Työ- ja elinkeinoministeriö 3.3.2020

EU:n edellyttämä hallintomalliasetuksen mukainen

Suomen pitkän aikavälin strategia

LUONNOS 3.3.2020

Sisällys

1 YHTEENVETO JA STRATEGIAN LAADINTAPROSESSI 3
1.1 Tiivistelmä 3
1.2 Oikeudellinen ja poliittinen konteksti 4
1.3 Julkiset kuulemiset 5
2 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN KOKONAISVÄHENNYKSET JA NIELUJEN AIKAANSAAMIEN POISTUMIEN KOKONAISLISÄYKSET 5
2.1 Kansalliset tavoitteet 5
2.2 Kansallisen Pitkän aikavälin strategian taustalla olevat skenaariot 6
2.3 Arviot päästöjen ja poistumien kehityksestä vuoteen 2050 8
2.4 Sopeutumista koskevat politiikat ja toimenpiteet 10
3 UUSIUTUVA ENERGIA 11
4 ENERGIATEHOKKUUS 13
5 ALAKOHTAINEN ASIAAN LIITTYVÄ SISÄLTÖ 16
5.1 Energiajärjestelmä 16
5.2 Teollisuus 18
5.3 Liikenne 20
5.4 Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF) ja maatalous 22
5.5 Jätesektori 29
6 RAHOITUS 30
6.1 Tarvittavia investointeja koskevat arviot 30
6.2 Tutkimus-, kehittämis- ja innovointipolitiikat ja –toimenpiteet 31
7 SOSIOEKONOMISTEN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI 31
7.1 Ympäristövaikutusarviot 31
7.2 Kansantalouden vaikutusarviot 32
LIITTEET 37

1 YHTEENVETO JA STRATEGIAN LAADINTAPROSESSI

1.1 Tiivistelmä

Suomen pitkän aikavälin strategia perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseen energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta (EU 2018/1999) eli niin sanottuun hallintomalliasetukseen.

Suomen pitkän aikavälin strategiassa (Long Term Strategy, LTS) esitetään skenaarioita ja vaikutusarvioita vuodelle 2035 asetetusta kansallisesta hiilineutraalisuustavoitteesta sekä kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien kehityksestä vuoteen 2050 asti. Pitkän aikavälin strategiassa tarkastellaan kolmea eri skenaariota. Nykyisillä politiikkatoimilla aikaansaatavaa kehitystä kuvaavan vertailuskenaarion (with existing measures, WEM) lisäksi esitetään kaksi vaihtoehtoista vähäpäästöskenaariota jotka ovat Jatkuva kasvu- ja Säästö-skenaario. Jatkuva kasvu- ja Säästö-skenaariot kuvaavat vaihtoehtoisia polkuja toteuttaa Suomen ja EU:n asettama vähäpäästötavoite vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi arvioidaan sektoreittain päästövähennyspotentiaalia ja -tarvetta keskipitkällä (2035) ja pitkällä (2050) aikavälillä Suomen asettamien päästövähennystavoitteiden toteuttamiseksi. Pitkän aikavälin strategiassa ei ole tarkasteltu siirtymää vähäpäästöisyyteen alueellisen tai sosiaalisen oikeudenmukaisuuden näkökulmasta, vaan taustatalla olevien laskemien lähtökohtana oli päästövähennyskustannusten minimointi koko maan tasolla.

Pitkän aikavälin strategiassa ei ole esitetty mille sektorille päästövähennykset tullaan kohdistamaan. Skenaarioiden perusteella saatuihin vaikutusarvioihin ei myöskään ole sisällytetty laskennallista analyysiä niistä konkreettisista toimista tai poliittisista päätöksistä, joita hiilineutraalisuustavoitteen tai vuodelle 2050 tarkasteltujen tavoitteiden saavuttaminen edellyttäisi. Päästövähennysten kohdentamisesta ja politiikkatoimista sekä maankäyttösektorin toimista päätetään ilmasto- ja energiastrategian, keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman ja maankäyttösektorin ilmasto-ohjelman valmistelun yhteydessä vuosina 2020–2021.

Vuonna 2050 Jatkuva kasvu-skenaariossa kasvihuonekaasujen (pl. maankäyttösektori) päästövähennystavoite vuoden 1990 päästöihin verrattuna on 87,5 % ja vastaavasti Säästö-skenaariossa 90 %. Molemmat vähäpäästöskenaariot toteuttavat lisäksi vuodelle 2035 asetetun hiilineutraalisuustavoitteen, mikä on linjassa hallitusohjelman kanssa. Vuoden 2035 jälkeiselle hiilinegatiivisuudelle ei asetettu määrällistä tavoitetta, vaan sen suuruuden annettiin määräytyä maankäyttösektorin nettonielun tasosta riippuen.

Nykyisillä toimilla (WEM) hiilineutraalisuutta ei saavuteta ennen vuotta 2050 ja silloinkin ainoastaan, jos maankäytön nettonielut ovat noin 30 Mt CO_2-ekv. -tasolla. Jatkuva kasvu ja Säästö skenaarioissa hiilineutraalisuus sen sijaan saavutetaan vuonna 2035, mutta se edellyttää merkittävää kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä erityisesti jaksolla 2030–2035 ja lisäksi sitä, että metsien hiilinielut säilyvät kohtuullisen suuruisina.

Hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen vuoteen 2035 mennessä edellyttää ripeitä toimia ja poliittisia päätöksiä, joilla kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään kaikilla sektoreilla ja lisäksi varmistetaan maankäytön nettonielujen suotuisa kehitys. Vähäpäästöskenaariolaskelmien mukaan fossiilisten polttoaineiden käytön merkittävä vähennys paitsi energiantuotannossa myös liikenteessä ja teollisuudessa vuoteen 2035 mennessä on edellytys hiilineutraalisuustavoitteeseen pääsemiseksi.

Vähäpäästöskenaarioiden päästövähennysurien eroavuudet selittyvät skenaarioiden taustalla olevilla teknologiaoletuksilla sekä toisaalta oletuksilla liittyen teollisuuden, yhdyskunnan ja koko talouden rakenteeseen. Teknologiaoletuksista ehkä keskeisin liittyy mahdollisuuksiin hyödyntää hiilidioksidin

talteenottoa ja varastointia (CCS), joka skenaarioiden määrittelyiden mukaan toteutuu Säästö-skenaariossa vuoden 2030 jälkeen, mutta ei Jatkuva kasvu-skenaariossa koko tarkastelujaksona. CCS:n puuttuminen keinovalikoimasta johtaa Jatkuva kasvu -skenaariossa erittäin tiukkoihin päästönvähennystoimiin kaikilla sektoreilla, mukaan lukien maatalous ja teollisuusprosessit, joissa päästöjen voimakas vähentäminen on teknistaloudellisten arvioiden mukaan vaikeinta. Lähtöoletukset liittyen metsäteollisuuden kehitykseen Suomessa liittyvät puolestaan keskeisesti maankäytön nettonielujen kehitykseen ja siten myös tarvittavaan kasvihuonekaasupäästövähennysmäärään, jotta hiilineutraalisuus saavutettaisiin. Säästö- skenaariossa oletettiin, että metsäteollisuus kehittyy ja laajenee, minkä vuoksi myös kotimaisen puuraaka-aineen kysyntä kasvaa. Säästö-skenaariossa kiertotalous, jakamistalous ja merkittävä energian käytön tehostuminen toimivat keskeisinä elementteinä vähäpäästötavoitteen saavuttamisessa. Säästö-skenaariossa panostettiin suhteessa enemmän myös kestävien biojalosteiden tuotantoon ja toisaalta biojalosteiden kysyntä oli myös hieman suurempi, jotta raskaan tieliikenteen kysynnän kasvu pystytään kattamaan. Metsien hiilinieluihin liittyvä epävarmuus vaikuttaa oleellisesti asetetun hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen.

1.2 Oikeudellinen ja poliittinen konteksti

Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelmaan (10.12.2019) on kirjattu että ”Hallitus toimii tavalla, jonka seurauksena Suomi on hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen nopeasti sen jälkeen. Tämä tehdään nopeuttamalla päästövähennystoimia ja vahvistamalla hiilinieluja.” Hallitus päättää lisätoimista, joilla päästövähennyspolku saadaan vastaamaan vuoden 2035 tavoitetta hiilineutraaliudesta. Hallitus on perustanut ilmasto- ja energia-asioihin keskittyvän ministerityöryhmän valmistelemaan ilmastopolitiikkaa kokonaisuutena. Ministerityöryhmän puheenjohtajana toimii ympäristö- ja ilmastoministeri Krista Mikkonen.

