ilmastolain kesäkuussa 2021, johon ehdotus sisältyy. Uusi KHK-päästötavoite on myös EU:n ilmoittama sitoumus Pariisin ilmastosopimusta varten YK:n ilmastosopimuksen sihteeristölle. EU:n tavoitteena on olla ensimmäinen ilmastoneutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä. Sekä vuodelle 2030 että vuodelle 2050 asetetut EU:n KHK-päästötavoitteet on kirjattu EU:n ilmastolakiin. Komissio julkaisi heinäkuussa 2021 laajan säädösehdotuspaketin EU:n ilmasto- ja energialainsäädännön uudistamiseksi ja kunnianhimoisemman päästövähennystavoitteen saavuttamiseksi.

VTT:n koordinoimassa VN-TEAS HIISI (Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset) -hankkeessa laaditaan vaikutusarvioita tukemaan sekä ilmasto- ja energiastrategian että uuden KAISU:n muodostamista (ks. www.hiisi2035.fi). Tässä työssä on hyödynnetty HIISI-hankkeessa laadittuja laskelmia ja arvioita erityisesti vertailu-, eli WEM (With Existing Measures) -skenaarion muodostuksessa. WEM-määrittelyiden mukaan skenaarion laadinnassa on huomioitu toimet ja päätökset 31.12.2019 asti. HIISI-hankkeessa laadittu alustava politiikka-, eli WAM (With Additional Measures) -skenaario muodostettiin vasta kesäkuussa 2021. Tästä syystä raportissa esitetyt skenaariolaskelmat eivät sisällä ehdotettuja WAM-toimia kuin siltä osin, kun niistä on päätökset jo olemassa (esim. tällä hallituskaudella päätetyt valmiste- ja sähköveromuutokset).

Tässä raportissa esitetyt vaikutusarviointit sisältävät sekä energiajärjestelmätason laskennalliset analyysit että päästövähennysten kansantaloudelliset vaikutusarviot. Luvussa 2 on esitetty laskelmissa käytetyt lähestymistavat ja mallikuvaukset ja luvussa 3 on kuvattu vaihtoehtoiset laskentatapaukset sekä keskeiset lähtöoletukset.

Luvuissa 4 ja 5 on esitetty skenaarioanalyysien tulokset energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen sekä kansantalouden kehitysten osalta. Työn tavoitteena oli tuottaa tietoa eri päästövähennysvaihtoehtojen vaikutuksista eri päästösektoreille ja toimialoille. Energiajärjestelmätason laskennalliset analyysit huomioivat Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähennyspolut. Kansantaloudelliset arviot sisältävät toimialakohtaiset vaikutukset sekä vaikutukset työllisyyteen ja bruttokansantuotteeseen, eli BKT:hen. Luvussa 6 on esitetty työn johtopäätökset.

2 Laskentamallien kuvaus

2.1 TIMES-VTT -energiajärjestelmämallin kuvaus

Energiajärjestelmän mallinnuksessa ja analysoinnissa käytetty keskeinen työkalu on VTT:ssä laadittu laaja pitkän aikavälin järjestelmämalli TIMES-VTT, joka perustuu kansainvälisessä yhteistyössä kehitettyyn ETSAP-TIAM -malliin (Loulou 2008, Loulou & Labriet 2008), joka pohjautuu puolestaan IEA ETSAP TIMES -mallinnusjärjestelmään (Loulou et al 2016). Mallissa on kuvattu Suomen, Pohjoismaiden ja muun Euroopan energiajärjestelmät. Menetelmällisesti malli on niin sanottu osittais-tasapainomalli, joka maksimoi kuluttajien ja tuottajien yhteenlaskettua taloudellista ylijäämää. Malli sisältää varsin yksityiskohtaisen kuvauksen sekä energian tuotannon ja käytön nykyjärjestelmästä että tulevaisuuden teknologiavaihtoehdoista ja kattaa kaikki Kioton pöytäkirjan käsittelemät kasvihuonekaasupäästöt.

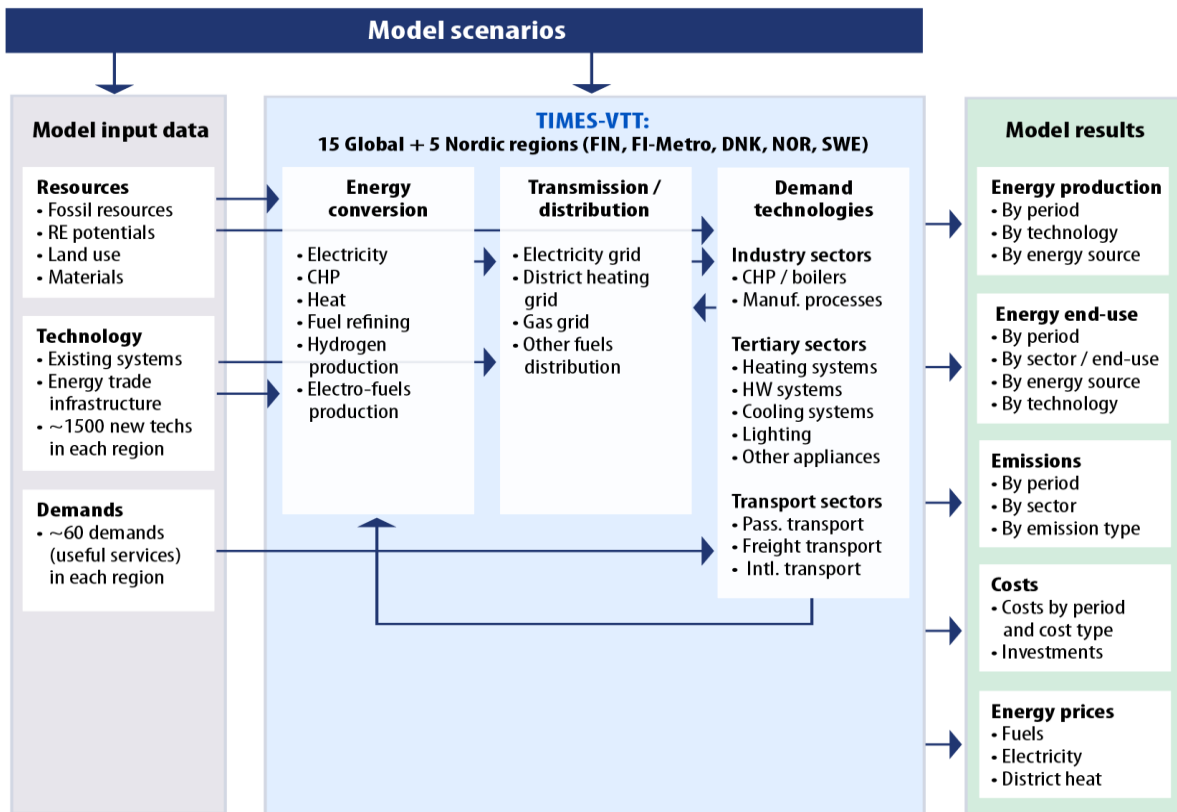
Laskentamallin tietokanta sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen energiajärjestelmästä mukaan lukien energiantuotanto ja -siirtojärjestelmä, rakennuskanta, asumisen ja palvelujen energian käyttökohteet, autokanta ja muu liikennevälinekanta, energia-intensiivisten teollisuustuotteiden tuotantoprosessit ja -laitokset, muun teollisuuden energian loppukäyttökohteet sekä maa- ja metsätalouden energiakäyttö. Tietokannan laajin osa koostuu kuitenkin tulevaisuuden energiajärjestelmän investointivaihtoehtojen teknologiakuvauksista, mukaan lukien arviot niiden kustannusten ja teknisen suorituskyvyn kehityksistä (mm. hyötysuhteet, käyttöiät, käytettävyy- ja käyttökertoimet). Lisäksi mallissa on kuvattu alueelliset energiahyödykkeiden tekniset potentiaalit, polttoaineiden globaali kauppa, päästökauppa (ml. CO₂:n kuljetus- ja varastointipalvelujen kauppa). TIMES-VTT -mallia ja sen tietokantoja on kuvattu useissa tieteellisissä artikkeleissa (esim. Koljonen & Lehtilä, 2015; Lehtilä ja Koljonen, 2018).

TIMES-VTT -mallin laskennallisesti tuottamat energian kulutuksen ja päästöjen kehitysurat riippuvat lukuisista lähtötietoina annetuista tekijöistä. Keskeisiä mallin käyttämiä lähtötietoja ovat:

- talouden eri sektoreiden kehitys eli teollisuussektoreiden, kotitalouksien, palvelujen, maa- ja metsätalouden ja kaivannaisteollisuuden kehitys;
- energiaintensiivisen teollisuuden toimialojen eri tuotteiden tuotannon kehitys;
- nykyinen autokanta ja muu liikennevälinekanta sekä liikkumis- ja kuljetustarpeiden kehitys liikennemuodoittain;

- nykyinen rakennuskanta sekä asuinpinta-alan kehitys rakennus-tyypeittäin;
- nykyiset energia- ja ilmastopoliittiset ohjauskeinot ml. energia- ja päästö-verot, tuet, päätetyt energian käytön tehostamista koskevat määräykset, säädökset jne.;
- nykyisen energijärjestelmän laitos- ja laitekannan laskennallinen poistuma ja uusiin investointeihin käytettävissä olevien teknologiavaihtoehtojen oletettu kehitys kaikilla sektoreilla sekä teknisten parametrien että kustannusten osalta;

Kuva 1. TIMES-mallin komponentit ja yksinkertaistettu yhden alueen rakennekaavio. Alueiden välillä on tärkeimpien energiahöydykkeiden kauppa.



Merkittävin osa mallin laajasta tietokannasta koskee käytössä olevien ja uusien energia-tekniologiavaihtoehtojen teknis-taloudellisia parametreja, kuten niiden investointi- ja käyttökustannuksia, hyötysuhteita, käyttökerroimia, teknistä ja taloudellista käyttöikää jne. Kunkin teknologian teknis-taloudellisen suorituskyvyn kehitys on arvioitu pääosin julkisen lähdekirjallisuuden ja -aineiston pohjalta, mutta osin myös VTT:n teknologia-asiantuntijoiden laatimien arvioiden avulla.

Energiajärjestelmämallin laskentatuloksena saadaan sellaisen energian hankinta- ja loppukäyttäjärjestelmän kehitys, jolla hyötyenergian kysyntä voidaan tyydyttää mahdollisimman kustannustehokkaasti, ottaen huomioon muun muassa talouden eri sektoreiden toimijoille kohdistuvat verot, tuet ja investointien tuottovaatimukset. Mallin tuottamat tulokset käsittävät kaikkien mallissa kuvattujen energiahyödykkeiden, materiaalien ja päästöjen virrat kunakin vuonna tuotannosta, tuonnista ja varastoista loppukulutukseen, vientiin, varastointiin, loppusijoitukseen tai kierrätykseen. Kasvihuonekaasupäästöjen määrät saadaan tuloksista eriteltyä sektoreittain ja päästölajeittain sekä tarvittaessa prosesseittain. Tulokset sisältävät myös muun muassa kaikkien mallissa kuvattujen tuotantolaitosten ja tekniikoiden kapasiteetit, investointikustannukset ja käyttökustannukset. Malli tuottaa tuloksenaan myös energiahyödykkeiden hinnat, jotka edustavat pitkän aikavälin tasapainohintoja.

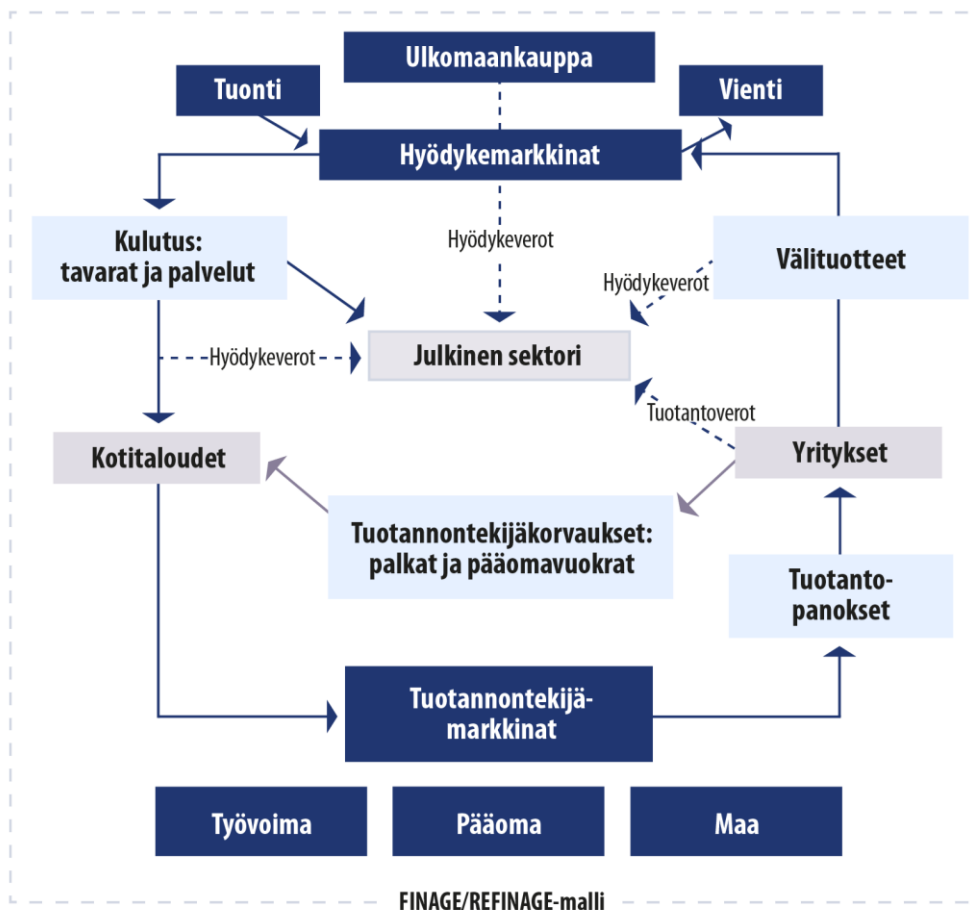
TIMES-VTT -mallin tarkasteluaikaväli voidaan valita vapaasti aina vuoteen 2150 saakka, mutta tarkastelun lähtövuotena on mallin nykyisessä versiossa 2010. Malli on kalibroitu kaikkien maiden osalta IEA:n (International Energy Agency) yksityiskohtaisiin energiataseisiin vuosina 2010 ja 2017. Suomen osalta ne perustuvat Tilastokeskuksen IEA:lle toimittamiin tilastoihin, mutta ovat laskentatavaltaan hieman kansallisesta energiatilastoinnista poikkeavia.

2.2 FINAGE-mallin kuvaus

Tutkimuksessa käytettiin kansantaloutta kuvaavaa laskennallisista yleisen tasapainon mallia talouskasvun taustalla vaikuttavien tekijöiden vaikutuskanavien ja vaikutusten suuruusluokan hahmottamiseen. Tasapainomalli kuvaa taloutta kotitalouksien, kymmenillä toimialoilla toimivien yritysten ja julkisten sektorien päätöksistä käsin. Kotitalouksien keskeisiä päätöksiä ovat kulutus- ja säästämisspätökset sekä työn tarjonta. Nämä päätökset kuvataan kansantaloudellisissa malleissa historiassa havaittujen kulutustottumusten pohjalta, joiden lisäksi kulutuksen kehitykseen vaikuttavat hyödykkeiden suhteellisten hintojen ja kotitalouksien käytettävissä olevien tulojen kehitykset. Yritykset päättävät tuotantopanosten – työ ja pääoma ja välituotteet – käytöstä pyrkien maksimoimaan tuotannon katetta sekä investoinneista sen mukaan, kuinka eri toimialojen tuotto-odotukset kehittyvät ja suhteutuvat toimialojen historialliseen kasvuvauhtiin ja pääoman tuottoasteeseen. Julkisten sektorien toimintaa kuvaavat ennen kaikkea erilaisen verotuksen rakenne sekä tulonsiirrot kotitalouksille ja toisille julkisille toimijoille. Ulkomaita tarkastellaan lähinnä viennin ja tuonnin näkökulmasta, mutta myös kansantalouden ulkoisen velan ja varallisuuden kehittymistä seurataan ja pitkän aikavälin tarkastelussa ulkoinen tasapaino nousee suorastaan määrääväksi.

Mallin rakennetta havainnollistavassa kuvassa (Kuva 2) on esitetty, kuinka kotitaloudet, julkinen sektori ja yritykset ovat taloudellisten päätöksen tekijöitä, joiden valinnoista kumpuavat tavaroiden ja palveluiden kulutuskysyntä ja välituotekysyntä, niiden kysyntä julkisten palveluiden ja hallinnon käyttöön sekä investointikysyntä eri toimialojen investointeihin. Lisäksi kuvasta ilmenee, kuinka osa tavaroiden ja palvelujen loppukysynnästä tulee ulkomailta, ja kuinka tuontitavarat muodostavat osan tavaroiden ja palveluiden kotimaisesta tarjonnasta. Kuvasta näkyvät myös tuotannontekijämarkkinat sekä tuotannontekijätulojen ja erilaisten verotuottojen kohdentuminen. Kysynnän ja tarjonnan tasapaino toteutuu hintamekanismien kautta.