Suomen osalta keskeinen kysymys hiilineutraaliustavoitteeseen liittyen on paitsi tavoitteen aikataulu ja siihen liittyvä päästövähennyspolku myös maankäytön nettonielujen kehitys vuoteen 2050. Tästä syystä syksyllä 2019 käynnistettiin Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitystä tarkasteleva PITKO jatkohanke[1], sekä MALUSEPO (Maatalous- ja LULUCF-sektorien kasvihuonekaasujen päästö- ja poistumaskenaariot vuoteen 2050) –hanke. Hankkeiden tavoitteena oli päivittää osa aiemmista skenaariolaskelmista siten, että hallitusohjelman mukainen hiilineutraalisuustavoite toteutuu. PITKO-jatkohanke toteutettiin työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannosta yhteistyössä Teknologian tutkimuskeskus VTT:n, Suomen ympäristökeskus SYKE:n ja Merit Economics:n kanssa. MALUSEPO-hanke toteutettiin puolestaan maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta ja sen toteutti Luonnonvarakeskus.

Suomen pitkän aikavälin strategia perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseen energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta (EU 2018/1999) eli hallintomalliasetukseen ja sen 15 artiklaan, jonka mukaan kunkin jäsenvaltion on laadittava ja toimitettava komissiolle viimeistään 1 päivänä tammikuuta 2020 kattava pitkän aikavälin strategiansa. Suomen Euroopan komissiolle toimittama ja hallintomalliasetuksen perustella laadittu pitkän aikavälin strategia on laadittu hyödyntäen PITKO-jatkohankkeen raportissa esitettyjen laskennallisten ja laadullisten analyysien tuloksia. Pitkän aikavälin strategia ei kuitenkaan ole Suomea eikä Suomen energia- ja ilmastopolitiikan valmistelua oikeudellisesti sitova dokumentti.

[1] Suomen mahdollisuuksia siirtyä vähähiiliyhteiskuntaan tarkasteltiin vuonna 2018–2019 toteutetussa PITKO (Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys) –hankkeessa. PITKO-hankkeen keskeinen tavoite oli arvioida, mikä on Suomelle sopiva päästövähennystavoite vuodelle 2050 ja mitkä ovat keskeiset toimialakohtaiset etenemisvaihtoehdot tavoitteen saavuttamiseksi.

Suomen pitkän aikavälin strategiaa on käsitelty useaan otteeseen hallituksen ilmasto- ja energiapoliittisessa ministerityöryhmässä ja ministerityöryhmä on hyväksynyt sen (PÄIVÄMÄÄRÄ). Strategiaa ei ole käsitelty eduskunnassa.

1.3 Julkiset kuulemiset

Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitystä ja päästövähennyspolkuja arvioivan PITKO:n jatkoselvityksen sekä maataloussektorin, maankäytön ja metsätalouden kasvihuonekaasupäästöjä ja hiilinieluja arvioivan MALUSEPO-selvitysten alustavia tuloksia esiteltiin 15.11.2019 työ- ja elinkeinoministeriön järjestämässä seminaarissa. Näillä jatkoselvityksillä päivitettiin helmikuussa 2019 julkistettujen PITKO- ja MALULU-selvitysten laskelmia vastaamaan hallitusohjelman ilmastoneutraali Suomi 2035 -kirjausta.

Seminaaritilaisuuteen osallistui laajasti eri sidosryhmiä ja tilaisuudessa oli yleisöllä myös mahdollisuus esittää kysymyksiä ja osallistua keskusteluun. Tallenne seminaarista löytyy osoitteesta: https://www.mediaserver.fi/video/tem/10021/awqz4Q

Seminaarin jälkeen selvitystyötä jatkettiin ja se valmistui 23.1.2020.

Julkinen kuuleminen LTS:stä järjestetään Otakantaa foorumin kautta ja sen tulokset kirjataan tähän myöhemmin.

2 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN KOKONAISVÄHENNYKSET JA NIELUJEN AIKAANSAAMIEN POISTUMIEN KOKONAISLISÄYKSET

2.1 Kansalliset tavoitteet

EU:n taakanjakoasetus (2018/842/EU) sisältää päästövähennysvelvoitteet kaikille EU:n jäsenvaltioille kaudelle 2021–2030. Asetuksen mukaan Suomen on vähennettävä päästöjään vähintään 39 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Tämä on myös Suomen kansallinen tavoite. Vuosittaiset päästökiintiöt varmistuvat lopullisesti, kun vuoden 2018 päästötiedot on vahvistettu vuonna 2020. Tämä johtuu siitä, että vuosien 2016–2018 päästöt vaikuttavat vuosien 2021–2030 päästövähennyskiintiöiden laskentaan. Velvoite koskee päästökaupan ulkopuolisia aloja kuten liikennettä, maataloutta, rakennusten lämmitystä ja jätehuoltoa.

Hallituksen 2035 hiilineutraaliustavoite perustuu kansallisen ilmastopaneelin arvioon siitä, mitä Pariisin sopimuksen 1,5C velvoite tarkoittaa Suomen osalta.[2]

Hiilineutraaliutta tavoitellessa on otettava huomioon Pariisin sopimuksen artiklan 2.1.b kirjaus, jonka mukaan kykyä sopeutua ilmastonmuutoksen haitallisiin vaikutuksiin tulee parantaa ja ilmastokestävyyttä ja alhaisen kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä tulee edistää tavalla, joka ei vaaranna ruokaturvaa.

Hallitus päivittää hallitusohjelmansa mukaisesti ilmastolain (609/2015). Lain vuoden 2050 päästöjä koskeva tavoite päivitetään ja lakiin lisätään hiilineutraalisuustavoitteen mukaista polkua koskevat

[2] An Approach to nationally Determined Contributions Consitent with the Paris Climate Agreement and Climate Science: Application to Finland and the EU, Suomen Ilmastopaneeli Report 7/2019 https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/10/Finlands-globally-responsible-contribution_final.pdf

päästövähennystavoitteet vuosille 2030 ja 2040. Ilmastolakiin otetaan mukaan myös maankäyttösektori ja hiilinielujen vahvistamista koskeva tavoite. Ilmastolain nykyinen tavoite vuodelle 2050 on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 80 % verrattuna vuoteen 1990. Jos Suomea sitovaan kansainväliseen sopimukseen tai Euroopan unionin lainsäädäntöön sisältyy tästä poikkeava tavoite, tulee Suomen tavoitteen perustua siihen.

Rahoitusvirtojen suuntaaminen kohti ilmastokestävää kehitystä

Pariisin sopimuksen mukaan kaikkien maiden tulee suunnata sekä kansalliset että kansainväliset investointi- ja rahoitusvirrat kohti vähähiilistä ja ilmastokestävää kehitystä. Suomi on ollut yhdessä Chilen kanssa perustamassa valtionvarainministerien ilmastokoalitiota (Coalition of Finance Ministers), johon on liittynyt jo yli 50 maata. Yhteistyön perustana ovat niin sanotut Helsingin periaatteet. Tavoitteena on tuoda ilmastonmuutos osaksi talouspolitiikan ja rahoitusratkaisujen suunnittelua ja löytää valtiovarainministerien työkaluista toimivimmat keinot ilmastonmuutoksen hillintään ja ilmastonmuutokseen sopeutumiseen.

2.2 Kansallisen Pitkän aikavälin strategian taustalla olevat skenaariot

Helmikuussa 2019 julkaistiin arviot Suomen pitkän aikavälin kokonaispäästökehityksestä[3] (PITKO-hanke) sekä maatalouden ja maankäyttösektorin päästökehityksistä[4] (MALULU-hanke). Molemmat tutkimushankkeet toteutettiin osana valtioneuvoston vuoden 2018 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa. Syksyllä 2019 käynnistettiin molempien selvitysten jatkohankkeet, joissa laskennalliset ja laadulliset analyysit on osittain päivitetty siten, että laskelmien lähtökohdat ja kasvihuonekaasujen päästötavoite ovat linjassa Pääministeri Sannan Marinin hallitusohjelman kanssa. Jatkohankkeiden tutkimusraportti Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot[5] julkaistiin 23.1.2020. Tutkimusraportin skenaariot ovat pohjana tämän EU:n hallintomalliasetuksen mukaisen Suomen kansallisen pitkän aikavälin strategian (LTS) skenaariolle.

Kansallisen LTS:n skenaarioiden mallinnuksen lähtökohtana oli hallituksen hiilineutraalisuus 2035 tavoitteen saavuttaminen koko maan tasolla ja päästövähennyskustannusten minimointi. Hallitusohjelman mukaisella hiilineutraalisuus-termillä tarkoitetaan sitä, että Suomen alueellisten kasvihuonekaasujen päästöt ja nieluilla aikaansaadut poistumat ovat tasapainossa. Hallitusohjelman mukaan päästövähennystoimet toteutetaan sosiaalisesti ja alueellisesti oikeudenmukaisesti ja niin, että kaikki yhteiskunnan osa-alueet ovat mukana. Linjaukset päästövähennysten kohdentamisesta eri sektoreille ja tarvittavista toimenpiteistä sekä maankäyttösektorin toimista tehdään hallitusohjelman mukaisesti ilmasto- ja energiastrategian (IE-strategia), keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (Kaisu) ja maankäyttösektorin ilmasto-ohjelman valmistelun yhteydessä. Näiden keskipitkän aikavälin suunnitelmien valmistelu käynnistyy keväällä 2020 ja ne on tarkoitus antaa valtioneuvoston selontekoina eduskunnalle viimeistään syksyllä 2021. Tämän vuoksi kansallisessa LTS:ssä esitetyt skenaariot ovat vain suuntaa-antavia tulevaan kehitykseen verrattuna.

Kansallisessa LTS:ssä on esitetty kolme skenaariota. Skenaariot on laadittu vuoteen 2050 saakka siten, että ne toteuttavat vuoden 2035 hiilineutraalisuustavoitteen.

[3] Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (VTT 2019). http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161409
[4] Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 (Luke). http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161408
[5] Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot (VTT). https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2020/T366.pdf

WEM-skenaario (With Existing Measures) on vertailuskenaario, joka perustuu nykyisten politiikkatoimien mukaiseen kehitykseen. Vuoteen 2030 asti WEM-skenaario noudattaa vuoden 2016 kansallisen energia- ja ilmastostrategian ja vuoden 2017 keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman lähtökohtia ja vuoden 2030–2050 kehitys on ekstrapoloitu, eli kehitys noudattaa samaa trendiä vuoteen 2050 asti. WEM-skenaarion peruslähtökohtana on, että Suomi saavuttaa vuodelle 2020 kansalliset energia- ja ilmastopoliittiset tavoitteet, jotka pysyvät muuttumattomina myös vuoden 2020 jälkeen. WEM-skenaariossa taakanjakosektorin päästöjä vähennetään siten 16 % vuoden 2005 päästöistä, mikä vastaa päästöissä 28,4 Mt CO_2-ekv. vuonna 2020. WEM-skenaariossa muu EU toteuttaa paitsi vuoden 2020 energia- ja ilmastotavoitteet myös vuodelle 2030 asetetun ilmastotavoitteen, jolloin EU-tason kasvihuonekaasupäästötavoite on -40 % vuoden 1990 päästöihin verrattuna.

Keskeinen WEM-skenaarion lähtötieto on oletus päästöoikeuden hintakehityksestä vuoteen 2050, joka noudattaa komission ohjeistusta vertailuskenaarion lähtöoletuksista. Päästöoikeuden hinnaksi on oletettu 15 €/t CO_2 vuonna 2020 ja 30 €/t CO_2 vuonna 2030. Vuoden 2030 jälkeen päästöoikeuden hinta oletetaan nousevan jyrkemmin saavuttaen päästöoikeuden hintatasot 50 €/t CO_2 vuonna 2040 ja 90 €/t CO_2 vuonna 2050. Päästöoikeuden hintakehitys perustuu ns. PRIMES-referenssiskenaarioon vuodelta 2016.

Vaihtoehtoisia vähäpäästöskenaariota on laadittu kaksi. Jatkuva kasvu- ja Säästö-skenaariot kuvaavat vaihtoehtoisia polkuja toteuttaa Suomen ja EU:n asettama vähäpäästötavoite vuoteen 2050 mennessä. Skenaarioiden taustalle laadittiin ”skenaariotarinat”. Jatkuva kasvu -skenaariossa vähäpäästötavoitteet saavutetaan uuden teknologian kiihdytetyllä käyttöönotolla, ml. voimakas sähköistyminen, digitalisaatio ja teollisuuden uudistuminen. Hiilen talteenotto- ja varastointiteknologia (CCS) ei ole käytössä. Skenaariossa viennin vauhdittamana Suomi saavuttaa taloudellisen menestyksen. Säästö-skenaariossa kiertotalous, jakamistalous ja merkittävä energian käytön tehostuminen toimivat keskeisinä elementteinä vähäpäästötavoitteen saavuttamisessa. Hiilen talteenotto- ja varastointiteknologia on käytössä. Maa- ja metsätalous toimivat kiertotalouden edistäjinä, kuten myös mineraaliöljypohjaisten tuotteiden korvaaminen uusilla biotuotteilla.

Jatkuva kasvu-skenaariossa kasvihuonekaasujen päästövähennystavoite vuoden 1990 päästöihin verrattuna on 87,5 % ja vastaavasti Säästö-skenaariossa 90 %. Molemmat vähäpäästöskenaariot toteuttavat lisäksi vuodelle 2035 asetetun hiilineutraalisuustavoitteen, mikä on linjassa hallitusohjelman kanssa. Vähäpäästöskenaarioille on asetettu vuodelle 2030 joukko energia- ja ilmastopoliittisia tavoitteita, joita ovat muun muassa:

- Taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite 39 % vuoden 2005 päästötasoon verrattuna.
- Kivihiilen energiakäytöstä luopuminen viimeistään vuonna 2029.
- Turpeen käytön vähintään puolittaminen vuoteen 2030 mennessä.
- Biopolttoaineiden osuus tieliikenteen energiankulutuksesta vuonna 2020 13,5 %:n energiasisältöosuudesta ja 30 % vuonna 2030 (kasvaa lineaarisesti). 10 %:n bionesteen sekoitusvelvoite rakennusten erillislämmityksessä käytettävälle kevyelle polttoöljylle ja työkoneiden dieselöljylle, joka kasvaa lineaarisesti vuosina 2020–2030.
- Sähkökäyttöisten autojen määrä on vähintään 250 000 (täyssähköautot, vetyautot, ladattavat hybridit) ja vastaavasti kaasukäyttöisten autojen määrä on vähintään 50 000 vuonna 2030.

- 38 %:n uusiutuvan energian vähimmäisosuus energian loppukulutuksesta vuonna 2020 ja vastaavasti 50 %:n uusiutuvan energian vähimmäistavoite vuonna 2030.
- 55 %:n energian hankinnan omavaraisuustavoite vuonna 2030 ja tuontiöljyn energiankäytön puolittaminen.

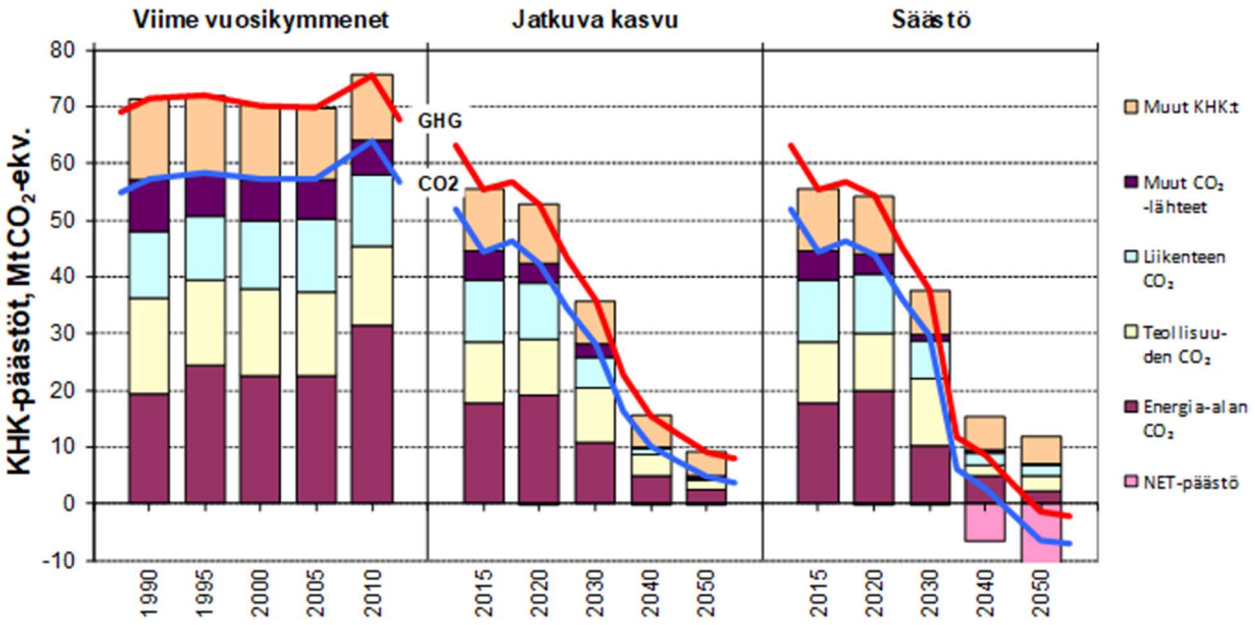
Skenaarioiden yksityiskohtaisemmat oletukset on esitetty tutkimusraportin ”Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot” luvussa 4.