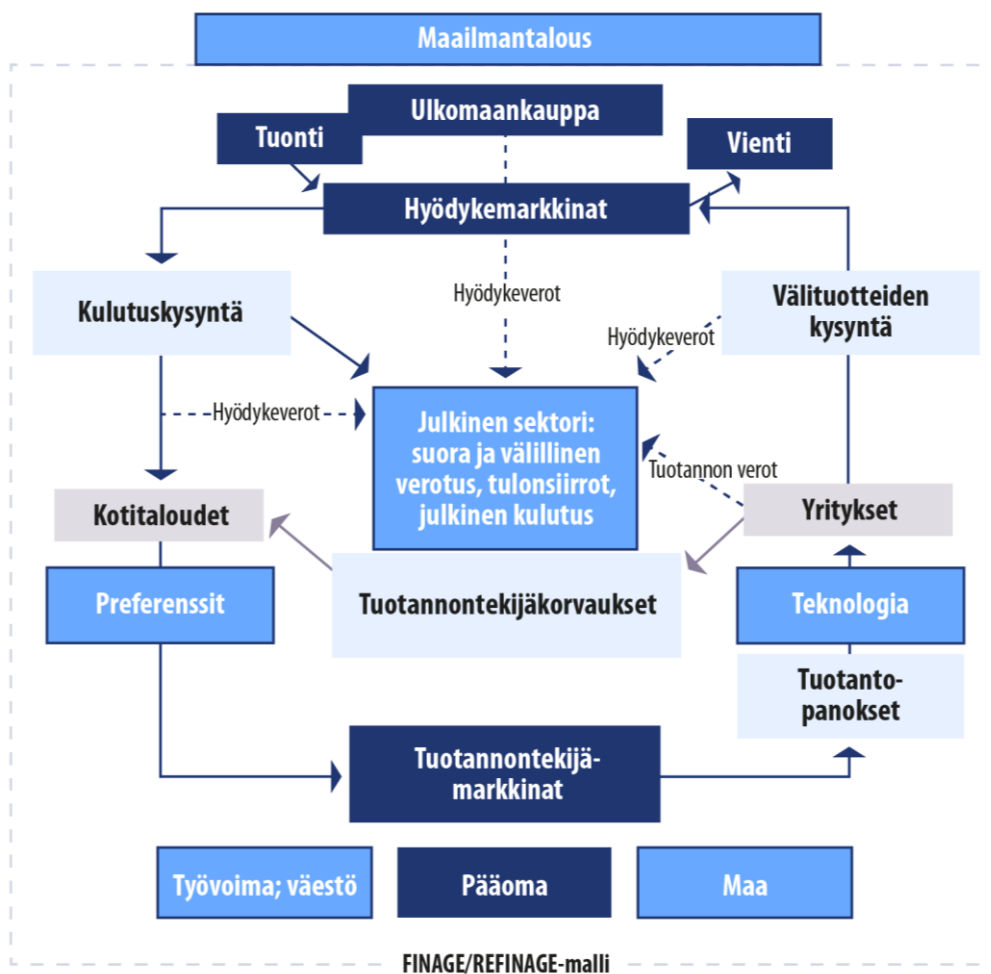
Kuva 2. FINAGE-tasapainomallin rakenne



Kun tasapainomallilla tuotetaan skenaarioita tulevaisuuden kehitysnäkymistä, monia keskeisistä talouskasvun ajureista määritellään mallin ulkopuolella, ja mallin tehtäväksi jää laskea sellaisten talouden tekijöiden kehitysarvio, jotka riippuvat näistä ulkopuolisista tekijöistä. Alla (Kuva 3) kuvataan tällaisia tyypillisiä, mallin ulkopuolisia oletuksia ja niiden roolia tasapainomallin skenaariokäytössä. Lähes poikkeuksetta

taloudellisissa tarkasteluissa käytetään mallin ulkopuolista – eksogeenista – arviota väestön kasvusta. Suomea koskeissa tarkasteluissa käytetään lähes poikkeuksetta Tilastokeskuksen väestöennustetta. Tuotannontekijöistä myös käytettävissä oleva maa-ala on yleensä mallille eksogeeninen, joskin maa-alan käyttöä varioidaan silloin tällöin eri sovelluksissa. Maailmantalouden kasvuennusteet ovat yhden maan tarkasteluissa eksogeenisia, samoin arviot eri hyödykkeiden maailmanmarkkinahintojen kehityksistä ja joskus myös hyödykkeiden kysynnän kasvuvauhdista (mutta esimerkiksi viennin määrä riippuu kotimaisten hyödykkeiden mallissa määräytyvästä hintakehityksestä maailmanmarkkinahintoihin nähden). Julkisen sektorin osalta monet asiat ovat eksogeenisia, mikä on sikäli luontevaa, että ne ovat viime kädessä seurausta politiikkaa koskevista päätöksistä. Kehitykseen vaikuttavasta politiikasta tehdään yleensä ”business-as-usual”-oletus – jo tehdyt politiikkapäätökset otetaan huomioon. Esimerkiksi verokertymät määräytyvät kuitenkin mallista, samoin julkisten menojen arvo.

Kuva 3. Talouden kehityksen ajurit FINAGE-mallissa.



3 Laskentatapausten ja lähtöoletusten kuvaukset

Kuten luvussa 1 esitettiin, vaikutusten arvioinnissa tavoitteena oli laatia laskennalliset arviot erityisesti vuoden 2030 päästötavoitteen kiristämisvaihtoehtojen vaikutuksista, joita verrataan VN TEAS HIISI-hankkeessa laadittuun WEM-skenaarioon. Alla on ensiksi kuvattu lyhyesti WEM-skenaarion keskeiset oletukset. WEM-skenaarion lähtöoletuksia ja laskennallisia arvioita energijärjestelmään ja KHK-päästöjen kehitykseen sekä kansantalouden kehitykseen on kuvattu tarkemmin HIISI-hankkeen työraporteissa Lehtilä ym. (2021) ja Honkatukia (2021) sekä luvuissa 3 ja 4. Maankäyttö- ja maataloussektorin WEM-skenaariota on lisäksi kuvattu Luken laatimassa raportissa (Maanavilja ym., 2021).

3.1 WEM-skenaarion kuvaus

WEM-skenaarion peruslähtökohdat on muodostettu yhteistyössä eri ministeriöiden ja HIISI-hankkeeseen osallistuvien Luonnonvarakeskuksen (Luke), Suomen ympäristökeskuksen (Syke), Terveysten ja hyvinvoinninlaitoksen (THL) ja Pellervon taloustutkimuksen (PTT) kanssa. Keskeiset lähtökohdat WEM-skenaariolle ovat nykyiset (eli 31.12.2019 mennessä päätetyt) politiikkatoimet sekä vielä nykyisin voimassa oleva EU:n ilmasto- ja energiapolitiikka, jonka lähtökohtana on 40 % kasvihuonekaasupäästöjen vähennys vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 päästöihin. Tuontipolttoaineiden ja päästöoikeuden hintakehitysten osalta on käytetty Euroopan komission ohjeistuksia (EC, 2020). Polttoaineiden osalta suositukset koskevat vain tärkeimpien fossiilisten polttoaineiden, eli raakaöljyn, maakaasun ja kivihiihen hintojen kehitystä. Biopolttoaineiden primariselle tuotannolle on TIMES-VTT -mallissa tuotantokustannuskäyrät, jotka ovat niiden hinnanmuodostuksen pohjana ja biopolttoaineiden hinta muodostuu endogeenisesti, eli mallin ratkaisemana kysynnän ja tarjonnan tasapainohintana. Polttoaineiden hintaoletuksia on kuvattu tarkemmin raportissa Lehtilä ym. (2021).

Euroopan komission ohjeistuksen mukainen päästöoikeuden hinta noudattaa oletuksia EU:n ilmastopolitiikasta, jossa KHK-päästöjen vähennys on 40 % vuonna 2030 ja 80 % vuonna 2050. Ohjeistuksen mukaan päästöoikeuden hinta olisi vuonna 2020–2030 ainoastaan 15 €/t CO₂ ja nousisi yli 35 €/t CO₂ hintatasoon vasta vuoden 2045 jälkeen. Nykyinen päästöoikeuden hintataso on noin 50 €/t CO₂, joka heijastelee jo tiukennettua KHK-päästötavoitetta vuonna 2030 ja hiilineutraali-

suustavoitetta vuonna 2050. Tämän vuoksi HIISI-hankkeessa laadittiin WEM-skenaariolle herkkyystarkastelu, jossa päästöoikeuden hinta oletettiin nousevan nykyisestä 50 €/t CO₂ hinnasta tasolle 100 €/t CO₂ vuoteen 2050 mennessä.

WEM-skenaarion lähtökohdat ja arviot liikenteen kehityksestä ovat yhdenmukaiset liikenteen perusennusteen kehitysarvioiden kanssa (Jääskeläinen & Laurikko, 2020; Lehtilä ym., 2021). Asuin- ja palvelurakennuskannan kehitys perustuu olemassa olevan rakennuskannan osalta Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategiassa¹ esitettyihin arvioihin. Arviot uudisrakentamisesta aikajaksolla 2020–2050 perustuvat VTT:n arvioon (Vainio, 2020; Lehtilä ym., 2021). Maatalouden ja maankäyttösektorin osalta WEM-skenaarion lähtökohdat perustuvat Luke:n laatimiin HIISI-hankkeen WEM-laskelmiin (Maanavilja ym., 2021; Lehtilä ym., 2021). Muun teollisuuden osalta WEM-skenaarion TIMES-mallinnuksessa on hyödynnetty Merit Economics:in FINAGE-mallilla tuotetun ENKO-perusskenaarion tuloksia eri teollisuudenalojen tuotoksen kehityksestä vuodesta 2017 vuoteen 2041 (Lehtilä, ym. 2021). ENKO-perusskenaariota on kuvattu tarkemmin luvussa 5.

WEM-skenaariossa on hyödynnetty toimialojen vähähiilitiekarttoja joidenkin teollisuustoimialojen osalta (metallien jalostus, mekaaninen metsäteollisuus), kun on arvioitu kotimaassa valmistettujen teollisuustuotteiden volyymien kehityksiä. Oletukset teollisuuden kehityksistä ovat tärkeitä erityisesti niiden teollisuustuotantolaitosten osalta, jotka ovat suuria KHK-päästöjen pistelähteitä. Näitä ovat metallien ja mineraalijalostus (ml. vedyn valmistus) sekä sementin valmistus, joiden yhteenlasketut KHK-päästöt ovat noin 70 % teollisuuden päästöistä. Metsäteollisuus muodostaa kokonaisuudessaan alle 10 % Suomen KHK-päästöistä, mutta keskeisin vaikutus ilmastonäkökulmasta kohdistuu maankäytön nettonielujen kehityksiin, eli niin sanottuun LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry) -sektoriin.

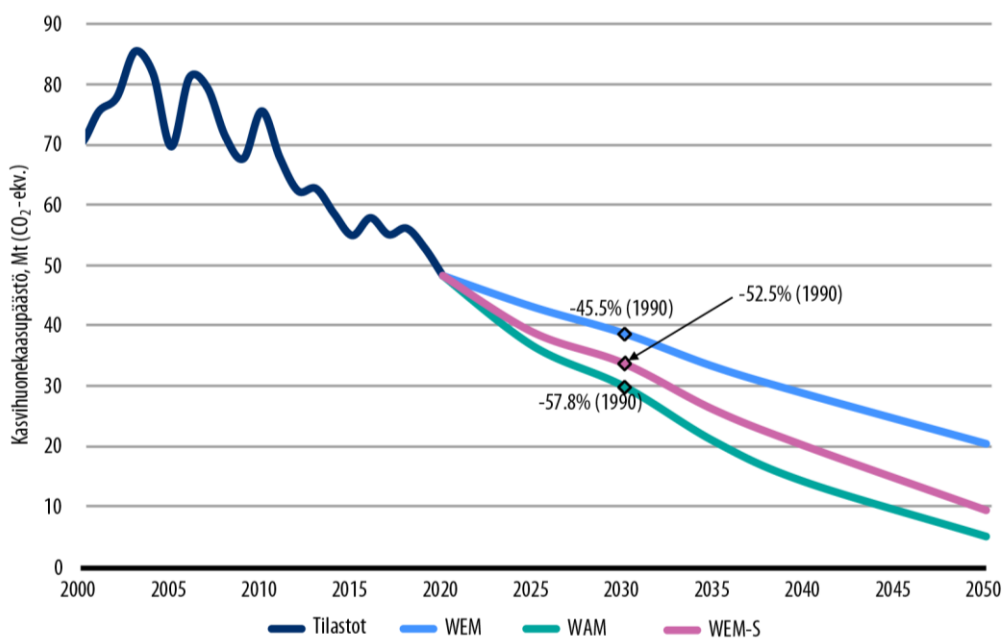
Metsäteollisuuden kehitystä on arvioitu HIISI-hankkeessa yhteistyössä työ- ja elinkeinoministeriön (TEM), maa- ja metsätalousministeriön (MMM) ja Luken kanssa (Maanavilja ym., 2021; Lehtilä ym., 2021). Arviot metsäteollisuuden tuotteiden ja tuotantomäärien kehityksistä ovat keskeiset, koska oletukset vaikuttavat paitsi kotimaisen puuraaka-aineen kysyntään ja hakkukertymiin myös metsäteollisuuden sivutuotteiden tarjontapotentiaaleihin bioenergian tuotannossa.

Alla (Kuva 4) on kuvattu KHK-päästöjen kehitys WEM-skenaariossa sekä WEM-skenaarion herkkyystarkastelussa korkeammilla päästöoikeuden hintatasoilla (50–100 €/t CO₂ vuonna 2021–2050). Lisäksi kuvassa on vertailun vuoksi esitetty

¹ Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia, ympäristöministeriö:
<https://ym.fi/korjausrakentamisen-strategia>

HIISI-hankkeessa laadittu alustava WAM-skenaario, jossa ei ole huomioitu tässä raportissa esitettyjä ilmastolain päästövähennysvaihtoehtoja vuodelle 2030, 2040 tai 2050, vaan ainoastaan hiilineutraalisuustavoite vuodelle 2035 sekä EU-tason 55 % KHK-päästötavoite vuodelle 2030 ja arvio tiukennetusta taakanjakosektorin tavoitteesta Suomelle vuonna 2030 (ks. luku 3.2).

Kuva 4. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys HIISI-hankkeessa laaditussa WEM-skenaariossa, WEM-skenaariion herkkyytarkastelussa (WEM-S) ja alustavassa HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa.



3.2 Ilmastolain KHK-päästövähennysvaihtoehtojen kuvaukset ja laskelmien lähtökohdat

Suomen ilmastopaneeli on laatinut analyysin ja suositukset ilmastolakiin kirjattavista pitkän aikavälin KHK-päästö- ja nielutavoitteista (Suomen ilmastopaneeli, 2021). Ilmastopaneelin konkreettiset suositukset ilmastolakiin kirjattavista tavoitteista liittyen fossiilisten ja prosessiperäisten päästöjen vähentämisen osalta ovat (verrattuna vuoden 1990 tasoon):

- Vähintään 60 % vuoteen 2030, jolloin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 28 Mt CO₂-ekv.
- Vähintään 70 % vuoteen 2035 ja saavuttaa samalla hiilineutraaliuden. Tällöin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 21 Mt CO₂-ekv.
- Vähintään 80 % vuoteen 2040 mennessä, jolloin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 14 Mt CO₂-ekv.
- Vähintään 90 %, mutta pyrkien tasoon 95 % vuoteen 2050 mennessä. Tällöin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 7 Mt, mutta pyrkien rajoittamaan päästöjen määrän korkeintaan tasolle 3,5 Mt CO₂-ekv.

Ilmastopaneelin laskelmat perustuvat arvioon 1,5 °C ilmastotavoitteen mukaisesta globaalisti oikeudenmukaisesta hiilibudjetista Suomelle, jonka taustalla on arvio globaalisti hiilibudjetista (336 Gt CO₂-ekv.) ja sen jaosta maksukykyperiaatteella. Ilmastopaneelin mukaan oikeudenmukainen hiilibudjetti olisi Suomelle 79 Mt vuosille 2020–2050 ja nettopäästövähennystavoite vuoteen 2050 olisi 97-112 % vuoden 1990 tasosta.

Tässä työssä noudatettiin pitkälti ilmastopaneelin suosituksia KHK-päästövähennysurasta. Vuoden 2030 osalta laadittiin skenaariolaskelmat, joissa Suomen tavoitteena olisi paitsi ilmastopaneelin esittämä 60 % päästövähennys myös 55 % ja 65 % KHK-päästövähennystavoite. 55 % tavoite vastaa EU-tason KHK-päästötavoitetta ja 65 % -tavoite edustaa kunnianhimoisempaa KHK-päästötavoitetta, joka voisi vastata tilannetta, jossa maankäytön nettonielut kääntyvät merkittävään laskuun ja hiilineutraalisuuden saavuttaminen vuonna 2035 on vaarantunut. Ilmastopaneelin oletusten mukaisesti maankäytön nettonieluksi oletettiin 21 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035, jolloin KHK-päästöt tulisi rajoittaa vastaavasti 21 Mt CO₂-ekv. -tasolle. Vastaavasti vuodelle 2040 KHK-päästötavoite oli vähintään 80 % ja vuodelle 2050 vähintään 90 %.

55 % -tarkastelussa huomioitiin myös ilmastopaneelin arvio Suomen hiilibudjetista, jonka vuoksi vuoden 2040 KHK-päästötavoitetta kiristettiin 83 prosenttiin, jolloin kumulatiiviset KHK-päästöt olisivat noin 79 Mt. Laskennassa kumulatiiviset kasvihuonekaasupäästöt määritettiin siten, että ne vastaisivat 60 % laskentatapausta. 55 % -tarkastelussa osa investoinneista sallittiin siten toteutuvan vasta 2030-luvulla, jolloin voidaan olettaa, että myös kehitteillä olevat teknologiat ja prosessit olisivat kypsemmät.

KHK-päästökehityksen lisäksi asetettiin taakanjakosektorille tiukennettu KHK-päästötavoite, joka vastaisi EU:n tiukennettua 55 % päästötavoitetta vuonna 2030. EU on esittänyt säädösehdotuspaketissaan useita muutoksia sekä päästökauppa- että taakanjakosektoriin, mutta tässä työssä oletettiin KHK-päästöjen jako nykyisen EU-lainsäädännön mukaiseksi. Taakanjakosektorin tavoitteen määrittelyssä oletettiin, että jäsenmaiden välinen taakanjako olisi määritetty samoilla laskentasäännöillä, kuin mitä nykyinen taakanjako on määritetty. VTT:n arvion mukaan vuoden 2030 taakanjakosektorin

KHK-päästötavoite kiristyisi nykyisestä 39 % tavoitteesta 47 %:in² (verrattuna vuoden 2005 tasoon). Vuoden 2030 taakanjakosektorin tiukennettu tavoite oli sama kaikissa ilmastolain skenaariotarkasteluissa eikä sen oletettu kiristyvän vuoden 2030 jälkeen.