2.3 Arviot päästöjen ja poistumien kehityksestä vuoteen 2050

Kuvassa 1 on esitetty Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys päälähteittäin perusurassa (WEM) ja vähäpäästöskenaarioissa (ilman LULUCF-päästöjä). WEM-skenaariossa ovat mukana vain nykyiset politiikkatoimet vuoteen 2020, mutta vähäpäästöskenaarioissa ovat mukana suunnitellut kotimaiset lisätoimet, EU:n energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteet vuodelle 2030 sekä oletettu EU:n tavoite vähintään 85 %:n kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksestä vuoteen 2050 mennessä. Koko EU:n päästötavoitteen on siis myös oletettu hieman kiristyvän aiemmasta 80 %:sta.

Tulosten mukaan päästöjen kokonaismäärä on vuonna 2020 WEM-skenaariossa vajaat 55 Mt CO_2-ekv, eli 23 % vähemmän kuin vertailuvuonna 1990. Vähäpäästöskenaarioiden päästöurat alkavat erkaantua WEM-skenaariosta selvästi jo 2020-luvulla, siten että Jatkuvan kasvun skenaariossa kokonaispäästöjen vähennys on vuonna 2030 noin 50 % ja Säästö-skenaariossa noin 47 % vuoden 1990 tasosta. Koska perusurassa (WEM) on käytetty EU:n komission referenssiskenaarion oletuksia päästöoikeuksien hintojen kehityksestä, päästöt vähenevät myös WEM-skenaariossa vuoden 2030 jälkeen verrattain tasaisesti noin 27 Mt CO_2-ekv tasolle vuoteen 2050 mennessä, mikä vastaa jo varsin tuntuvaa, 63 %:n vähennystä.

Jatkuvan kasvun skenaariossa vuodelle 2050 oletettu 87,5 %:n päästöjen vähentämisen vähimmäistavoite saavutetaan kotimaisin toimin ilman hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (CCS), skenaarion lähtöoletusten mukaisesti. Säästö-skenaariossa tavoitteet sekä hiilineutraalisuudesta vuonna 2035 että 90 %:n päästönvähennyksestä vuonna 2050 saavutetaan sen sijaan huomattavalta osin bio-CCS:n tuottamien huomattavien negatiivisten päästöjen tuella. Vuonna 2050 CCS:n tuoma päästövähennys on kaikkiaan noin 14 Mt CO_2-ekv. Bruttopäästöissä (ilman negatiivista päästökompensaatiota) saavutettu vähennys on Säästö-skenaariossa siten noin 82 % vuonna 2050.



Kuva 1. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys skenaarioittain.

Liitteessä 1 on esitetty järjestelmämallinnuksen tuloksista kootut kasvihuonekaasupäästöjen taseet vuosille 2030 ja 2050 käyttäen päästöjen inventaarioissa noudatettua jaottelua, mutta ilman LULUCF-luokkaa.

Luvun 5.4 kuvassa 13 on esitetty LULUCF-sektorin nettonielun kehitys eri skenaarioissa. Laaditut kolme skenaariota WEM, Jatkuva kasvu ja Säästö tuottivat toisistaan poikkeavat kehityspolut LULUCF-sektorille, mutta kaikissa skenaarioissa sektori pysyy nettonieluna eli kasvihuonekaasujen poistumat ovat päästöjä suuremmat. Jatkuva kasvu -skenaariossa päädytään vuoteen 2050 mennessä WEM-skenaarioon nähden 15 Mt CO_2-ekv. suurempaan nettonieluun, kun taas Säästö-skenaariossa päädytään 10 Mt CO_2-ekv. pienempään nettonieluun kuin WEM-skenaariossa. Skenaariot hakevat kehityssuuntaansa vuoteen 2030, jonka jälkeen niiden erot vahvistuvat. Maatalouden osalta Jatkuva kasvu- ja Säästö- skenaarioissa oletetaan, että kansallisessa kotieläintuotteiden kulutuksessa tapahtuu huomattava väheneminen (-30 – -50 % 2050). Tämän johdosta aktiiviviljelyssä käytettävä peltoala vähenee rehualan tarpeen vähenemisen vuoksi. Jatkuva kasvu- ja Säästö-skenaarioissa haettiinkin päästövähennyksiä etenkin kohdistamalla toimenpiteitä maatalousmaille. Toimenpiteillä tarkoitetaan tässä lähinnä sitä, millaisia maapohjia (kivennäismaa, turvemaa) skenaarioissa pidetään viljelyssä, ja kuinka paljon maatalousmaata voitaisiin laskelmissa kohdistaa muuhun käyttöön. Maatalouden pinta-alaa rajoittamalla saadaan viljelysmaa-luokan päästöjä vähennettyä, mutta samalla nämä kohteet siirtyvät muihin luokkiin, ja pysyvät siten edelleen LULUCF-sektorin laskennassa. Maatalouden muutokset em. skenaarioissa johtavat myös suuriin muutoksiin maataloustulossa ja maataloustuotantoon kuluvien työtuntien määrässä.

Metsittämistä pidettiin näissä skenaarioissa ensisijaisena vaihtoehtona vapautuvalle maatalousmaalle. Vaikka metsityspinta-alat olivat merkittäviä, niiden vaikutus nielua kasvattavana ei juuri näy, koska käytetty aikajänne on suhteellisen lyhyt, ja metsityspinta-alan määrä suhteessa jo olemassa olevan metsämaan alaan on pieni.

Laadituissa skenaarioissa nähdään metsien nielussa tapahtuvien muutosten vaikutus sektorin taseeseen. Kun hakkuissa korjattavaa puutavaran määrää lisätään, nielu pienenee (Säästö), ja päinvastoin,

kun korjattavan puun (biomassan) määrää vähennetään, nielu kasvaa (Jatkuva kasvu). Puutuotteet eivät täysin kompensoi alenevaa nielua, vaikka tuotanto painottuisi pitkäikäisiin tuotteisiin (Säästö).

Nettonielujen kehitystä LULUCF-sektorilla eri skenaarioissa vuoteen 2050 asti on tarkasteltu tarkemmin luvussa 5.4.

2.4 Sopeutumista koskevat politiikat ja toimenpiteet

Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjaus perustuu Kansalliseen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelmaan 2022, joka hyväksyttiin valtioneuvoston periaatepäätöksenä 20.11.2014. Valtioneuvosto hyväksyy ilmastolain mukaiseen suunnittelujärjestelmään kuuluvan kansallisen sopeutumissuunnitelman vähintään kerran kymmenessä vuodessa. Lain mukaan sopeutumissuunnitelma sisältää riski- ja haavoittuvuustarkastelun sekä tarpeen mukaan hallinnonaloittaisia sopeutumista koskevia toimintaohjelmia.

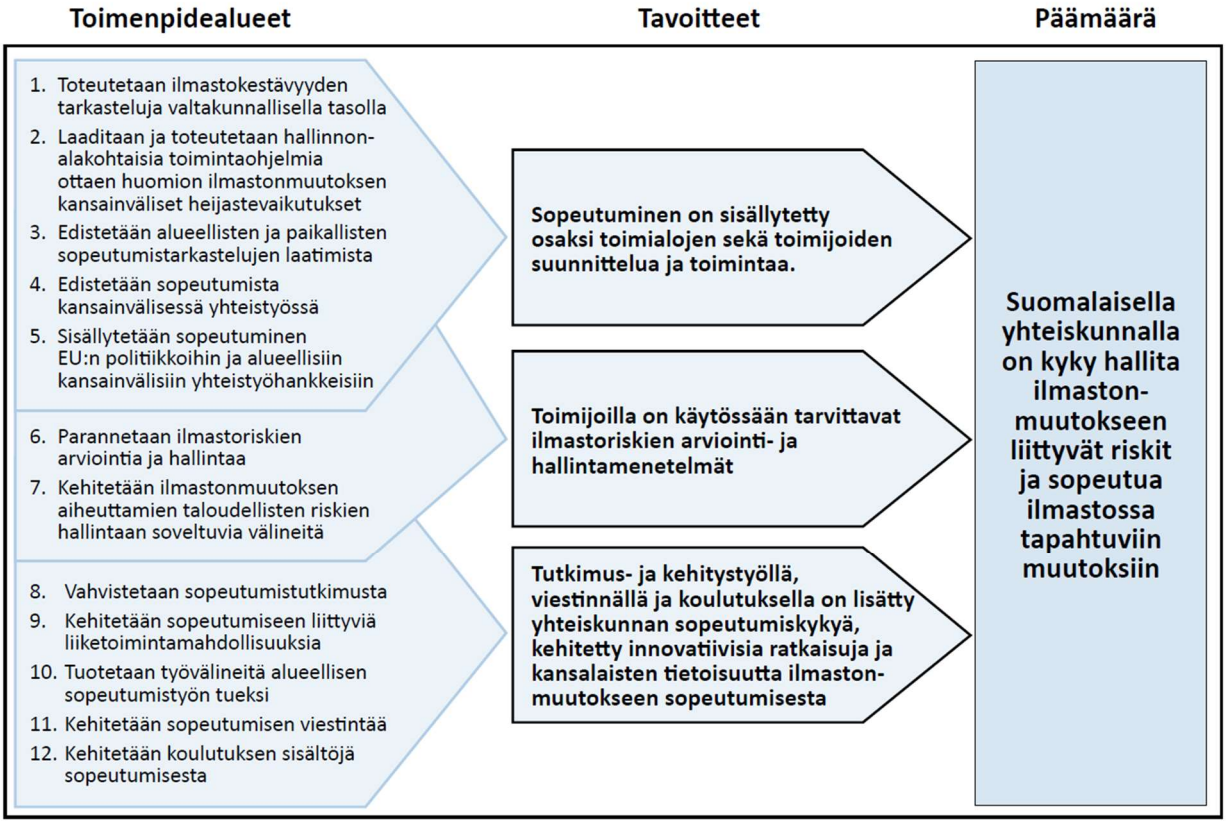
Kansallisen sopeutumissuunnitelman päämääränä on varmistaa, että suomalaisella yhteiskunnalla on kyky sopeutua ilmastossa tapahtuviin muutoksiin ja hallita ilmastonmuutokseen liittyvät riskit. Suunnitelmassa on asetettu kolme tavoitetta vuoteen 2022:

a) sopeutuminen on sisällytetty osaksi kaikkien toimialojen tavanomaista suunnittelua ja toimintaa;

b) toimijoilla on käytössään tarvittavat ilmastoriskien arviointi- ja hallintamenetelmät;

c) yhteiskunnan sopeutumiskykyä, kansalaisten tietoisuutta ja innovatiivisia ratkaisuja ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi on kehitetty tutkimus- ja kehitystyöllä sekä viestinnällä ja koulutuksella.

Sopeutumissuunnitelmassa kuvataan tavoitteiden saavuttamiseksi käynnistettävät keskeisimmät toimet kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. Keskeisimmät toimet sopeutumissuunnitelman tavoitteiden saavuttamiseksi.

Kansallisessa sopeutumissuunnitelmassa kuvattujen toimenpiteiden lisäksi käytännön sopeutumistoimia on sisällytetty hallinnonalakohtaisiin toimintaohjelmiin. Hallinnonalakohtaisia sopeutumisen toimintaohjelmia on laadittu ympäristöministeriön sekä maa- ja metsätalousministeriön hallinnonaloilla ja lisäksi ohjelma on valmisteilla sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalalla. Liikenneministeriön ja puolustusministeriön hallinnonaloilla sopeutumisen toimenpiteitä on sisällytetty laajempiin ilmasto-ohjelmiin.

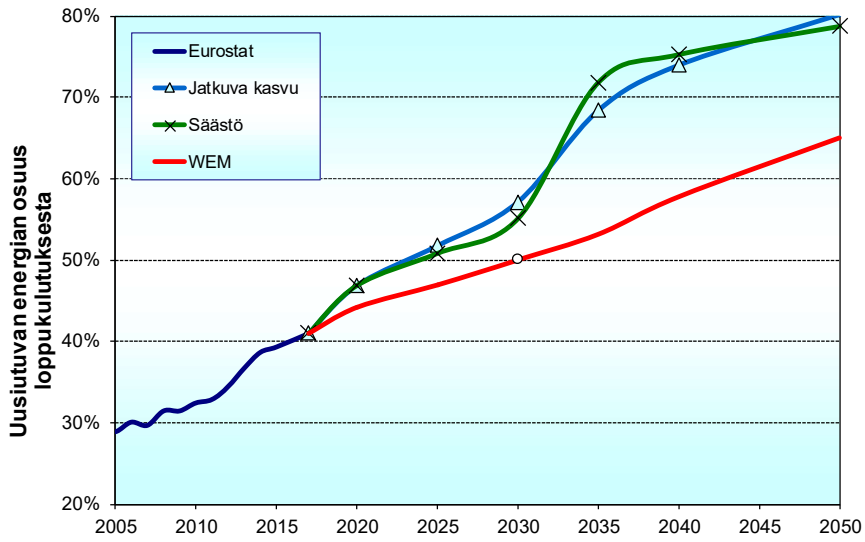
Kansallisen sopeutumissuunnitelman väliarvioinnin mukaan (2019) tietoisuus ilmastonmuutoksesta ja sopeutumistarpeesta on kasvanut hallinnon toimijoiden keskuudessa. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja riskejä käsitellään lisäksi nykyisin aiempaa laajemmin tiedon tuotannossa. Ilmastoriskien hallinta on kuitenkin vielä osin puutteellista ja toimialojen välillä on edelleen merkittäviä eroja. Paneutumalla ja panostamalla enemmän sopeutumistoimien suunnitteluun ja toimeenpanoon ilmastonmuutoksen haitallisia seurauksia voitaisiin rajoittaa nykyistä tehokkaammin. Keskeisiä kehittämistarpeita ovat tietoisuuden lisääminen sää- ja ilmastoriskeistä ja sopeutumismahdollisuuksista, sopeutumiseen liittyvien roolien ja vastuiden selkeyttäminen sekä koordinaation varmistaminen. Lisäksi on olennaista kehittää toimialakohtaista ohjausta sekä työkaluja ja opastusta, joilla erityisesti alueelliset ja paikalliset toimijat voivat omatoimisesti vahvistaa sopeutumiskykyään. Sopeutumissuunnitelman väliarvioinnin suosituksia on hyödynnetty suunnitelman toimenpiteiden tarkistuksessa ajalle 2020-2022.

3 UUSIUTUVA ENERGIA

Eri skenaarioissa mallinnettu uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta on esitetty kuvassa 3. EU:n laskentasääntöjen mukaan laskettu uusiutuvan energian loppukulutus nousee WEM-skenaariossa tasaisen hitaasti, mutta mallinnetuissa vähäpäästöskenaarioissa se nousee vuonna 2030 noin

55 %:iin ja vuonna 2050 lähes 80 %:iin. Osuuden kasvu ylittää siten vähäpäästöskenaarioissa kansallisessa energia- ja ilmastostrategissa esitetyn tavoitteen, jonka mukaan uusiutuvan energian osuuden tulee nousta 2020-luvulla yli 50 %:iin energian loppukulutuksesta. Vuoden 2030 jälkeen uusiutuvan osuus kasvaa hiilineutraalisuustavoitteen vuoksi erityisen nopeasti vuoteen 2035, mutta sen jälkeen osuuden kehitys tasaantuu vuoteen 2050 mennessä lähelle realistisesti saavutettavissa olevaa enimmäistasoa (ydinvoima ja jätteen energiakäyttö huomioon ottaen).