Teollisuutta koskevia keskeisimpiä oletuksia:

Teollisuuden tuotantovolyyymien oletettiin noudattavan WEM-skenaarion mukaista kehitystä lukuunottamatta mineraaliöljynjalostusta. Oletukset liittyen teollisuuden investointeihin ovat keskeiset, kun tavoitellaan yllä esitettyjä ilmastolain KHK-päästövähennysuria. Tässä työssä ei kuitenkaan arvioitu, mitä ohjauskeinoja vaadittaisiin investointien toteutumiseksi, vaan alla esitetyt oletukset ovat eksogeeniset, eli ne ovat mallinnukseen asetettuja lähtöoletuksia. Lähestymistavasta johtuen eksogeeniset investoinnit eivät myöskään näy kustannuksissa, joka tulee huomioida tarkasteltaessa vaikutuksia kansantalouteen.

Terästeollisuudessa SSAB:n masuuneista toinen on oletettu korvautuvan jo 2035 mennessä vetypelkistyksellä ja vuoteen 2045 mennessä koko laitoksen tuotanto, jolloin noin 2,9 miljoonaa tonnia terästä tuotetaan vetypelkistyksellä. CCS:n oletettiin olevan käytettävissä päästöintensiivisten teollisuusprosessien yhteydessä vuodesta 2030 lähtien.

Öljynjalostuksessa oletettiin, että vedyn tuotannossa siirrytään maakaasun höyryreformoinnista kokonaan elektrolyysiin vuoteen 2035 mennessä. Sitä ennen nykyistä hiilidioksidin talteenottoa voidaan kuitenkin laajentaa ja talteenotettu hiilidioksidi voidaan kuljettaa geologiseen varastoon, mikäli se tulee laskentamallin mukaan kannattavaksi. Fossiilisen öljynjalostuksen volyymin oletetaan supistuvan asteittain mineraaliöljytuotteiden kysynnän heikentyessä siten, että vuonna 2050 tuotanto on enää vajaat 60 % vuoden 2019 tasosta.

Maataloutta koskevia keskeisimpiä oletuksia:

Maatalouden eläinmäärien ja viljojen tuotannon kehityksen on oletettu olevan samanlainen kuin VNK:n HIISI-hankkeen WEM-skenaariossa. WEM-kehitysarviot ovat Luken laatimia, yhteistyössä MMM:n kanssa, ja ne johtavat sellaisinaan hyvin varovaisen lievään maatalouden päästöjen laskutrendiin. WEM-arvioista poiketen sen sijaan eloperäisten tuvepeltojen N₂O-päästöjä oletettiin kuitenkin voitavan vähentää melko voimakkaasti, Luken vuonna 2018 Pitko-hankkeen yhteydessä laatiman tavoitteellisen WAM-skenaarion mukaisesti. Skenaariossa turvemaiden N₂O-päästöjä oletetaan voitavan vähentää nykytasosta alle puoleen 2040 mennessä ja 75 % vuoteen 2050

² Komission 14.7.2021 julkaisemassa säädösehdotuspaketissa taakanjakosektorin tavoitteeksi oli asetettu 50 %.

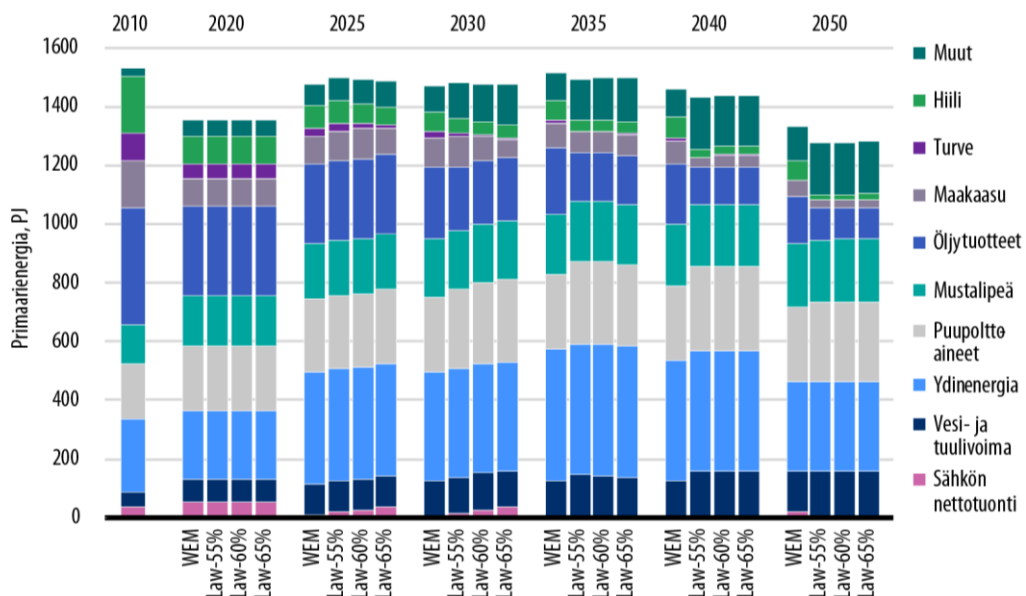
menessä. On huomattava, että Luken tuoreimmassa, vuonna 2021 laaditussa WAM-skenaariossa (Maanvilja ym., 2021) turvemaiden päästöjen realistiset rajoittamismahdollisuudet on kuitenkin arvioitu maltillisemmin, noin 30 % nykytasosta vuoteen 2050 mennessä. Nämä uudet arviot eivät olleet vielä käytettävissä laskelmia tehtäessä.

4 Vaikutukset energiajärjestelmään ja kasvihuonekaasupäästöihin

Tarkasteltujen päästövähennystavoitteiden vaikutukset primaarienergian kulutuksen kokonaismäärään ovat melko pienet. Vuonna 2050 kokonaiskulutus on WEM-skenaariossa noin 1330 PJ ja kaikissa hiilineutraaliustapauksissa vain noin 4 % tätä pienempi. Tiukkojen päästötavoitteiden saavuttaminen tekee toki monet energiankäytön tehostamistoimet kannattaviksi, mutta samalla fossiilista energialähteistä luopuminen johtaa osittain myös energian konversion ja varastoinnin häviöiden kasvuun, esimerkiksi CCS:n tai ns. Power-to-X teknologian käyttöönoton yhteydessä.

Vaikutukset primaarienergiälähteiden jakaumaan ovat kuitenkin huomattavia erityisesti öljytuotteiden, maakaasun ja muiden energialähteiden osalta (kuva 5). Öljytuotteiden kulutus vähenee hiilineutraaliuteen pyrkivissä laskentatapauksissa selvästi WEM-skenaariota nopeammin vuosina 2030–2050. Myös maakaasun kulutuksessa ilmenee tuntuvia vähennyksiä vuodesta 2030 lähtien. Kuvan muut energialähteet sisältävät muun muassa aurinkoenergian ja agrobiomassat, joiden käyttö kasvaa merkittävästi tavoiteskenaarioissa. Agrobiomassoja käytetään erityisesti biokaasun tuotantoon, sillä liikenteen vähähiilitiekartan kanssa yhtenevien oletusten mukaan biokaasun kysyntä kasvaa nimenomaan liikenteessä voimakkaasti. Turpeen energia-käyttö vähenee jo WEM-skenaariossa jyrkästi 2020-luvulla, ja vuoden 2030 jälkeen kulutus pysyy alle 1 TWh:n tasolla kaikissa tavoiteskenaariossa. Hiilen osalta käyttö supistuu olemattomiin kaikilla muilla sektoreilla paitsi prosessiteollisuudessa.

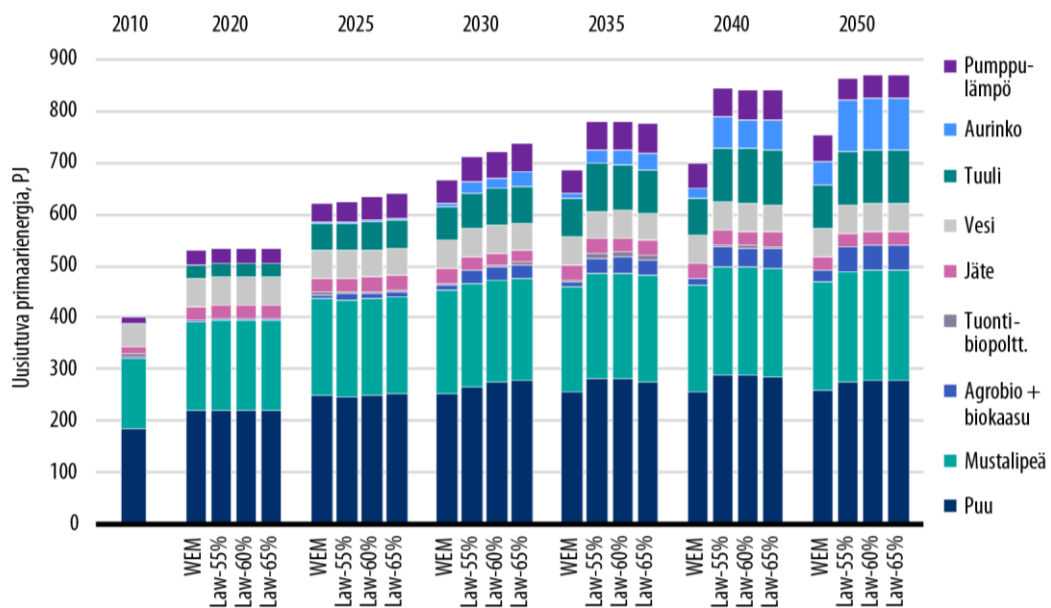
Kuva 5. Primaarienergian kokonaiskulutuksen kehitys energialähteittäin eri laskentatapauksissa.



Vuoteen 2030 mennessä suurimmat fossiilisten polttoaineiden käytön muutokset näkyvät kaikkiaan turpeen ja kivihiilen energiakäytöissä, ja maakaasun kokonaiskäyttö voi sen sijaan tulosten mukaan parhaimmillaan pysyä vuoden 2020 tasolla. Turpeen ja kivihiilen käytön väheneminen heijastuu puolestaan etenkin puupolttoaineiden käytön kasvuna, joka kohdistuu yhdyskuntien sähkön ja lämmön tuotantoon, metsäteollisuuteen ja biojalostamoihin.

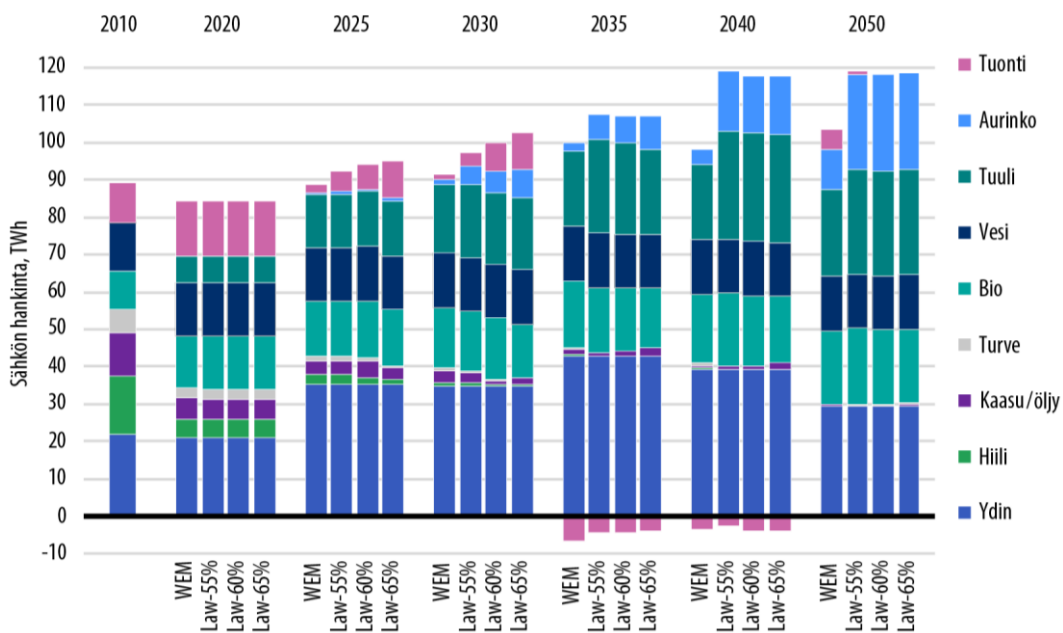
Uusiutuvan energian hyödyntämisen laajeneminen jatkuu huomattavana kaikissa tapauksissa vuoteen 2050 asti (kuva 6). Puuenergian kysyntä kasvaa tulosten mukaan jo WEM-skenaariossa melko tuntuvasti vuoteen 2030 mennessä. Kysynnän kasvu johtuu suurelta osin turpeen käytön jyrkästä vähenemisestä yhdyskuntien sähkön ja lämmön tuotannossa, jossa bioenergialla on keskeinen rooli turvetta korvaavana polttoaineena. Toisaalta bioenergian käytön kasvusta suuri osa liittyy suoraan metsäteollisuuden tuotannon kasvuun, joka näkyy sivutuotevirtojen kasvuna bioenergiaksi. Hiilineutraaliustapauksissa puupolttoaineiden ja peltobiomassojen kysyntä kasvaa edelleen, kun vastaavasti turpeen ja maakaasun kilpailukyky heikkenee edelleen niiden päästövaikutusten takia. Vuoden 2030 tienoilla puuenergian käyttö kasvaa päästötavoitteen kiristyessä, mutta sen jälkeen erot tapausten välillä tasoittuvat. Muiden uusiutuvien osalta erot eri hiilineutraaliustapausten välillä ovat pienempiä, mutta päästötavoitteen kiristyminen näkyy selvästi muun muassa aurinkovoiman kasvun kiihtymisenä vuosina 2025–2035.

Kuva 6. Uusiutuvan primaarienergian hyödyntämisen kehitys eri laskentatapauksissa.



Vuonna 2010 sähkön kokonaiskulutus oli noin 88 TWh, jonka jälkeen 2011–2019 kulutus on vaihdellut 83 ja 87 TWh:n välillä. Vuonna 2020 puolestaan sähkön kokonaiskulutus laski monista syistä poikkeuksellisen alas. On huomattava, että mallinnetut skenaariot perustuvat tulevaisuuden osalta normaalivuosiin, eikä myöskään vuoden 2020 erityisluonnetta ole voitu ottaa huomioon kuin osittain. Laskentaoletusten mukaan talous palautuu koronalamasta, ja WEM-skenaariot tuloksissa sähkön kokonaiskulutus nousee vuonna 2030 jo hieman yli 90 TWh:n (kuva 7). Sähkön kulutus ja tuotanto ovat tällöin WEM-skenaariossa lähes tasapainossa uuden ydinvoimalaitoksen ja nopeasti kasvaneen tuulivoimakapasiteetin ansiosta. Tiukennettu päästötavoite kasvattaa sähkön tuontia 2025–2030. Vuoteen 2050 mennessä energiatalouden sähköistyminen jatkuu edelleen. Kulutus kasvaa WEM-skenaariossa noin 100 TWh:iin ja hiilineutraaliustapauksissa vielä selvästi suuremmaksi, lähes 120 TWh:n tasolle. Uusi ydin-, tuuli- ja muu uusiutuva sähkön tuotanto kattavat kasvavan sähkön kysynnän.

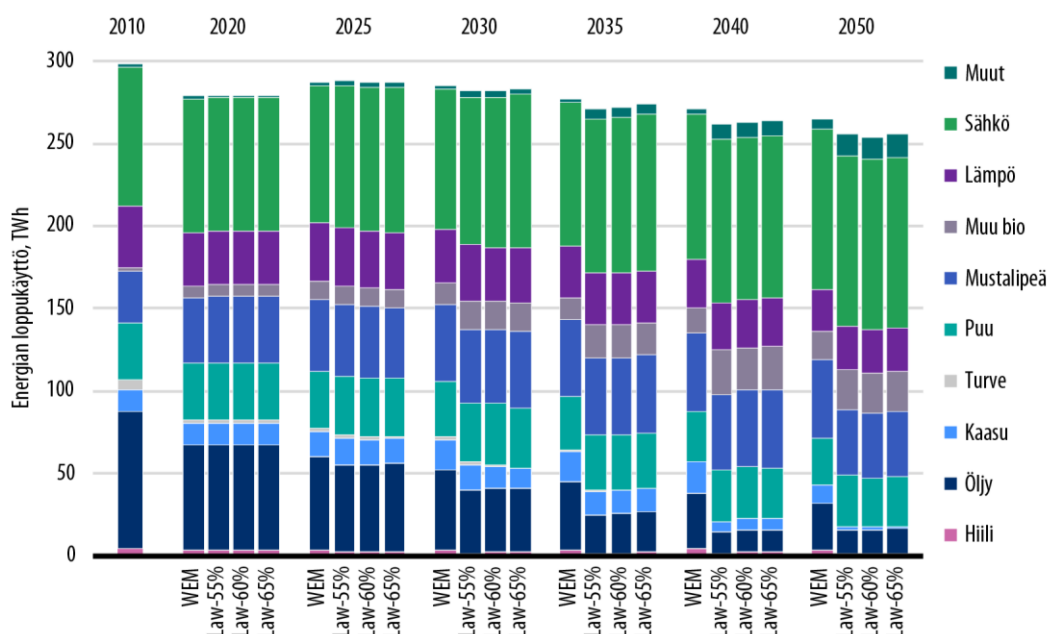
Kuva 7. Sähköenergian kokonaishankinnan kehitys eri laskentatapauksissa.



Sähkön tuotantorakenteessa tapahtuu jo vuoteen 2030 mennessä erittäin suuria muutoksia verrattuna vuoteen 2010. Sekä hiilivoiman että turvevoiman tuotannot putoavat kumpikin murto-osaan vuoden 2010 tasosta, ja melkein yhtä voimakkaasti vähenee myös maakaasuvoiman tuotanto. Fossiilisiin polttoaineisiin ja turpeeseen perustuvasta sähköntuotannosta voidaan siten lähes luopua jo vuoteen 2030 mennessä. Tuulivoiman tuotanto nousee vuonna 2030 noin 20 TWh:n tasolle ja vuonna 2050 hiilineutraaliustapauksissa lähes 30 TWh:iin, aurinkovoima puolestaan noin 25 TWh:iin.