Uusiutuvista energialähteistä määrällisesti eniten kasvaa puuperäisen bioenergian käyttö, ja käytön lisäys kohdistuu voimakkaimmin metsähakkeeseen ja metsäteollisuuden jäteliemiin. Bioenergiaa aletaan tuottaa lisäksi nykyistä laajemmin maatalouden sivujakeista, suurelta osin biokaasuna, mutta erityisesti Säästö-skenaariossa myös energiakasveista. Tuulivoiman tuotannon lisäys jatkuu vähäpäästöskenaarioissa voimakkaana vuoteen 2035 asti, minkä jälkeen aurinkoenergia nousee sen rinnalle uusiutuvan energian osuutta edelleen kasvattavana energialähteenä. Näiden lisäksi lämpöpumppujen ympäristöstä tuottama lämmitys- ja jäähdytysenergia tuovat merkittävän osan uusiutuvan energian lisäyksestä. Kaikkiaan uusiutuvan energian käytön voimakas lisääntyminen heijastuu lähes suoraan myös energiaomavaraisuuteen, jolloin omavaraisuus on joitakin prosenttiyksikköjä uusiutuvan osuutta korkeampi.

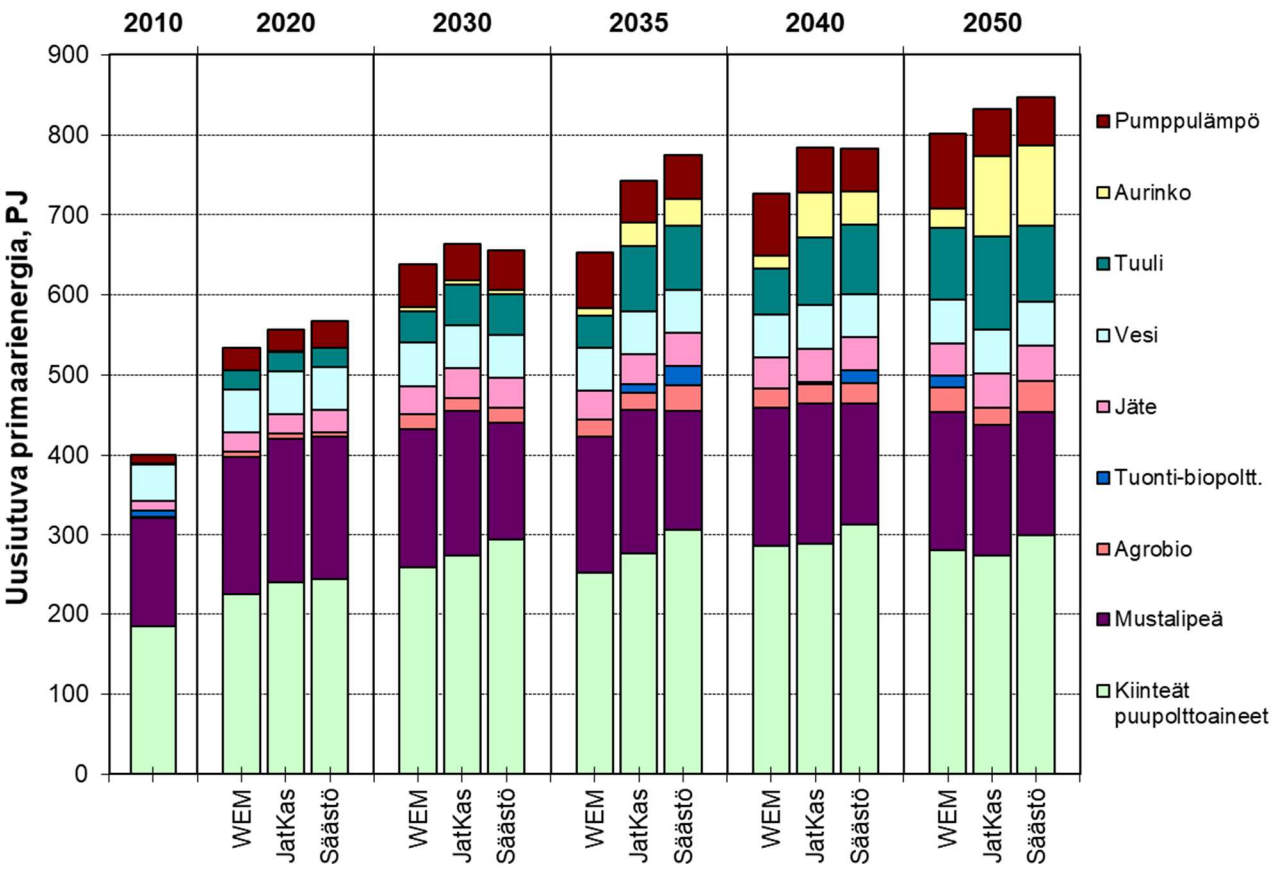


Kuva 3. Uusiutuvan energian mallinnettu osuus loppukulutuksesta skenaarioittain.

Uusiutuvan energian mallinnettu osuus primaarienergian kulutuksesta nousee vuoteen 2030 mennessä 50–64 % vuoden 2010 tasoon verrattuna, kuten voidaan nähdä kuvasta 4. Vuoteen 2050 mennessä vastaava lisäys on 100–110 %. Lisäys on luonnollisesti suurinta vähäpäästöskenaarioissa, mutta energiatehokkuuden paranemisen vuoksi absoluuttiset erot WEM-skenaarioon eivät ole kovin suuria. Tuuli- ja aurinkoenergia nousevat molemmissa vähäpäästöskenaarioissa merkittävään asemaan uusiutuvan energian hankinnassa. Vuonna 2017 niiden osuus oli vasta 3,6 %. WEM-skenaariossakin osuus nousee yli nelinkertaiseksi, 14 %:iin. Tuulivoiman osalta kannattaa kuitenkin huomata, että viime vuosina sen kilpailukyvyn kehitys on ollut poikkeuksellisen nopeaa, ja kehityksen nopeutta lähivuosikymmeninä on hyvin vaikeaa arvioida, minkä vuoksi myös tuloksiin sisältyy epävarmuutta.

Kuvassa 4 ”kiinteät puupolttoaineet” tarkoittaa kaikkea puuperäistä primaarienergiaa metsäteollisuuden jäteliemiä ja kierrätyspuuta lukuun ottamatta. Vuoteen 2030 mennessä yhteenlaskettu puupolttoaineiden energiakäyttö (metsäteollisuuden jäteliemet ja kiinteät puupolttoaineet) kasvaa tuntuvasti

erityisesti Säästö-skenaarioissa, mikä johtuu osaltaan metsäteollisuuden tuotantomääristä, jotka tuovat kasvua sivutuotteiden (mm. mustalipeä, kuori, sahanpuru) määrään ja toisaalta metsähakkeen käytön lisäyksestä. Kun puupolttoaineiden energiakäyttö oli vuonna 2016 yhteensä noin 360 PJ (100 TWh), se nousee vuonna 2030 eri skenaarioissa 430–450 PJ:n määrään (120–126 TWh). Vuoden 2030 jälkeen skenaariotarinoiden välisistä eroista huolimatta puupolttoaineiden käyttö pysyy suunnilleen samalla tasolla ja on 440–450 PJ vuonna 2050 (123–126 TWh). Säästö-skenaarioissa puupolttoaineiden käyttöä rajoittaa metsäteollisuuden kasvava selluntuotanto, mistä johtuva ainespuun käyttö rajoittaa energiapuun saatavuutta ja nostaa sen hintaa. Toisaalta kehittyneiden biopolttonesteiden kysyntä aiheuttaa puun energiakäytön lisäyspainetta. Mustalipeän energiakäyttöä vähentää Säästö-skenaariossa ligniinin ja hemiselluloosan hyödyntäminen energian sijasta uusiin biotaloustuotteisiin. Myös maatalouden sivujakeiden käyttö nousee vähäpäästöskenaarioiden tuloksissa näkyväksi sekä biokaasun tuotannossa, että oljen energiakäyttönä. Yhdyskuntajätteen energiakäyttö pysyy kaikissa skenaarioissa vuoteen 2030 saakka nykytasolla, noin 20 PJ:n (n. 6 TWh), ja alkaa sen jälkeen lievästi laskea tehostuneen kierrätyksen tuloksena.



Kuva 4. Uusiutuvan primaarienergian mallinnettu kulutus skenaarioittain.