Energian loppukulutuksen kehityksessä näkyy sähköistyminen keskeisenä muutostrendinä kaikilla sektoreilla, ja trendi vahvistuu päästötavoitteiden tiukentuessa (kuva 8). Myös uutta sähkön kulutusta syntyy muun muassa digitalisaation myötä. Sähkön kulutuksen kasvu kompensoituu samalla energian käytön tehostumisella, joten energian loppukulutuksen kokonaismäärä vähenee. Hiilineutraalisuustavoitteen toteuttamisen edellyttämien syvien päästönvähennysten saavuttaminen vaatii WEM-skenaariota vielä paljon voimakkaampaa sähköistymistä kaikilla energian käyttösektoreilla, sillä kaikkia fossiilisia polttoaineita ei voida korvata kestävästi esimerkiksi bioenergialla tai sähköpolttoaineilla riittävän laajassa mitassa ja riittävän nopeasti.

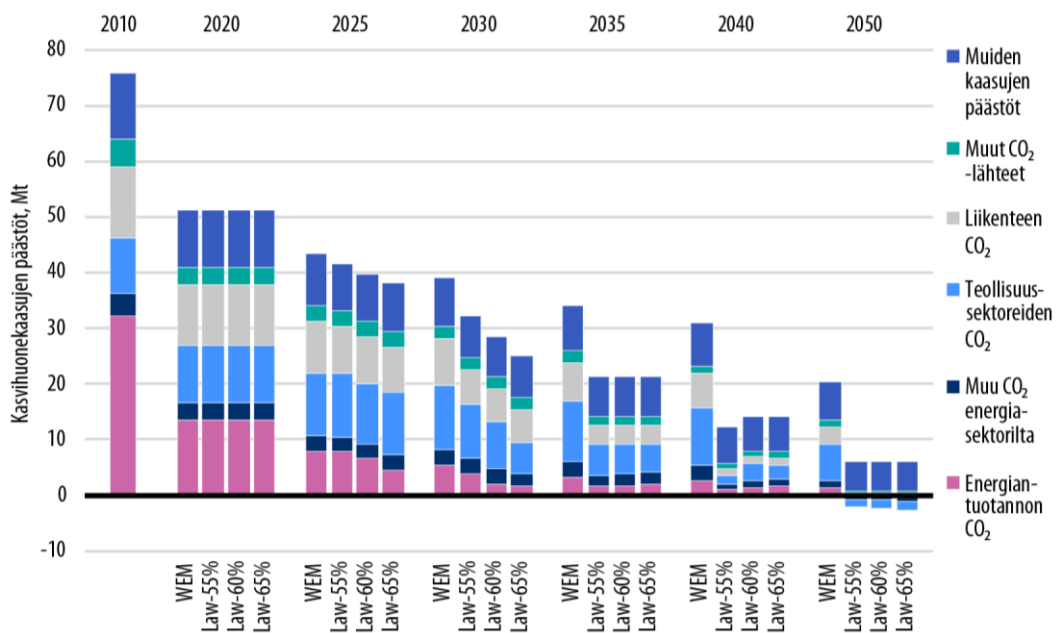
Kuva 8. Energian loppukulutuksen kehitys energialähteittäin eri laskentatapauksissa.



Kaukolämmön kulutus vähenee sekä energiatehokkuuden paranemisen että kilpailukykyisen hiilineutraalin kaukolämmön tuotannon rajallisuuden vuoksi, tosin melko hitaasti vuoteen 2040 saakka. Vuoteen 2050 mennessä kulutus putoaa yli 30 % nykytasosta, mikä samalla vähentää yhdyskuntien yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon potentiaalia huomattavasti. Uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta nousee jo WEM-skenaariossa vuoteen 2030 mennessä suunnilleen WEM-tavoitteen mukaisesti, eli 51 %:iin energian loppukulutuksesta. Hiilineutraalisuusskenaarioissa uusiutuvan energian osuus nousee tavoitetta suuremmaksi ja vuoden 2040 jälkeen hieman vielä 2020-luvun kehityksestä nopeutuen.

Päästötavoitteeksi oli kaikissa kolmessa tavoitteellisessa laskentatapauksessa asetettu vuonna 2035 maankäytön arvioitu hiilinielujen nettomäärä, noin 21 Mt CO₂-ekv., joka siten riittäisi hiilineutraaliuden saavuttamiseen. Vuoden 2050 tavoitteeksi asetettiin kaikissa kolmessa tapauksessa 90 %:n päästönvähennys (vuoteen 1990 verrattuna). Lievimmässä laskentatapauksessa (55 %) vuoden 2035 jälkeiset tavoitteet oli määritetty siten, että kumulatiiviset KHK-päästöt vastaavat 60 %:n tapauksen KHK-päästöjä. Käytännössä tämä siis näkyy 55 %:n tapauksessa jonkin verran 60 %:n tapauksista tiukempuna tavoitteena vuonna 2040. Tulosten mukaan tiukennetut vuoden 2030 KHK-päästötavoitteet saavutetaan kustannustehokkaimmin CO₂-päästöjen lisävähennyksillä erityisesti päästökaupparektorilla, eli energiantuotannossa ja teollisuudessa (kuva 9). Tapauksille yhteinen, 47 %:n vähennystavoite taakanjakosektorilla näkyy tuloksissa kuitenkin myös huomattavana liikenteen päästöjen vähenemisenä. Vuoden 2030 tavoitteen kiristyessä päästövähennystoimet kohdistuvat erityisesti päästökaupparektorille, mikä osoittaa, että taakanjakosektorin 47 %:n tavoite on itse asiassa jo hyvin tiukka, selvästi haasteellisempi kuin lievin, 55 %:n kokonaistavoitteen tapaus.

Kuva 9. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys pääluokittain eri laskentatapauksissa.

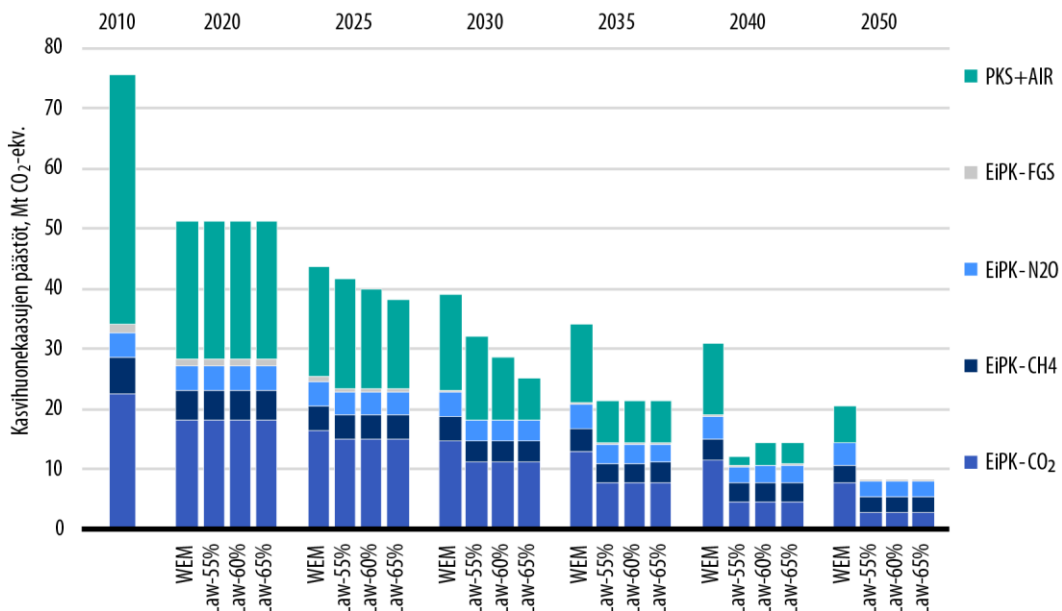


Odotusten mukaisesti päästötavoitteiden tiukentaminen vuonna 2030 näkyy siten pääosin päästökaupparektorilla, ja taakanajosektorin päästöjä ei käytännössä kannata vähentää 47 %:n tavoitetta enempää. Kun energiantuotannon CO₂-päästöt vähenevät vuonna 2030 WEM-skenaariossa 5,3 Mt:n tasolle, 65 %:n tapauksessa ne putoavat siitä vielä 66 % alemmas noin 1,8 Mt:n tasolle. Kuten päästökuvasta voidaan nähdä,

energiantuotannon päästöt vähenevät tasaisesti tavoitteen tiukentuessa. Myös teollisuuden CO₂-päästöjen osalta tiukentuvien tavoitteiden vaikutus on huomattava, mutta suhteelliset lisävähennykset jäävät energiantuotantosektoria pienemmiksi. Päästökauppasektorin kokonaispäästöt vähenevät hiilineutraaliustapauksissa 7–14 miljoonan tonniin vuonna 2030, joten 55 %:n tapauksessa lisävähennys WEM-skenaarion tasoon jää itse asiassa melko pieneksi, muutamaan miljoonaan tonniin.

Taakanjakosektorin vuoden 2030 tavoite vastaa absoluuttisena 18,2 Mt CO₂-ekv.:n määrää. Vuoden 2030 jälkeen taakanjakosektorin päästöt vähenevät kaikissa kolmessa tapauksessa noin 14,3–14,5 Mt:n tasolle vuonna 2035 ja 10,6–10,8 Mt:n tasolle vuonna 2040. Päästöt vähenevät siten vuonna 2035 noin 58 % ja vuonna 2040 noin 69 % vuoden 2005 vertailutasosta (kuva 10). Vuoden 2030 jälkeen huomattavia lisävähennyksiä voidaan tulosten mukaan saavuttaa vuoteen 2040 mennessä erityisesti kotimaanliikenteessä, lähes 5 Mt CO₂-ekv., mutta myös rakennusten lämmityksessä (noin 1 Mt), työkoneissa (noin 1 Mt) ja maataloudessa (noin 0,5 Mt). Sekä lämmityksen että liikenteen päästöt ovat tällöin pudonneet yli 90 % vuoden 2010 tasosta vuoteen 2040 mennessä, mutta maatalouden päästöt vain 25 %. Maatalouden päästönvähennysten vaikeuden huomioon ottaen tulosten mukainen vähennyskin on kuitenkin jo hyvällä tasolla, ja se saadaan pääosin aikaan turvepeltojen päästöjä rajoittamalla.

Kuva 10. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys päästölajeittain taakanjakosektoreilla sekä päästökauppasektorilla ja kotimaan lentoliikenteessä eri laskentatapauksissa.

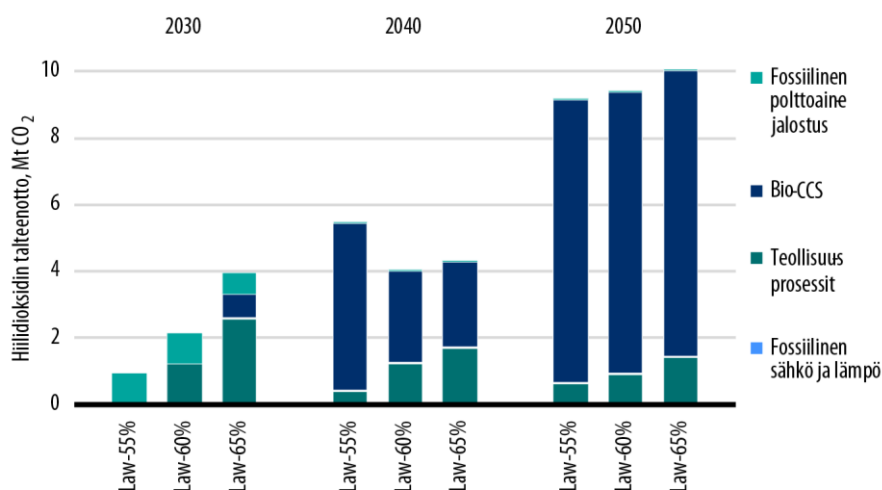


PKS: päästökauppasektori; EIPK: taakanjakosektori; AIR: kotimaan lentoliikenne; FGS: fluorikaasut; N₂O: typpioksiduuli; CH₄: metaani; CO₂: hiilidioksidi

Liikenteessä nopeasti tiukentuvien vähennystavoitteiden saavuttaminen muodostuu hankalaksi jo vuoden 2030 kohdalla, jolloin tiekartan mukaan tavoitteena on jo 50 %:n vähennys vuoteen 2005 verrattuna. Tätä nopeampia vähennyksiä on vaikea saavuttaa erityisesti vanhan ajoneuvokannan uudistumiseen liittyvien hitaustekijöiden vuoksi. Sen jälkeen tavoitteet tulevat uudelleen hyvin haasteellisiiksi vuoden 2045 tienoilla, jolloin liikenteen päästöjen tulisi tavoitteiden mukaan pudota jo lähelle nollaa.

CCS-tekniologialla ei lievimmässä, 55 %:n laskentatapauksessa ole näkyvää roolia ennen vuotta 2040, mutta päästötavoitteen tiukentuessa sen käyttöönotto näyttää tulosten mukaan kustannustehokkaalta teollisuudessa jo vuoden 2030 tienoilla, eli ennen kuin teollisuuden sähköistyminen alkaa toden teolla voimistua (ml. vetytalous). Tällöin CCS-tekniologiaan investoitaisiin vielä jäljellä olevan maakaasuvedyn tuotannon yhteydessä, jossa talteenotto on myös verraten edullista, sekä myös teollisuusprosesseissa (sementin valmistuksessa). Vuodesta 2040 lähtien investoinnit BECCS-tekniologiaan korostuvat (biojalostamot, metsäteollisuus ja suuret biokattilat), ja tällöin myös 55 %:n tapauksessa investoinnit olisivat merkittäviä oletetun tiukentuvan päästötavoitteen vuoksi. Vuonna 2030 talteenotto olisi eri tapauksissa 4–5 miljoonaa tonnia ja vuonna 2050 9–10 miljoonaa tonnia. Vaikka CCS on siten tulosten mukaan yksi kustannustehokkaista päästöjen vähennyskeinoista, talteenotetun hiilidioksidin kokonaismäärät vuonna 2050 jäävät selvästi pienemmiksi kuin useissa aiemmissa VTT:n energijärjestelmätarkasteluissa ja pohjoismaisissa skenaariotarkasteluissa.

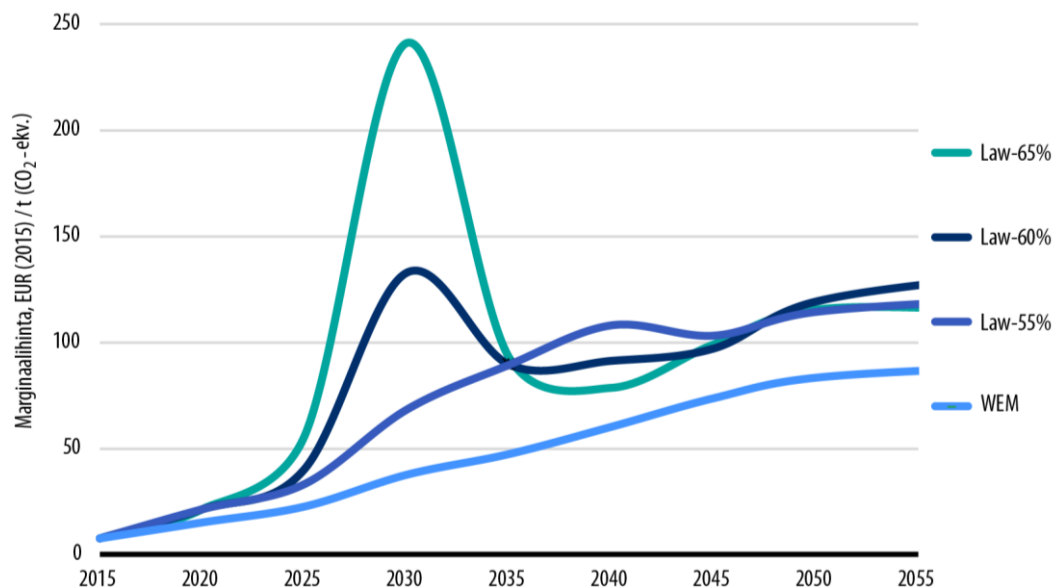
Kuva 11. Hiilidioksidin talteenoton kehitys vuosina 2030–2050 eri laskentatapauksissa.



BECCS-tekniikan ansiosta kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt vähenevät tulosten mukaan vuonna 2050 itse asiassa jopa tavoitetta enemmän, sillä vuodelle 2050 asetettu 90 %:n tavoite vastaisi 7,1 miljoonan tonnin päästöjä. Hiilineutraaliustapauksissa nettopäästöt jäävät 3,6–4,2 miljoonaan tonniin. Tavoitteen ylittäminen johtuu siitä, että koko EU:lle on mallilaskelmissa asetettu vähintään 85 %:n päästöjen vähennystavoite, jonka mukaan mallissa päästöoikeuksien hinta muodostuu endogeenisesti. BECCS:in kannattavuus selittyy tällöin päästöoikeuksien myynnillä.

Mallilaskelmien tuloksena saadaan myös päästötavoitteiden saavuttamisen rajakustannukset, jotka kertovat, kuinka paljon lisäkustannuksia aiheutuisi yhden tonnin lisävähennyksestä kunakin vuonna (kuva 12). Vuoteen 2030 mennessä rajakustannus nousee erittäin voimakkaasti tiukimpien tavoitteiden tapauksissa, sillä aikajänne on tarvittaviin muutoksiin nähden lyhyt ja monet teknologiat eivät ole vielä kaupallistuneet. Yhden lisätonnin vähentäminen aiheuttaisi tällöin 65 %:n tapauksessa noin 250 euron lisäkustannuksen. Myös 60 %:n tapauksessa rajakustannus on vuoden 2030 tilanteessa melko korkea, noin 130 €/tonni. Lievimmässä 55 %:n tapauksessa vuoden 2040 tiukennettu tavoite kasvattaa myös hieman rajakustannuksia. Vuonna 2050 rajakustannukset nousevat kaikissa hiilineutraaliustapauksissa tasolle 120–125 €/tonni, mikä on laajamittaisen CCS:n kannattavuuden kannalta jo riittävän korkea hinta.

Kuva 12. Päästöjen vähentämisen rajahinnan kehitys eri laskentatapauksissa.



Tulosten mukaan esimerkiksi kotimaanliikenteen hiilidioksidipäästöjen puolittaminen vuoteen 2030 mennessä aiheuttaa tuntuvasti suuremmat yksikkövähennyskustannukset kuin päästöjen marginaalihinta päästökauppa- sektorilla. Kotimaanliikenteen päästöjen rajahinnaksi saadaan vuoden 2030 tienoilla vajaat 200 €/tonni, ja myöhemmin vuoden 2045 tiukka hiilettömän liikenteen tavoite nostaa rajahinnan uudelleen korkeaksi, lähes tasolle 450 €/tonni. Vuoteen 2050 mennessä liikenteen rajahinta alkaa kuitenkin jälleen laskea. Mallilaskelmien mukaan päästöjen vähentämisen rajahinnat ovat siten varsin herkkiä tavoitteiden tiukentumiselle etenkin silloin, kun asetetaan sektorikohtaisia tavoitteita. Hintojen voimakas nousu heijastaa yleensä lisävähennysten vaatiman järjestelmän muutosnopeuden kasvua luonnollista laitekannan uusiutumista suuremmaksi, mitä on vaikea saavuttaa ilman tuntuva taloudellista ohjausta.

5 Kansantalouden vaikutusarviot

5.1 Kansantalousskenaarioiden lähtökohdat ja WEM-skenaariion kuvaus

Kansantalousskenaariion lähtökohdat ovat pitkälti ENKO-hankkeeseen (Honkatukia ym., 2021) perustuvan perusskenaariion mukaiset. WEM-skenaario rakentuu toimialakohtaisten tuottavuustrendien ja maailmanmarkkinoiden kasvutrendien sekä väestöennusteen ympärille. Skenaariossa on sovellettu Tilastokeskuksen vuoden 2019 väestöennustetta, jonka mukaan työikäisen väestön määrä on laskussa koko tarkastelujakson ajan. Vaikka tämän tutkimuksen varsinaisissa pitkän aikavälin skenaarioissa korona on kuitenkin jäänyt jo taka-alalle, ja pidemmällä aikavälillä koronan vaikutuksista voidaan olettaa toivutun, lähivuosien kasvuun sillä on kuitenkin vaikutuksensa. Tässä oletetaan, että talous vähitellen palaisi valtionvarainministeriön (VM) keväällä 2020 ennustamalle tasapainokasvu-uralle. Toimialatasolla tarkastelu perustuu kuitenkin omiin arvioihin ennen kaikkea tuottavuuden ja pääoman tuottoasteen pitkän aikavälin trendeistä. Perusskenaariossa oletetaan, että tuottavuuskasvussa päästään lähemmäksi pidemmän aikavälin kasvua kuin viime vuosina. Hyödyketasolla pitkän aikavälin trendejä ovat ennen kaikkea maailmanmarkkinoiden volyymin ja maailmanmarkkinahintojen kehittyminen, kun maailmantalous elpyy koronakriisistä.

Tarkastelussa ennakoidaan myös käynnissä olevien politiikkatoimien vaikutuksia. 2020-luvun edetessä työllisyyden kehitykseen vaikuttaa eniten eläkeuudistus, joka nostaa vanhempien ikäluokkien työhönsallistumisastetta. Lisäksi oletetaan, että julkisen palvelutuotannon tuottavuus kohenee (puolen prosentin tuottavuuden kasvu) ja sen työvoimantarpeen kasvu jää pienemmäksi kuin ilman uudistuksia. Skenaariossa oletetaan myös, että julkista taloutta aletaan tasapainottaa hallituskauden lopulla, jolloin velkasuhteen kasvu saadaan taittumaan. Ulkoisen tasapainon oletetaan löytyvän kansantalouden säästämisasteen kautta siten, että kotimainen säästäminen sopeutuu vakiinnuttamaan kansantalouden ulkoisen velan suhteen kansantuotteeseen. Skenaariossa otetaan huomioon ilmasto- ja energiapolitiikka jo päätettyjen toimien osalta. Sen vaikutukset kohdistuvat skenaariossa ennen kaikkea energiantuotantoon ja -käyttöön, jonka osalta käytetään TIMES-VTT -mallilla tehtyjä kehitys-arvioita, sekä liikenteeseen, jossa liikennesuoritteiden, ajoneuvokannan ja sen käyttövoimien ja polttoaineiden osalta noudatetaan VTT:n ALIISA-mallilla tehtyjä arvioita (Jääskeläinen & Laurikko, 2021).

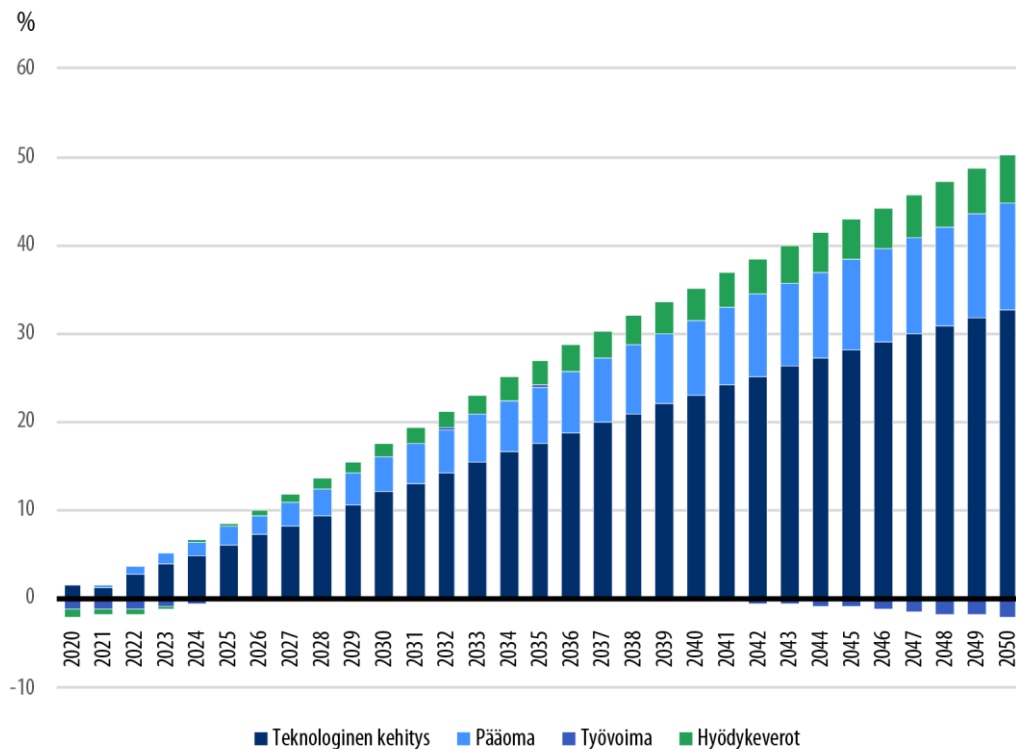
Tuottavuuden ja maailmanmarkkinoiden kasvua koskevat oletukset on kuvattu taulukoon 1 vuosien 2020–2050 keskimääräisinä vuosimuutoksina. Laskenta perustuu toimialakohtaisiin kasvutrendeihin, mutta tässä kuvattu kokonaistuottavuus on arvioitu jälkikäteen, ja siinä heijastuvat esimerkiksi energiasektoria koskeva pääomaintensiivisyyden kasvu, jonka ilmastotavoitteiden tavoittelu aiheuttaa. Monilla yksityisillä palvelualoilla tuottavuuden kasvu on taulukon kuvaamaa keskiarvoa nopeampaa, mutta kulttuuripalveluissa (osa taulukon muita palveluita) tuottavuuden kasvu on ollut ja jää negatiiviseksi).

Taulukko 1. Tuottavuuden ja maailmanmarkkinoiden keskimääräinen vuosikasvu prosentteina 2020–2050.

	Tuottavuus	Maailmanmarkkinat
Maa- ja metsätalous	2,2	0,9
Kemianteollisuus	1,1	5,7
Rakentaminen	0,0	0,6
Elektroniikkateollisuus	2,2	3,2
Öljyn jalostus	1,5	5,0
Perusmetallit	1,7	-2,6
Kaivosteollisuus	0,2	7,7
Muu teollisuus	2,2	2,9
Muut palvelut	-0,3	1,5
Yksityiset palvelut	0,6	1,7
Julkiset palvelut	0,8	0,6
Selluloosa ja paperi	0,1	0,6
Kauppa	3,4	0,6
Kuljetus	1,7	0,7
Sähkö ja lämpö	-0,7	2,2

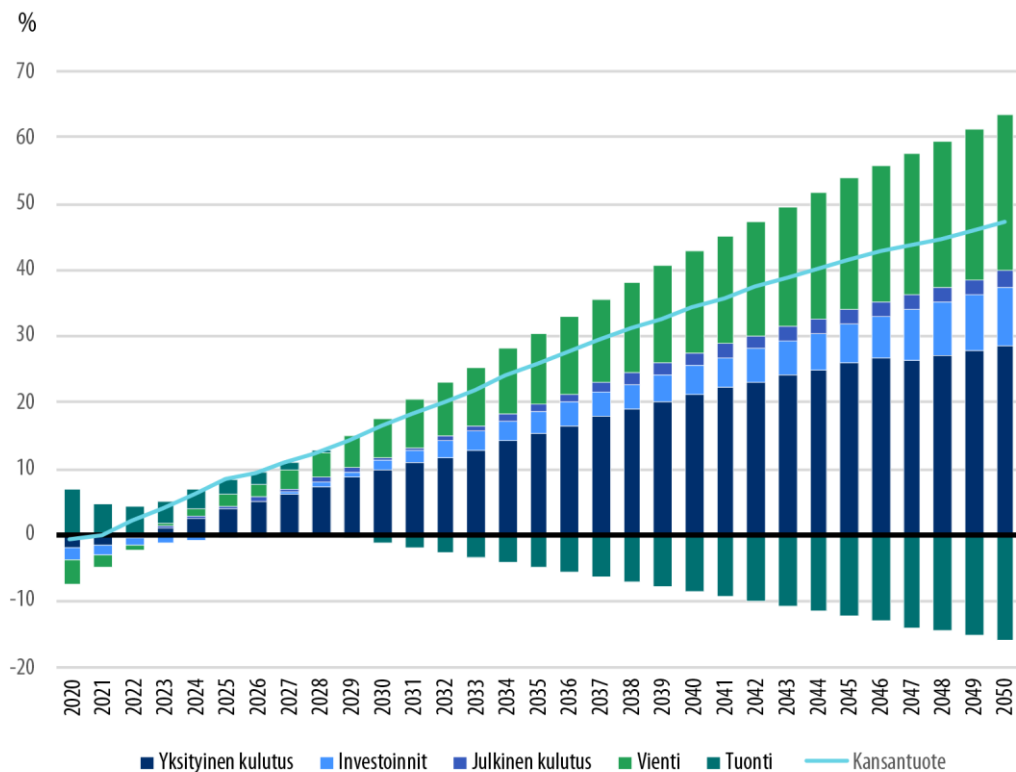
Alla esitettyyn kuvaan (Kuva 13) on koottu työpanoksen, pääomapanoksen ja teknologisen kehityksen mahdollistaman tuottavuuden kasvun kautta syntyvät kasvukontribuutit perusskenaariossa vuosina 2020–2050. Vuonna 2020 työllisyys laskee 2,5 prosenttia, mikä pienentää kansantuotetta reilulla prosenttiyksiköllä. Työllisyys toipuu vuoden 2021 aikana, mutta vuosikymmenen edetessä työikäisen väestön supistuminen johtaa siihen, että työpanoksen kautta ei synny uutta kasvua. Niinpä kasvu on teknologisen kehityksen ja investointien varassa. Vuoteen 2030 mennessä teknologian kehittymisen kautta syntyy kasvua noin 10 prosenttia vuoteen 2020 verrattuna ja vuoteen 2050 mennessä noin 33 prosenttia. Pääoman kautta syntyvä kasvu on noin puolet tästä. Kansantuotteen keskimääräinen kasvuvauhti on noin 1,5 prosenttia, mutta henkeä kohti laskettu kansantuotteen kasvu jää 1,2 prosenttiin.

Kuva 13. Kansantuotteen tarjontaerien kasvuhajotelma perusskenaariossa vuosina 2020–2050.



Seuraavaan kuvaan (Kuva 14) on kuvattu kansantuotteen käytön vaikutus kansantuotteen kasvuun perusskenaariossa. Kuvasta näkyy, kuinka viennin vaikutus vuodesta 2020 pysyy jonkin aikaa negatiivisena, mutta viennin elpyessä lähivuosina se kääntyy taas positiiviseksi ja on 2030-luvulla noin kolme neljäsosaa kulutuskysynnän vaikutuksesta. Kotitalouksien kulutus ei sukella samalla tavoin kuin vienti, ja sen kasvu on keskimäärin vajaat kaksi prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Investointien vaikutus kansantuotteen kasvuun on hieman yli seitsemän prosenttiyksikköä vuoteen 2050 mennessä. Julkisen kulutuksen kasvuvaikutus jää sen sijaan pieneksi, kun hallinnon tehostuminen kompensoi hyvinvointipalvelujen kasvavaa kysyntää.

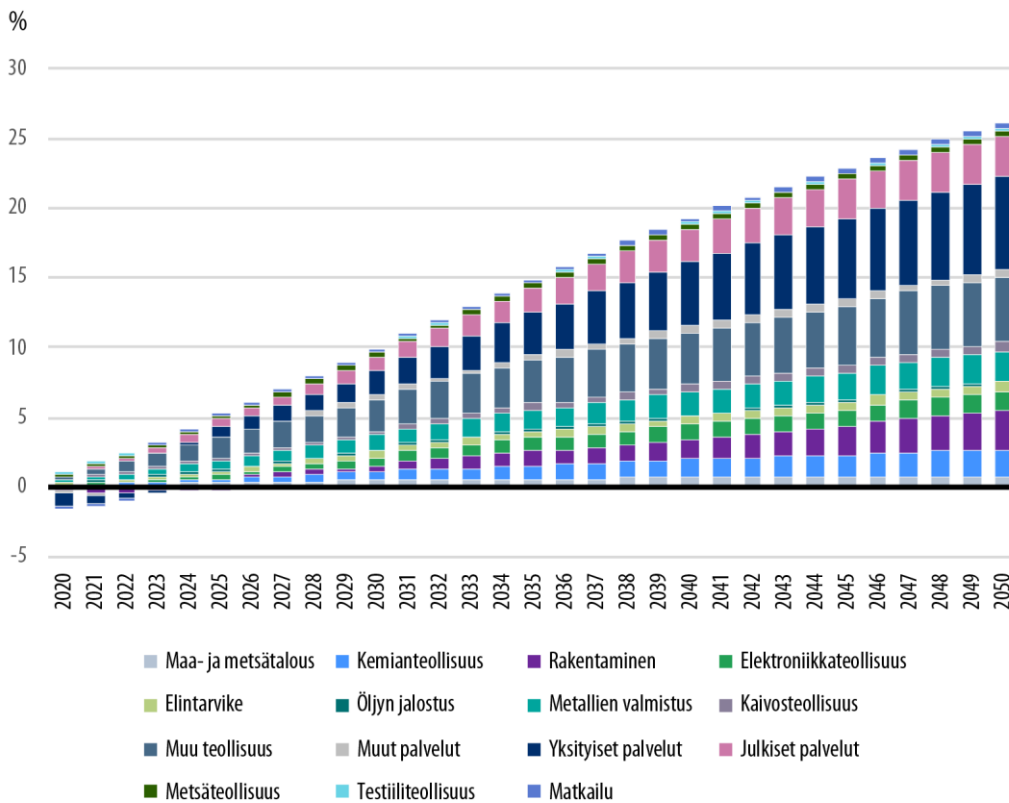
Kuva 14. Kansantuotteen kysyntätekijöiden kasvuhajotelma perusskenaariossa vuosina 2020–2050.



Alla esitettyssä kuvassa (Kuva 15) tarkastellaan kasvua toimialojen näkökulmasta. Kuvaan on koottu arvonlisän kautta syntyvä kasvuvaikutus toimialaryppäittäin. Suurin kasvuvaikutus syntyy yksityisten palvelujen kautta, joihin lukeutuvat monet liike-elämän palvelut sekä esimerkiksi asuntojen vuokraus ja hallinta (7,5 prosenttia vuoteen 2050 mennessä). Muun teollisuuden tuotteiden (konepajateollisuus, ajoneuvojen valmistus, puutuotteiden valmistus ja elintarviketeollisuus) kasvuvaikutukset ovat 5 prosenttiyksikköä arvonlisän kautta syntyvästä noin 32 prosentin kasvusta. Julkisten palvelujen (mm. hoivasektorit) kautta syntyvä kasvu on 3 prosenttia

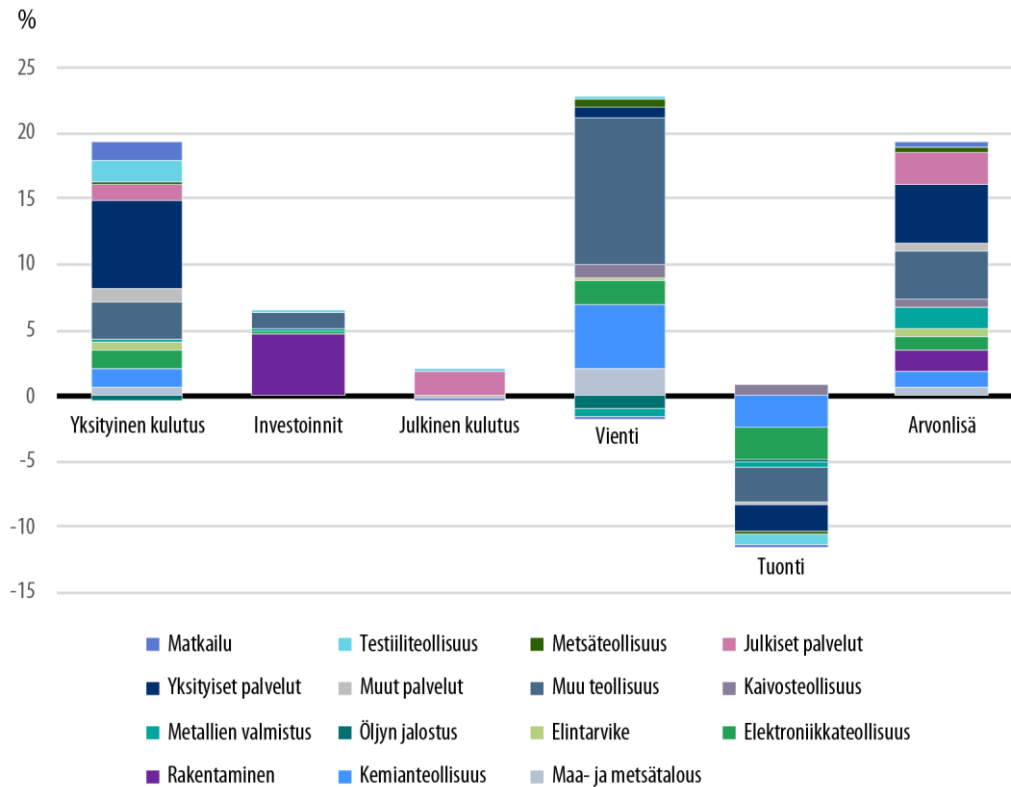
ja kaupan kautta kasvua syntyy 2 prosenttiyksikköä. Kuljetustoimialojen vaikutus on noin 1,8 prosenttia, ja sähkö- ja lämpöhuollon kasvua noin prosentin verran vuoteen 2050 mennessä. Arvonlisän kautta tarkasteltuna monet teollisuudenalat näyttävät siis keskeisinä kasvun ajureina.