4 ENERGIATEHOKKUUS

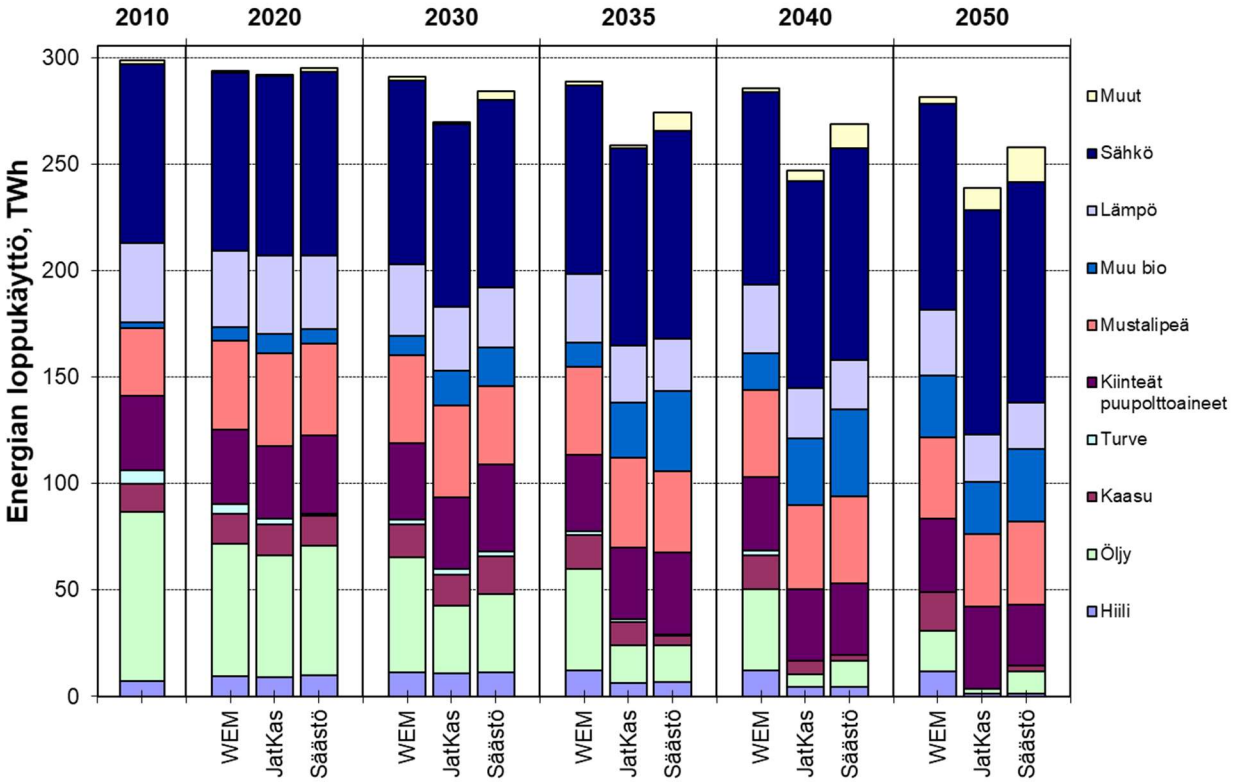
Vähäpäästöskenaariot aiheuttavat sähkön kulutuksen rakenteeseen varsin merkittäviä muutoksia. Sähköistyminen on keskeinen muutos kaikilla sektoreilla, mutta sen kulutusta kasvattava vaikutus

kompensoituu huomattavilta osin energian käytön tehostumisella. Uutta sähkön kulutusta syntyy kuitenkin myös digitalisaation, energian varastoinnin ja hiilineutraalien sähköpolttoaineiden jalostuksen laajenemisen myötä.

Teollisuudessa energiateollisuuden kulutuksen kasvu on suurin sähkön kulutusmuutoksiin vaikuttava tekijä. Sen kulutuksen kasvu syntyy lähinnä energian varastoinnin ja konversion häviöistä, hiilineutraalien sähköpolttoaineiden tuotannosta sekä lämpöpumppujen laajenevasta käytöstä yhdyskuntien kaukolämmön ja -jäähdytyksen tuotantoon. Prosessiteollisuudessa sähkön kulutusta merkittävästi lisääviä muutoksia ovat suorapelkistyksen asteittainen käyttöönotto malmipohjaisen teräksen valmistuksessa, hybridisähköuunien käyttö mineraaliteollisuudessa sekä Jatkuvan kasvun skenaariossa myös elektrolyyttinen vedyn valmistus petrokemian teollisuudessa.

Sekä energiatehokkuuden paranemisen, että kilpailukykyisen hiilineutraalin kaukolämmön tuotannon rajallisuuden vuoksi kaukolämmön kulutus vähenee vähähiiliskenaarioissa alle puoleen nykytasosta, mikä samalla vähentää yhdyskuntien yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon potentiaalia. Rakennusten lämmityksessä myös kaikki muu loppuenergian käyttö vähenee lämmityksen ominaiskulutusten putoamisen myötä sekä uudisrakennuksissa että laajojen energiakorjausten ansiosta – oletusten mukaan parhaimmillaan noin 60 % vuoden 2010 tasosta. Teollisuudessa keskeisiä vaikutuksia ovat kaikissa skenaarioissa sähköistyminen prosessilämmön tuotannossa ja fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biopolttoaineilla.

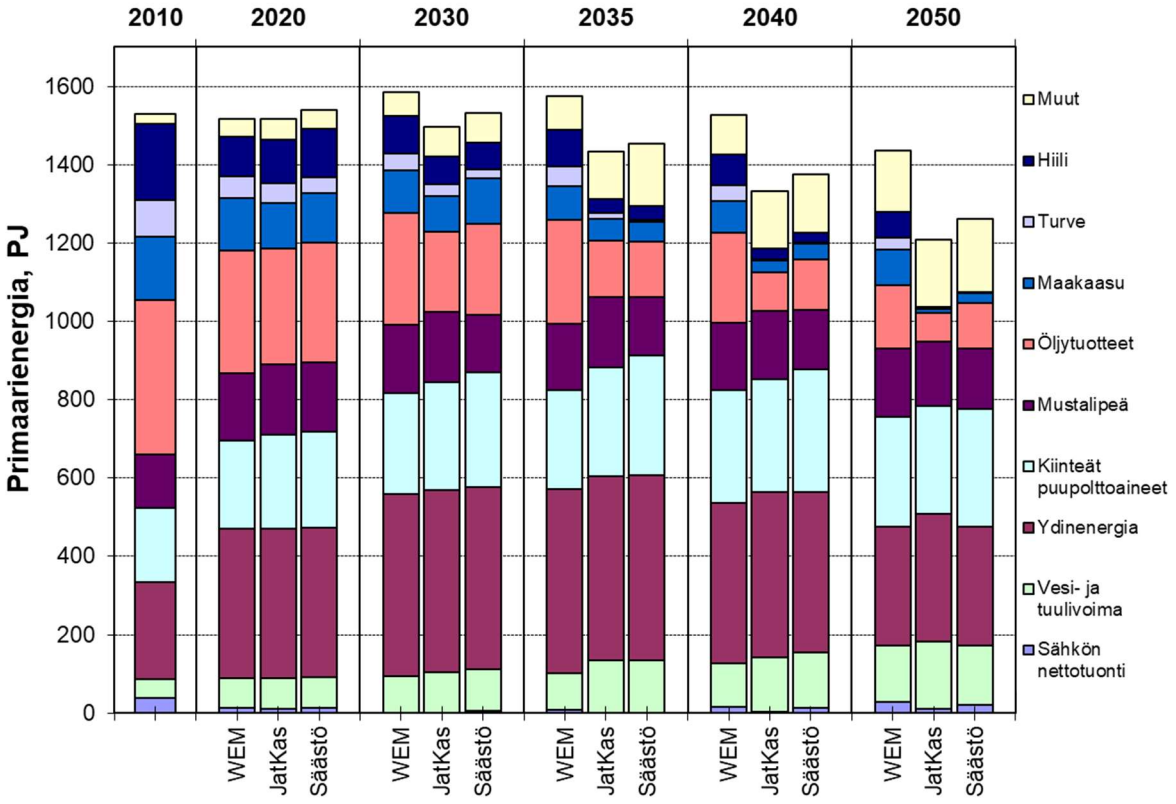
Energian loppukulutus oli Suomessa vuonna 2010 yhteensä noin 300 TWh, josta sähköä oli 28 %, lämpöä noin 13 % ja suoraa polttoainekäyttöä 59 %. Mallinnustulosten mukaan loppukäytön kokonaismäärä pysyy WEM-skenaariossa vuoteen 2030 saakka lähellä vuoden 2015 tasoa (kuva 5). Merkittävien päästönvähennysten toteuttaminen edellyttää tulosten mukaan huomattavaa sähköistymistä kaikilla energian käyttösektoreilla, sillä fossiilisia polttoaineita ei voida korvata kestävästi bioenergialla riittävän laajassa mitassa.