Kuva 15. Toimialojen arvonlisän vaikutus kansantuotteeseen perusskenaariossa.



Seuraavassa kuvassa (Kuva 16) tarkastellaan kasvuvaikutuksia toisaalta kysynnän käyttöerien ja tuoteryhmien kautta, toisaalta toimialojen arvonlisän kautta. Kuvasta nähdään, että yksityiset palvelut ovat kulutuksen kautta syntyvistä kasvuvaikutuksista suurimmat; viennin kautta taas muu teollisuus (ajoneuvot, konepajateollisuuden tuotteet) on suurin. Monen vientiteollisuuden tuoteryhmän viennin kasvuvaikutus sen sijaan jää negatiiviseksi. Osittain tämä johtuu vuoden 2020 aikana tapahtuneesta pudotuksesta, joka näkyy vielä vuonna 2040 eräiden toimialojen osalta. Arvonlisän kautta (joka ei sisällä hyödykeverojen kasvuvaikutusta, mutta kylläkin tuotannon verojen ja -tukien) suurin vaikutus syntyy yksityisten ja julkisten palvelujen ja rakentamisen toimialoilta. Myös kaupan vaikutus on suuri, vaikka se ei kansantuotteen käyttöerissä suoraan näykään – kaupan alojen merkitys on tuotteiden välittämisessä valmistajilta kuluttajille. Myös huoltotoiminnalla on kaupan aloilla suuri merkitys.

Kuva 16. Kansantuotteen kasvuhajotelma perusskenaariossa yhteensä vuosina 2020–2050, hyödykkeet ja toimialat.



5.2 Ilmastolain päästövähennysvaihtoehtojen kansantaloudelliset vaikutukset

Ilmastolain KHK-päästöjen rajoitusskenaariot perustuvat WEM-skenaarioon nähden uusista toimenpiteistä energiantuotannossa ja teollisuudessa sekä liikenteessä ja rakennusten lämmityksessä (vrt. luku 4). Kansantaloudellisessa arvioinnissa otetaan lähtökohdaksi TIMES-VTT -mallilla tehtyjen laskelmien tulokset polttoaineiden ja energiantuotannon ja -kulutuksen muutoksista eri sektoreilla sekä ne investoinnit, joita muutoksen toteuttaminen vaatii. Keskeiset lähtökohtaoletukset ovat siten:

- TIMES-VTT -mallin arviot energiantuotannon uusiutumisesta (polttoaineiden käyttö, investoinnit uusiutuvaan energiaan ja ydinvoimaan).
- TIMES-VTT -mallin arviot rakennussektorin ja keskeisten teollisuudenalojen energiankäytön uusiutumisesta (polttoaineet, investoinnit).

Liiketeen osalta arvio käyttää liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) vähähiilitiekarttaa WEM- ja WAM-skenaarioiden muodostamiseen, jossa keskeinen muutos on ajoneuvokannan sähköistyminen jo 2020-luvun kuluessa (LVM, 2021).

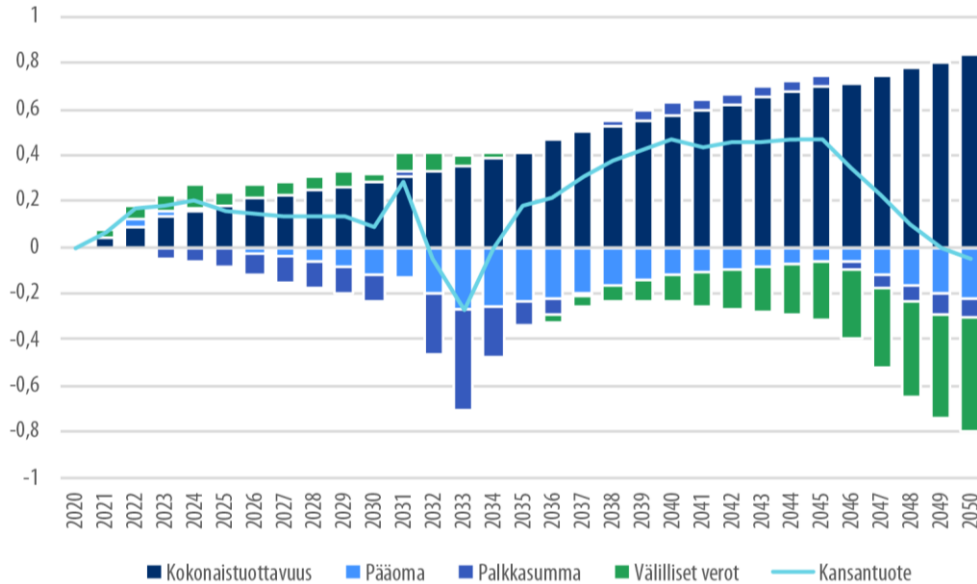
Vaikutukset kansantalouteen syntyvät tarvittavien toimien aiheuttamista lisäkustannuksista, jotka kasvavat kiristyvien päästöjen vähennystavoitteiden myötä. Kustannukset kattavat ennen kaikkea lisäinvestoinnit energiateknologiaan. Investoinnit uudistavat talouden tuotantorakennetta, josta syntyy merkittävää tehostumista ja myös uusia mahdollisuuksia, kun energiatalous sähköistyy, ja sähkön tuotanto muuttuu päästöttömäksi. Uudet teknologiat korvaavat fossiilisia myös tuotannossa, jolloin tuotannon energia- ja materiaalitehokkuus kasvavat.

Arvioissa ei ole ollut mahdollista kovin kattavasti ottaa huomioon toimenpiteiden käynnistämiseksi tarvittavia taloudellisia kannustimia esimerkiksi investointitukien ja päästöverotuksen osalta. TIMES-VTT -mallin tuloksista on pääteltävissä, että huomattavien päästövähennysten saavuttaminen nopeassa aikataulussa johtaa päästövähennysten rajakustannusten kasvuun huomattavasti EU:n päästöoikeuksien oletettua hintatasoa korkeammaksi. Tästä syystä on luultavaa, että myös kotimaista päästöverotusta jouduttaisiin tiukentamaan, jotta syntyisi toimenpiteiden vaatima taloudellinen kannustin. Samoin näyttää selvältä, että monet vaadittavista investoinneista vaatisivat tukea toteutuakseen nopeassa aikataulussa. Taloudellisessa tarkastelussa oletetaan, että päästöverotus kiristyisi päästöoikeuden hintaa nopeammin, mutta ei kuitenkaan TIMES-VTT -mallinnuksen arvioinnin mukaiselle hyvin korkealle tasolle.

5.2.1 55 % päästövähennysskenaario

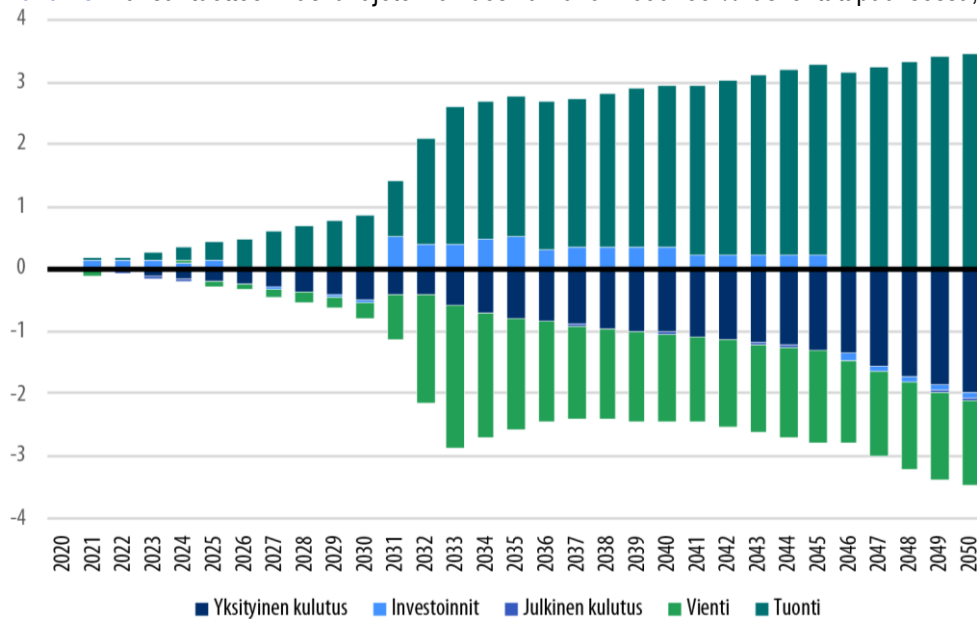
Mallinnuksen tuloksia tarkastellaan alla skenaario kerrallaan. Alla (Kuva 17) on esitetty 55 % päästövähennysskenaarioiden tulokset kansantuotteen tarjontaerien kasvuhajotelmana. Lisäinvestoinnit kohdistuvat pääasiassa jalostuksen toimialoille ja rakentamiseen, mutta koska ne ovat varsin suuria, syrjäyttävät ne investointeja muualla taloudessa. Pidemmällä tähtäimellä uudistuva ja tehostuva tuotantorakenne nostaa kokonaistuottavuutta, mikä kompensoi lisäkustannuksia.

Kuva 17. Kansantuotteen tarjontaerien kasvuhajotelma vuosina 2020–2050 -55 % laskentatapauksessa, %.



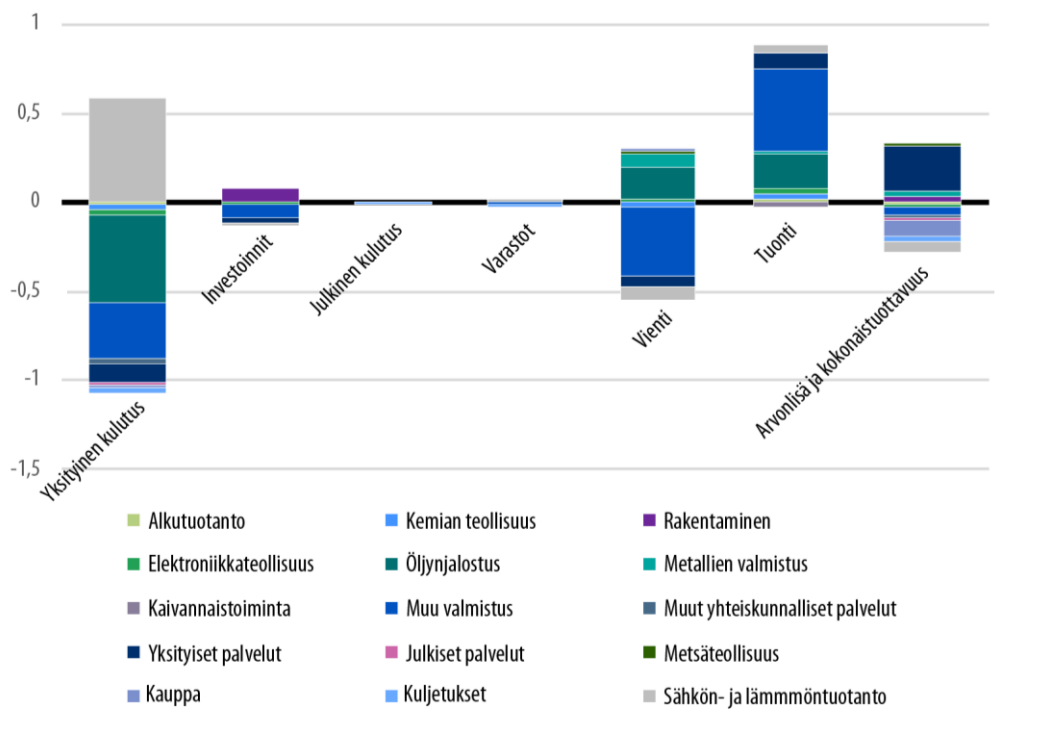
Seuraavaan kuvaan (Kuva 18) on kuvattu kysyntäerien kasvuhajotelma -55 % -skenaariossa. Vaikutukset kansantuotteeseen ovat monilta osin positiivisia tällä tavoite- tasolla, kun lisäinvestoinnit kasvattavat kansantuotetta. Päästöjen vähennysten lisä- hinta leikkaa kuitenkin kotitalouksien ostovoimaa, jolloin kulutuskysyntä laskee. Vuoteen 2030 mennessä kulutuskysyntä laskee noin 0,7 prosenttia perusskenaarioon verrattuna ja vuoteen 2050 mennessä noin 2,7 prosenttia, mikä pienentää kansantuot- tetta noin 0,5 prosentilla vuonna 2030 ja noin 2 prosentilla vuonna 2050.

Kuva 18. Kansantuotteen kasvuhajotelma vuosina 2020–2050 -55 % laskentatapauksessa, %.

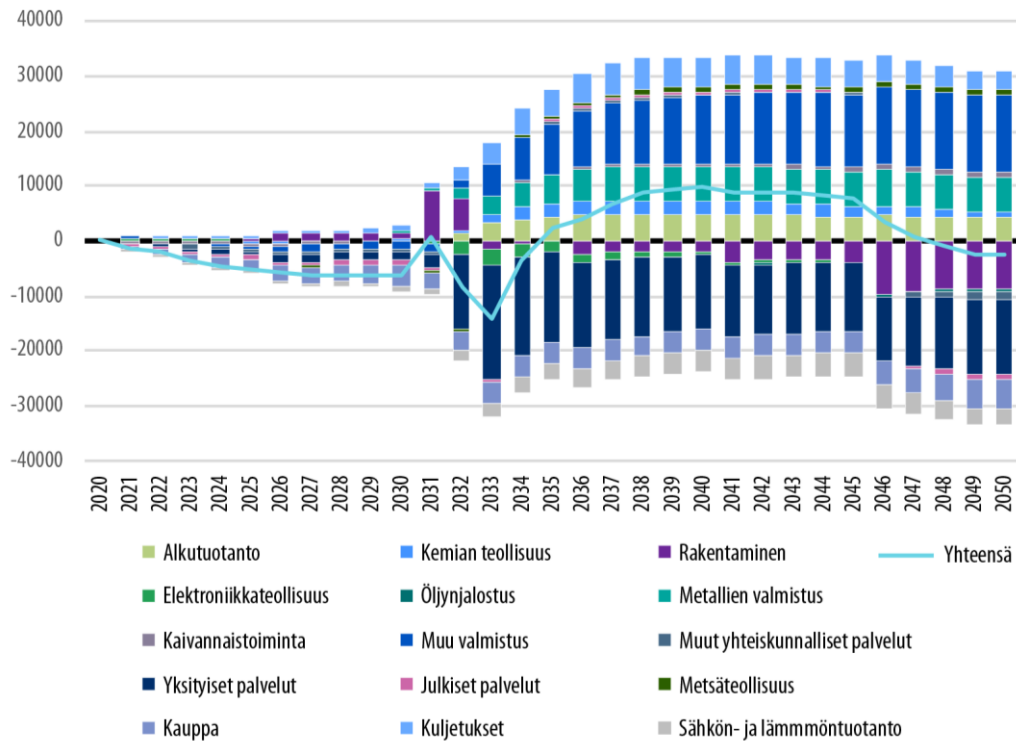


Alla esitetyssä kuvassa (Kuva 19) tarkastellaan talouden rakennemuutoksesta aiheutuvia kasvuvaiikutuksia vuonna 2030. Suuret investoinnit kohdistuvat raskaaseen teollisuuteen, liikenteeseen ja energiasektorille, ja ne mahdollistavat näiden toimialojen kasvun perusskenaarioon verrattuna. Teollisuuden kasvu toteutuu lähinnä viennin kautta. Suurin muutos syntyy kuitenkin öljytuotteiden kulutuksen laskusta (kasvuvaikutus -0,5 prosenttiyksikköä) ja sähkön kysynnän kasvusta (kasvuvaikutus 0,6 prosenttiyksikköä). Kotitalouksien ostovoiman heikkeneminen näkyy myös muun valmistuksen tuotteiden kysynnän laskuna, joka supistuu. Lisäksi monien palveluiden kysyntä jää perusskenaariota pienemmäksi. Tähän ryhmään kuuluu monia kulutushyödykkeitä, joiden tuonti supistuu. Tämä kasvattaa kansantuotetta lähes puolella prosentilla. Rakennemuutos näkyy myös työllisyydessä (kuva 20). 2030-luvulla, kun investointeja on käynnissä samanaikaisesti monella sektorilla, työllisyys kasvaa noin 10 000:llä, mutta 2050 mennessä työllisten määrä on noin 2500 perusskenaariota pienempi. Jalostukseen syntyy uusia työpaikkoja 11 000 ja alkutuotantoon noin 4 100, mutta palveluista poistuu noin 18 000 työpaikkaa.

Kuva 19. Kysyntäerien ja arvonlisän kasvuhajotelma vuonna 2030 -55 % laskentatapauksessa, %.



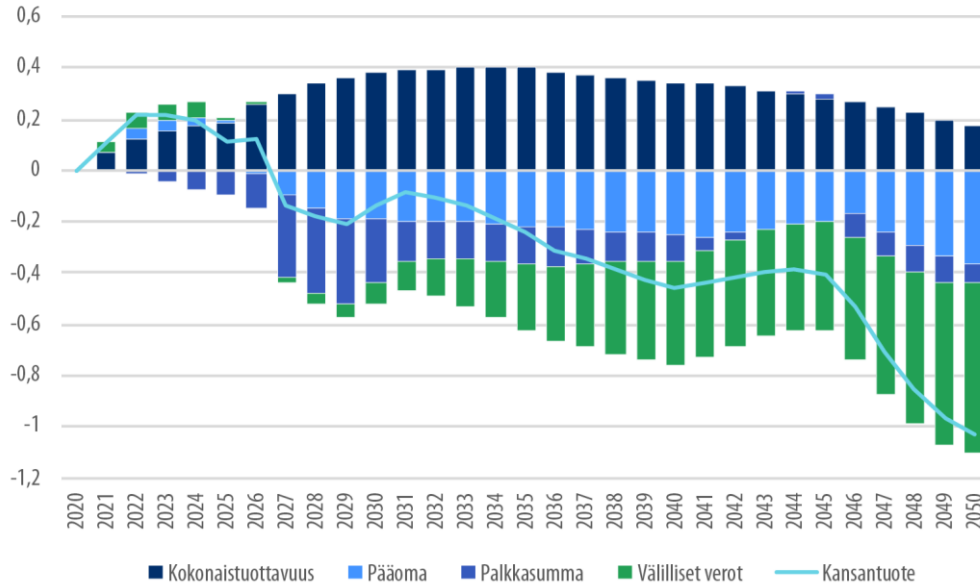
Kuva 20. Työllisten määrän muutos -55% laskentatapauksessa.



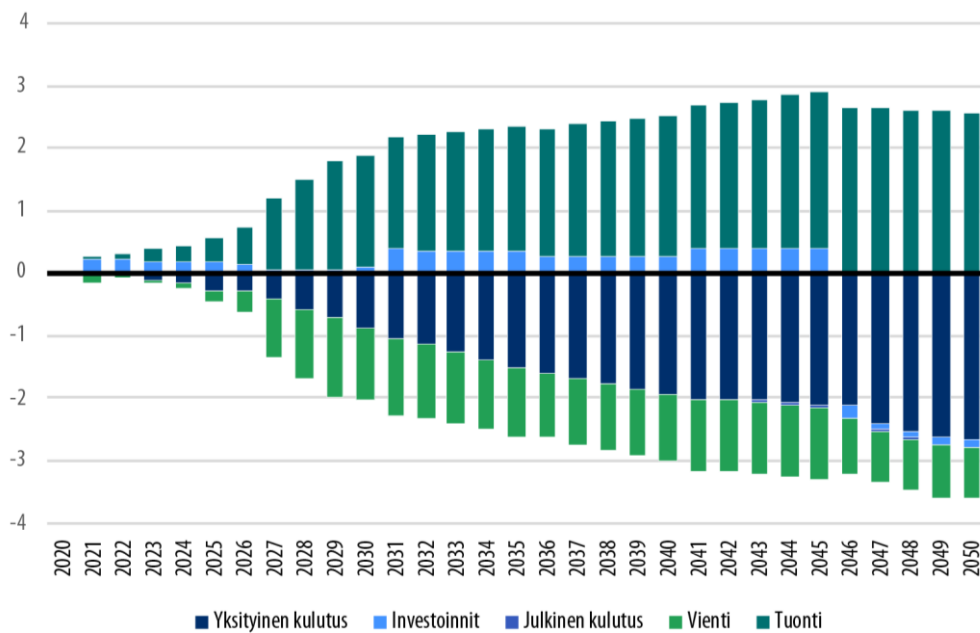
5.2.2 60 % päästövähennysskenaario

Alla esitettyssä kuvassa (Kuva 21) on kuvattu tarjontaerien kasvuhajotelma -60 % -skenaariossa. Vaikutukset kansantuotteeseen ovat monilta osin positiivisia vielä tälläkin tavoitetasolla vuoteen 2030 saakka, mutta vuoteen 2050 mennessä kansantuote on reilun prosentin perusskenaariota pienempi. Kysyntäerien kasvuhajotelmasta (Kuva 22, kuva 23) näkyy, että lisäinvestoinnit energiasektorilla ja teollisuudessa kasvattavat kansantuotetta 20-luvulta 40-luvun puoliväliin, mutta päästöjen vähennysten lisähinta leikkaa kotitalouksien ostovoimaa, jolloin kulutuskysyntä laskee. Kotitalouksien kulutus taso on 1,4 prosenttia perusskenaariota pienempi vuonna 2030 ja 3,8 prosenttia vuonna 2050, jota vastaava kasvuvaikutus on -2 prosenttiyksikköä vuonna 2030 ja -2,7 vuonna 2050. -60 % -skenaariossa investoinnit suuntaavat taloutta jalostuksen suuntaan -55 % -skenaariota aiemmin, ja nopeampi päästöjen vähentäminen leikkaa ostovoimaa selvemmin. Työllisyys kasvaa erityisesti rakentamisessa, energiantuotannossa ja jalostuksessa, mutta pienenee monissa palveluissa. Teollisuuden työllisyys kasvaa noin 6 600:llä, alkutuotannossa noin 1 300:lla ja energiantuotannossa yli 9 000:llä, mutta palveluista, kaupasta ja liikenteestä häviää lähes 30 000, ja kokonaisuudessaan työllisyys jää vuonna 2050 noin 13 600 perusskenaariota pienemmäksi.

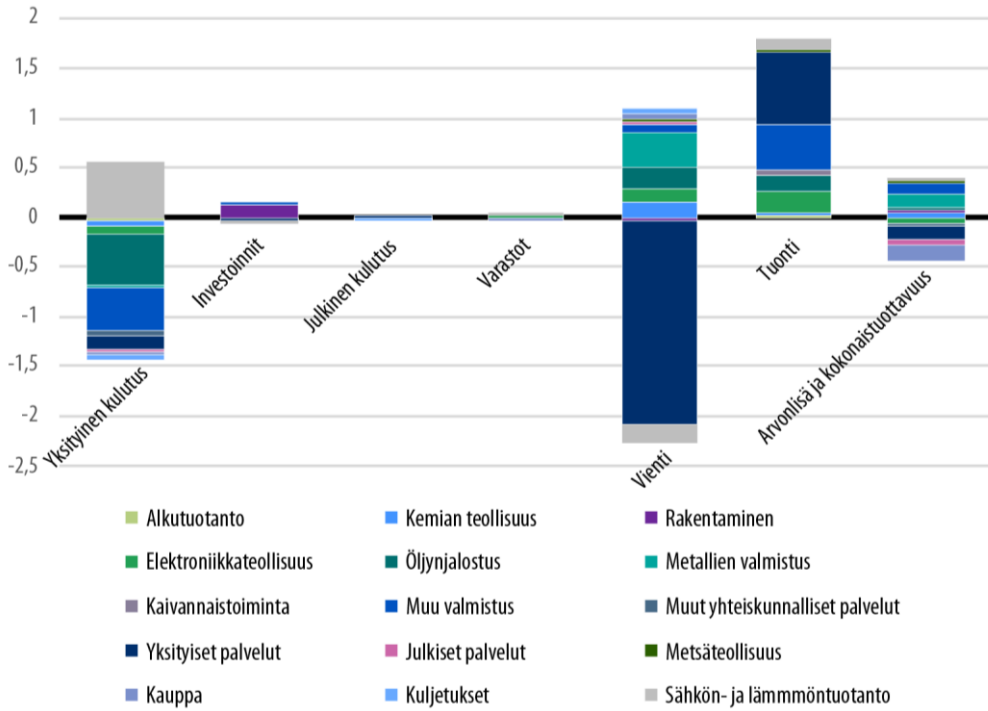
Kuva 21. Kansantuotteen tarjontaerien kasvuhajotelma vuosina 2020–2050
-60 % laskentatapauksessa, %.



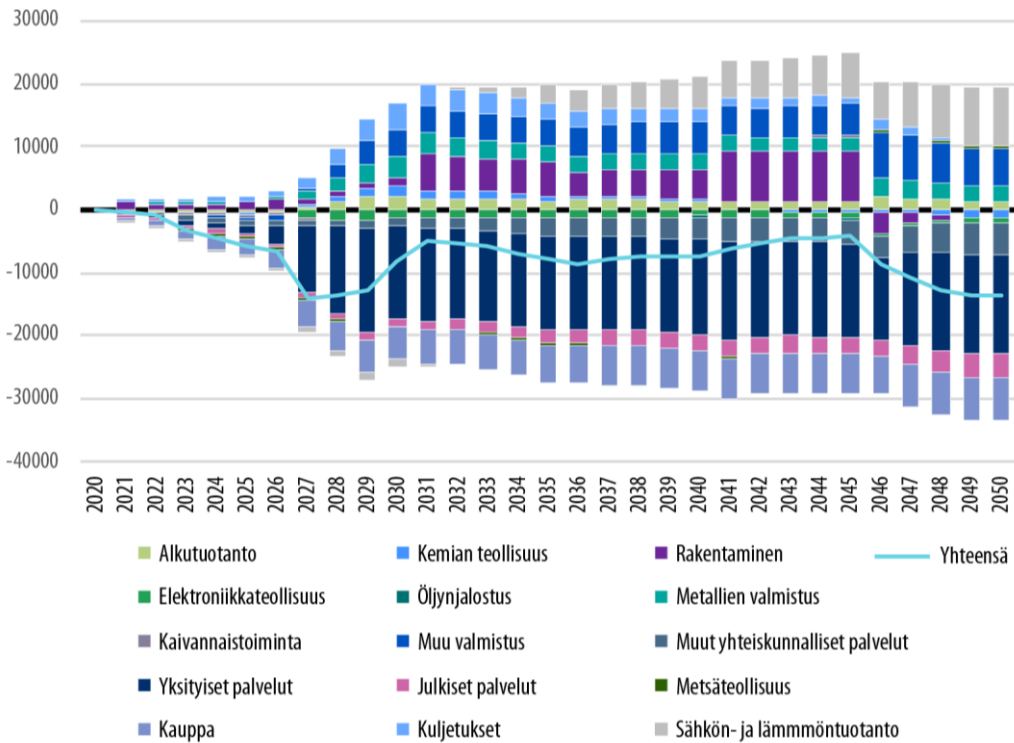
Kuva 22. Kansantuotteen kysyntäerien kasvuhajotelma vuosina 2020–2050
-60 % laskentatapauksessa, %.



Kuva 23. Kysyntäerien ja arvonlisän kasvuhajotelma tuoteryhmittäin vuonna 2030 -60 % laskentatapauksessa, %.



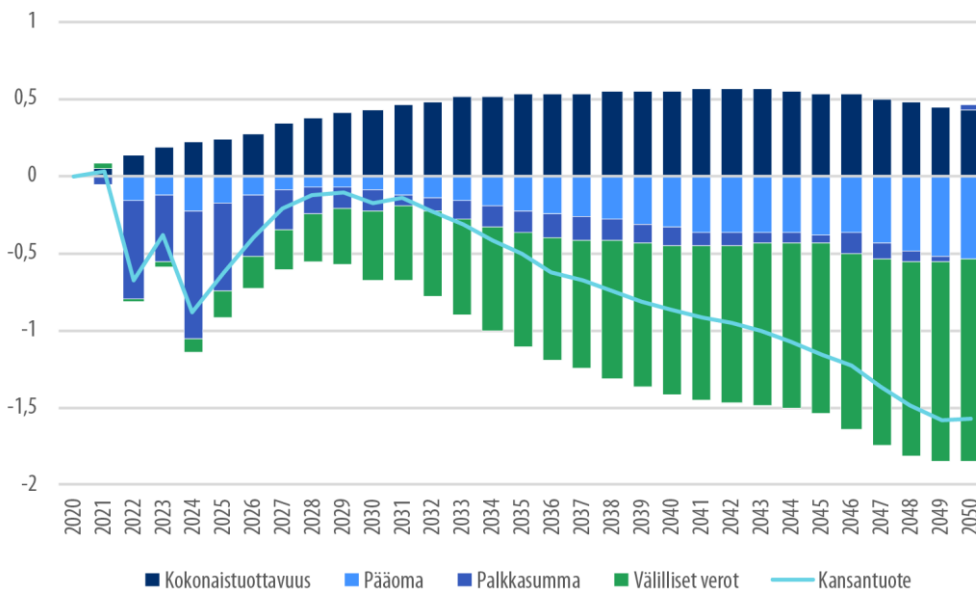
Kuva 24. Työllisten määrän muutos -60 % laskentatapauksessa.



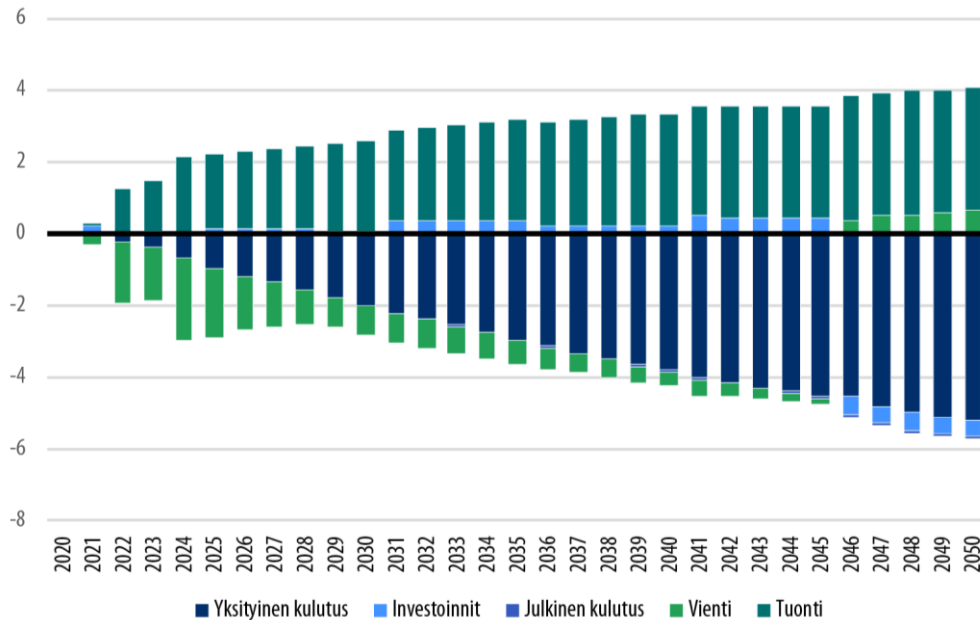
5.2.3 65 % päästövähennysskenaario

Seuraavaan kuvaan (Kuva 25) on koottu tarjontaerien kasvuvaikutukset -65 % -skenaariossa. Kansantuote jää 2030 mennessä 0,5 prosenttia perusskenaariota alemmaksi ja vuonna 2050 noin 1,5 prosenttia. Tarjontaerien kautta tarkasteltuna merkittävin kasvuvaikutus syntyy hyödykeverokertymän laskusta, joka liittyy fossiilisen energian käytön nopeaan vähenemiseen, jota ei tässä oleteta kompensoitavan muulla hyödykeverotuksella. Kysyntäerien kasvuvaikutuksista (Kuva 26, Kuva 27) kotitalouksien kulutuksen lasku on selvästi suurin. Kulutuksen taso laskee vuoteen 2030 mennessä noin 3,2 prosenttia, jonka kasvuvaikutus kansantuotteeseen on noin -2 prosenttia. Vuonna 2050 kulutuksen kasvuvaikutus on jo noin -5,2 prosenttia. Tuonti laskee selvästi, mikä kasvattaa kansantuotetta parisen prosenttia jo 2020-luvulla ja vuoteen 2050 mennessä lähes neljä. Talouden rakennemuutos näkyy 2030-luvulta alkaen myös viennin positiivisena kasvuvaikutuksena, kun uudistuneen tuotannon kilpailukyky kohenee. Tarkasteltaessa työllisyysvaikutuksia (Kuva 28) nähdään, että teollisuuteen syntyykin 2050 mennessä lähes 20 000 työpaikkaa ja alkutuotantoon noin 3100 sekä energiantuotantoon noin 10 700. Palvelujen työpaikkojen lukumäärä pienenee kuitenkin noin 50 000:llä perusskenaarioon verrattuna, ja työllisten määrä jää 15 000:llä perusskenaariosta vuonna 2050.

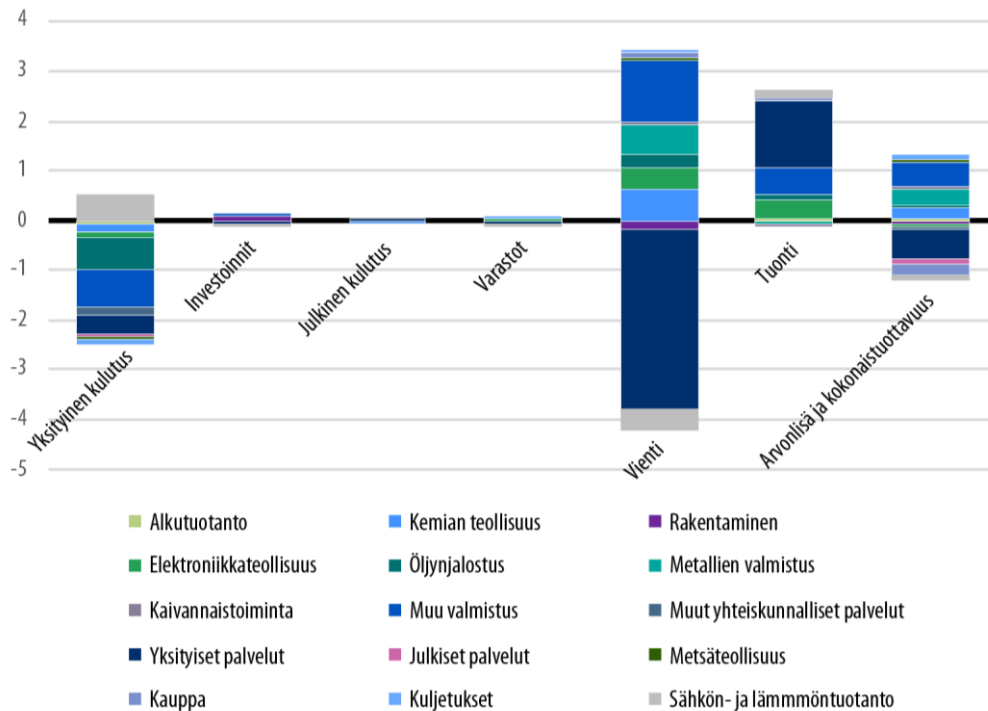
Kuva 25. Kansantuotteen tarjontaerien kasvuhajotelma vuosina 2020–2050 -65 % laskentatapauksessa, %.



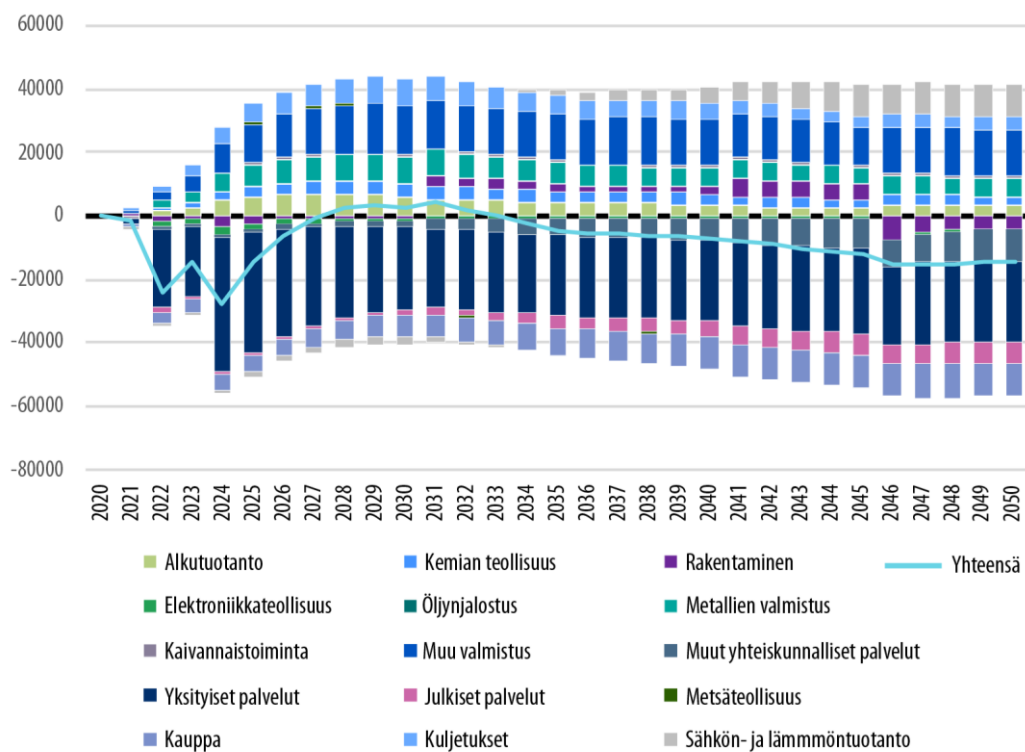
Kuva 26. Kansantuotteen kysyntäerien kasvuhajotelma vuosina 2020–2050 -65 % laskentatapauksessa, %.



Kuva 27. Kysyntäerien ja arvonlisän kasvuhajotelma tuoteryhmittäin vuonna 2030 -65 % laskentatapauksessa, %.



Kuva 28. Työllisten määrän muutos -65 % laskentatapauksessa.



6 Johtopäätökset

Tässä raportissa on esitetty Suomen ilmastolain päivitykseen liittyviä päästövähennystavoitevaihtoehtojen laskennallisia vaikutusarvioita Suomen energia- ja kansantalouteen sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen eri päästösektoreilla. Vaikutusarviot laadittiin kolmelle skenaariolle, joiden keskeinen ero liittyy vuodelle 2030 asetettuun KHK-päästövähennystavoitteeseen:

- Kumulatiiviset KHK-päästöt noin 79 Mt vuosina 2020–2050.
- KHK-päästövähennystavoite v. 2030 55 %, 60 % ja 65 % (vrt. 1990-taso). Taakanjakosektorin KHK-päästötavoite -47 % (vrt. 2005-taso) kaikissa laskentatapauksissa ja olettaen nykyinen jako päästökauppa- ja taakanjakosektorien välillä.
- Suomi saavuttaa hiilineutraaliuden vuonna 2035, KHK-päästötavoite asetettu kaikille tapaustarkasteluille samaksi olettaen 21 Mt CO₂-ekv. maankäytön nettonielutasoksi kaikissa laskentatapauksissa.
- 2040 päästövähennystavoite 80 %, paitsi 55 % -tapauksessa 83 %, jotta kumulatiiviset KHK-päästöt eivät ylity.
- 2050 päästövähennystavoite vähintään 90 %.

Laadittujen vaikutusarvioiden perusteella voidaan todeta, että 55 % tavoite vuonna 2030 voitaisiin saavuttaa niillä ilmasto- ja energiapolitiisilla toimilla, jotka on sisällytetty HIISI-hankkeessa laadittuun WAM-skenaarioon, joka on laadittu osana valmis-teilla olevien ilmasto- ja energiastrategian sekä KAISU:n vaikutusarvioita. Tarkasteltaessa KHK-päästöjen vähentämisen marginaalikustannuksia nähdään, että 55 % tarkastelussa marginaalikustannukset nousevat noin 70 €/t CO₂ tasolle. Jos verra-taan tätä nykyiseen päästöoikeuden hintaan 50 €/t CO₂ voidaan todeta, että suuri osa päästökaupparektorin KHK-päästövähennystoimista voisi toteutua markkina-ehtoisesti, mikäli päästöoikeuden hinta vielä nousisi vuoteen 2030 mennessä. 60 % ja 65 % -tarkasteluissa vuoden 2030 marginaalikustannukset nousevat yli 2–3 kertaisiksi kuvastaen tilannetta, jossa KHK-päästövähennyskeinot ovat rajalliset. TIMES-VTT -mallinnus huomioi infrastruktuurin uusiutumisen hitauteen liittyvät rajoit-teet ja toisaalta -47 %:n oletettu taakanjakosektorin tavoite on jo hyvin haasteellinen, mikäli maataloussektorille ei synny isoja muutoksia maanviljelyskäytäntöihin sekä kotieläinten ruokintaan ja määriin tai mikäli liikenteen päästöt eivät käännä nopeaan laskuun esimerkiksi liikennesuoritteiden laskiessa merkittävästi. Kuvassa 7 on esi-tetty KHK-päästöjen kehitys jaoteltuna päästökauppa- ja taakanjakosektorien välille. Kuvasta nähdään taakanjakosektorin KHK-päästöjen osuuden kasvu Suomen koko-naispäästötaseeseen nähden. Päästöoikeuden hintaohjauksella on siten pienevä merkitys, mikäli päästökauppaa ei laajenneta nykyisestä.

Kaikissa tarkasteluissa vuoden 2030 tiukennettu KHK-päästötavoite edellyttäisi erityisesti energiantuotannon ja teollisuuden CO₂-päästöjen vähentämistä verrattuna sekä WEM:in että 60 % ja 65 % tarkasteluissa myös HIISI-hankkeessa laadittuun alustavaan WAM:in. Energiasektorin osalta KHK-tavoitteen tiukennus näkyy kasvavana sähkön tuontina vuosina 2025–2030, mutta tämän jälkeen uusiutuvan sähkön tuotannon kasvu ja uusi ydinvoima kattavat kasvavan sähkön kysynnän. Kannattaa kuitenkin huomata, että tässä esitetyt sähkön kysynnän kasvut ovat varsin maltilliset verrattuna joihinkin muihin arvioihin, vaikka myös TIMES-VTT -mallin optimoinnin tuloksena yhteiskunnan sähköistyminen on ilmeistä, mutta toisaalta myös energiankäyttö tehostuu merkittävästi kaikilla energiasektoreilla. Ilmastopaneelin julkaisema muistio sähkön roolista Suomen KHK-päästöjen leikkaamisesta esitti sähkön tuotannolle arvioita vuoteen 2050 (Lund ym., 2021). Arviot vaihtelivat noin 120 TWh tasosta (Business as Usual) 160–180 TWh:in (vahvempi sähköistyminen) ja jopa 225–240 TWh tasolle (äärimmäinen sähköistäminen). Tässä raportissa esitetyt arviot päättyivät noin 120 TWh arvioon sähkön kokonaishankinnasta, joka toisaalta on verraten lähellä esimerkiksi Afryn (Forsman ym., 2021) laatimia arvioita.

Ehkä keskeisin epävarmuustekijä erityisesti vuoden 2030 osalta liittyy teollisuuden KHK-päästöjen vähenemiseen suurissa KHK-päästöjen pistelähteissä riittävän nopeasti. Tässä työssä ei kuitenkaan ole otettu kantaa tarvittaviin ohjauskeinoihin investointien aikaansaamiseksi. Laskelmissa esimerkiksi oletettiin, että Raahan terästehtaan vetypelkistys toteutuisi ensimmäisen masuunin osalta jo vuoden 2030 tienoilla. Toisaalta Porvoon mineraaliöljyn jalostukseen ja sementtiteollisuuteen oletettiin investoitavan hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin (CCS) jo vuoden 2030 tienoilla. Porvoon jalostamalla hiilidioksidi otetaan jo nykyään talteen vedyn tuotannon yhteydessä, mutta se hyödynnetään teollisuuskaasuna, joka vapautuu käytettäessä takaisin ilmakehään. 60 % ja 65 % tapauksissa CCS:n avulla vähennettiin CO₂-päästöjä noin 2–4 Mt vuonna 2030. Vuoden 2040 jälkeen erityisesti BECCS, eli tekniset keinot saavuttaa negatiivisia KHK-päästöjä, korostuvat ja vuoteen 2050 mennessä BECCS:n avulla saavutetut KHK-päästövähennysmäärät kasvavat 9–10 Mt:in vuodessa kaikissa tarkasteluissa. Teollisuuden kehitysarvioiden osalta kannattaa kuitenkin myös muistaa, että WEM-skenaarion oletusten mukaisesti kaikilla teollisuussektoreilla tuotannon volyymit kasvoivat, mikä luonnollisesti kasvattaa myös ns. päästökuilua. Ainoastaan mineraaliöljyn jalostuksessa oletettiin lievää laskevaa trendiä tuotantomäärissä.

Kaikille laskentatapauksille yhteinen 47 %:n vähennystavoite taakanjakosektorilla vuonna 2030 verrattuna vuoden 2005 päästöihin näkyy tuloksissa myös huomattavana liikenteen päästöjen vähenemisenä. Raportissa esitettyjen laskelmien mukaan taakanjakosektorin -47 %:n tavoite on jo hyvin tiukka ja selvästi haasteellisempi saavuttaa kuin -55 %:n KHK-päästöjen kokonaistavoite. Tässä tulee kuitenkin huomata,

että taakanjakosektorille ei ole oletettu laskelmissa joustokeinojen hyödyntämismahdollisuutta. Skenaariotulosten mukaan myös vuoden 2030 jälkeen taakanjakosektorin KHK-päästöt vähenevät kaikissa kolmessa tapauksessa saman verran. Päästöt vähenevät vuonna 2035 noin 58 % ja vuonna 2040 noin 69 % vuoden 2005 vertailutasosta.

Tarkasteltaessa vaikutuksia kansantuotteeseen, 55 % -skenaarion vaikutukset ovat monilta osin positiivisia, kun lisäinvestoinnit kasvattavat kansantuotetta. Päästöjen vähennysten lisähinta leikkaa kuitenkin kotitalouksien ostovoimaa, jolloin kulutuskyky laskee. Suuret investoinnit kohdistuvat raskaaseen teollisuuteen, liikenteeseen ja energiasektorille ja työllisyys kasvaa noin 10 000:llä vuonna 2030, mutta 2050 mennessä työllisten määrä on noin 2 500 perusskenaariota pienempi. 60 % -skenaariossa vaikutukset kansantuotteeseen ovat monilta osin vielä positiivisia 2030 saakka, mutta vuoteen 2050 mennessä kansantuote on reilun prosentin perusskenaariota pienempi. Työllisyys kasvaa samoilla sektoreilla tässäkin tapauksessa, mutta palveluista, kaupasta ja liikenteestä häviää lähes 30 000 työpaikkaa, ja kokonaisuudessaan työllisyys vuonna 2050 jää noin 13 600 perusskenaariota pienemmäksi. 65 % -tapauksessa kansantuote jää jo 2030 mennessä 0,5 prosenttia perusskenaariota alemmaksi ja vuonna 2050 noin 1,5 prosenttia. Vastaavasti negatiiviset vaikutukset työllisyyteen ovat myös suuremmat kuin muissa tarkasteluissa.

Esitettyjen laskennallisten analyysien perusteella ja laskelmien taustaoletuksilla 55 % -tapaustarkastelu näyttäytyisi taloudellisten tarkastelujen näkökulmasta optimaalisimmalta. Toisaalta KHK-päästövähennyspolku HIISI-hankkeessa laaditussa alustavassa WAM-skenaariossa päätyy vajaan 58 % KHK-päästövähennykseen vuonna 2030 (1990-tasoon verrattuna), kun tavoitteena on hiilineutraalisuus vuonna 2035. Ero WEM-skenaarioon, jossa on huomioitu nykyinen päästöoikeuden hintataso (I. WEM-S), on myös vähäinen. Keskeisin haaste liittyykin oletettuun 47 % taakanjakosektorin KHK-päästötavoitteeseen (2005-tasoon verrattuna), joka edellyttää merkittäviä lisätoimia paitsi liikenteessä myös rakennusten erillislämmityksessä ja työkoneiden osalta.

Suomalaiset toimialat ovat laajalti sitoutuneet vuodelle 2035 asetettuun hiilineutraalisuustavoitteeseen, joka näkyy toimialojen vähähiilitiekartoista³. Tiekartoissa ei kuitenkaan kerrota riittävän kattavasti ja yksityiskohtaisesti, mitkä investoinnit teollisuus on sitoutunut toteuttamaan markkinaehtoisesti ja kuinka suureen osaan investoinneista edellytetään valtion tukea. Toisaalta, mikäli teollisuus toteuttaisi vaadittavat investoinnit vuoteen 2030 mennessä ja lisäksi tarjolla olisi riittävästi CO₂-päästötöntä sähköä, kunnianhimoisempi KHK-päästötavoite voisi edistää myös Suomen sekä suomalais-

³ Ks. <https://tem.fi/tiekartat>

ten tuotteiden palveluiden houkuttelevuutta ja markkina-asemaa. Tämän saavuttamiseksi tarvitaan siten selkeitä ja johdonmukaisia ohjaustoimia sekä riittäviä panostuksia tutkimukseen, kehitykseen, suuren kokoluokan demonstraatioihin ja koulutukseen. Tässä työssä ilmastolain päästövähennystavoitteiden vaikutusarvioita ei myöskään tarkasteltu oikeudenmukaisuusnäkökulmasta, joka vaatisi lisätutkimusta. Vaikutusarvioista nähdään, että nopeasti tiukentuvat ilmastotavoitteet vauhdittavat yhteiskunnan rakennemuutosta, jolla on vaikutusta eri toimialojen työllisyyteen, kuluttajien ostovoimaan ja kokonaisvaltaisesti Suomen hyvinvoinnin kehitykseen.

Lähteet

- EC 2020. Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2021. Draft for consultation in CCC WG2, 25/06/2020.
- Forsman, J., Närhi, J., Uimonen, H., Semkin, N., Miettinen, V. & Toivola, S. (2021). Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:4. Saatavilla: https://afry.com/sites/default/files/2021-01/vnteas_2021_4.pdf
- Honkatukia, J. (2021). WEM-kansantalousskenaario. Luonnos 10.6.2021. Saatavilla: www.hiisi2035.fi
- Jääskeläinen, S. & Laurikko, J. (2020). Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen perusennuste 2020–2050 (22.4.2020). Helsinki: LVM. [MUISTIO_20200422120412.pdf](#)
- Koljonen, T. & Lehtilä, A. (2015). Modelling Pathways to a Low Carbon Economy for Finland. In: Giannakidis G et al (eds) Informing Energy and Climate Policies Using Energy Systems Models, Lecture Notes in Energy, vol. 30. Springer, Cham.
- Lehtilä, A. & Koljonen, T. (2018). Pathways to Post-fossil Economy in a Well Below 2°C World. In: Lect. Notes Energy, Vol. 64, George Giannakidis et al. (Eds): Limiting Global Warming to Well Below 2°C: Energy System Modelling and Policy Development.
- Lehtilä, A., Koljonen, T., Laurikko, J., Vainio, T. & Markkanen, J. (2021). HIISI-WEM -skenaario. Energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitykset. Työversio 10.6.2021. Saatavilla: www.hiisi2035.fi
- Loulou R. (2008). ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part II: Mathematical formulation. Computational Management Science, 5(1–2):41–66.
- Loulou R., Labriet M. (2008). ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure. Computational Management Science 5(1–2): 7–40.
- Loulou R., Remme U., Kanudia A., Lehtilä A., Goldstein G. (2016). Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP). iea-etsap.org
- Lund, P., Kivimaa, P., Arasto, A., Lipsanen, A., Heliste, P. & Tsupari, E. (2021). Sähköllä merkittävä rooli Suomen kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamisessa.

Suomen ilmastopaneelin julkaisu 3/2021. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/06/ilmastopaneelin-julkaisu-3-2021-sahkolle-merkittava-rooli-suomen-kasvihuonekaasupaastojen-leikkaamisessa.pdf>

LVM (2021). Fossiilittoman liikenteen tiekartta - Valtionauvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä. Luonnos. Saatavilla: https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/e4e97efb-1f23-4c22-bdf1-f1fc27809030/LAUSUNTOPYYNTO_20210115060016.PDF

Maanavilja, L., Tuomainen, T., Aakkula, J., Haakana, M., Heikkinen, J., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Koikkalainen, K., Kärkkäinen, L., Lehtonen, H., Miettinen, A., Mutanen, A., Myllykangas, J-P., Ollila, P., Viitanen, J., Wall & A. (2021). Hiilineutraali Suomi 2035. Maankäyttö- ja maataloussektorin perusskenaario (WEM). Luonnos 11.6.2021. Saatavilla: www.hiisi2035.fi

Suomen ilmastopaneeli (2021). Ilmastolakiin kirjattavat pitkän aikavälin päästö- ja nielutavoitteet – Ilmastopaneelin analyysi ja suositukset. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2021. Saatavilla: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/02/ilmastopaneelin-raportti_ilmastolain-suositukset_final.pdf

Vainio, T. 2020. Asuntotuotantotarve 2020–2040. Espoo, VTT. VTT Technology 377. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2020/T377.pdf>