Kuva 5. Energian mallinnettu loppukulutus sektoreittain eri skenaarioissa.

TIMES-VTT-mallin tuottama primaarienergian kokonaiskulutuksen kehitys on esitetty kuvassa 6. Primaarienergian kokonaiskulutus on WEM-skenaariossa korkeimmillaan noin 1570 PJ (436 TWh) vuosina 2030–2035, jonka jälkeen kulutus alkaa pienentyä.

Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee kaikissa skenaarioissa merkittävästi jo vuoteen 2030 mennessä, sillä jo WEM-skenaariossa oletetut päästöoikeuksien nousevat hinnat ja uusiutuvan energiatekniikan kehitys heikentävät fossiilisten polttoaineiden kilpailukykyä. Vähäpäästöskenaarioissa erityisesti mineraaliöljyn ja kivihiilen kokonaiskulutus vähenevät WEM-skenaariota voimakkaammin jo vuoteen 2030 mennessä, mutta maakaasu säilyttää tällöin vielä asemansa verrattain hyvin olemassa olevan infrastruktuurin ja tuotantokapasiteetin ansiosta. Vuosina 2020–2030 käyttöön tulevat yksi tai kaksi uutta ydinvoimalaitosta vaikuttavat lauhdevoimalaitoksina kumpikin tuntuvasti primaarienergiataseen rakenteeseen ja määrään, kuten myös Loviisan ja Olkiluodon vanhojen laitosten mallinnuksessa oletetut käyttöiän pidennykset.



Kuva 6. Primaarienergian kokonaishankinnan mallinnettu kehitys skenaarioittain.

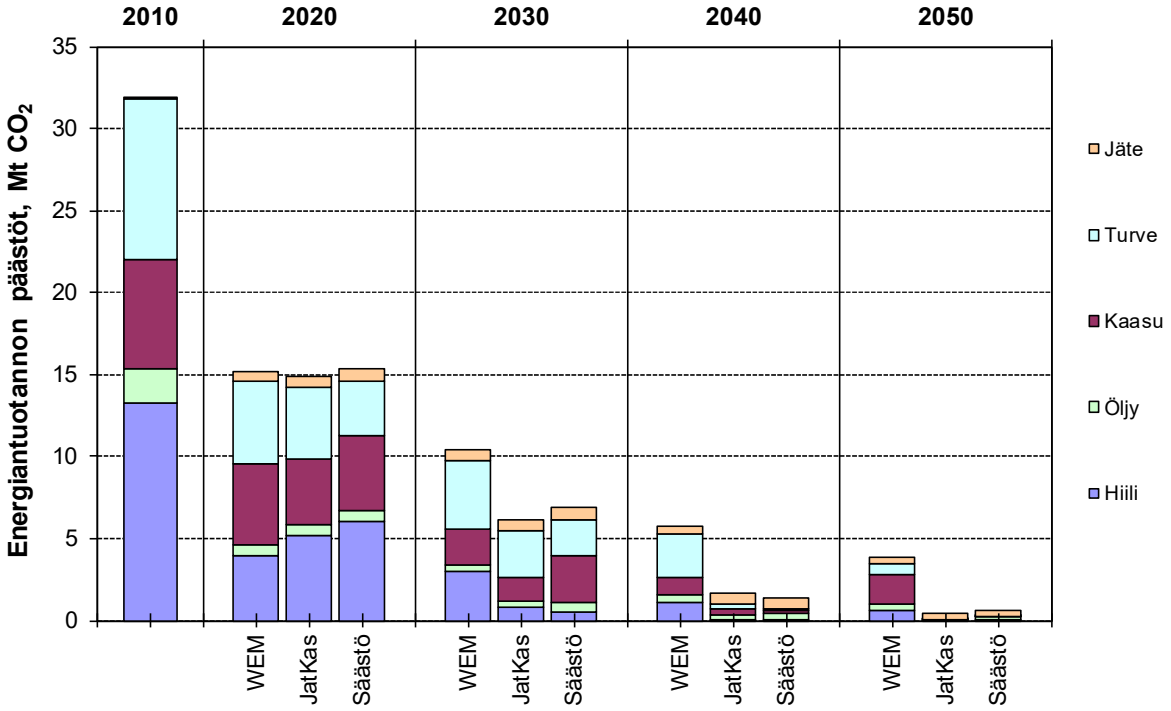
5 ALAKOHTAINEN ASIAAN LIITTYVÄ SISÄLTÖ

5.1 Energiajärjestelmä

Energiantuotannon kehityksellä on keskeinen merkitys päästöjen kehityskulkuun kaikissa vähäpäästöpoluissa. Energiantuotannon päästöillä tarkoitetaan tässä sähkön, kaukolämmön ja teollisuuden prosessihöyryn tuotannon polttoaineiden poltossa syntyviä päästöjä.

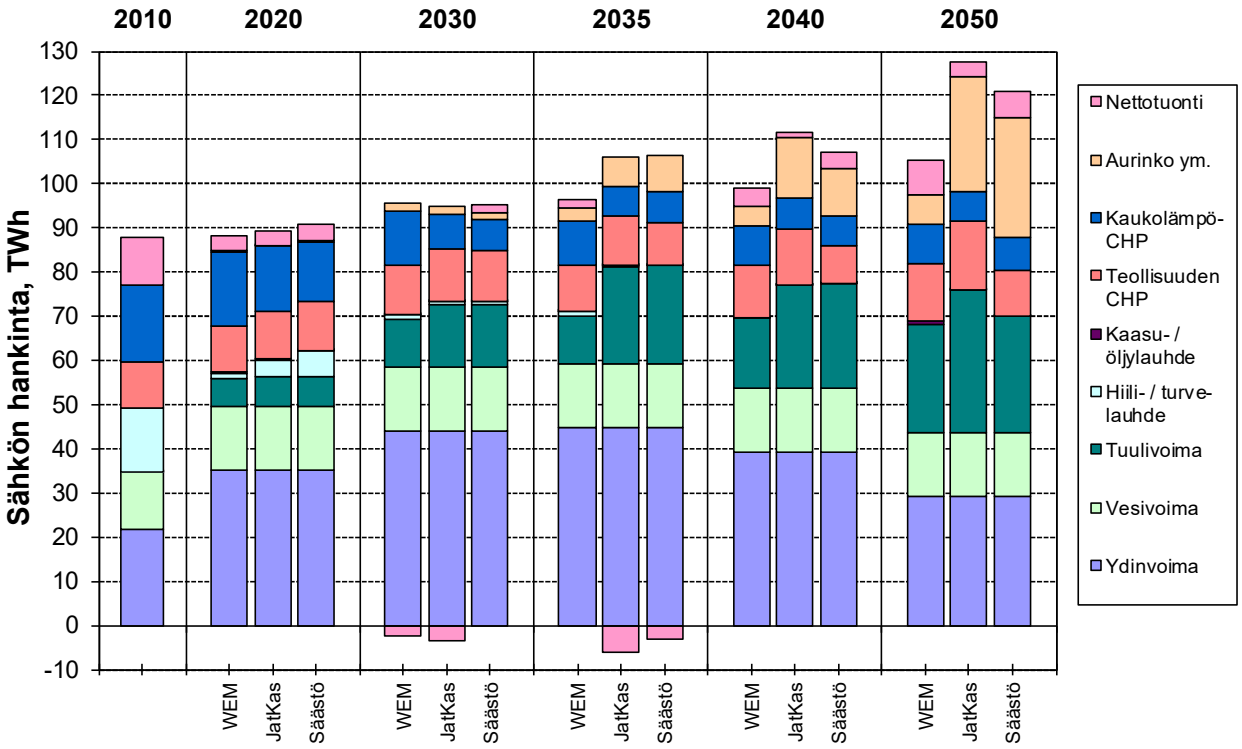
Energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitys on esitetty kuvassa 7 energialähteittäin (hiili, öljy, maakaasu, turve ja energiantuotantoon käytetyn jätepolttoaineen fossiilinen osuus). Energiantuotannon hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2015 runsaat 17 miljoonaa tonnia, mutta mallinnustulosten mukaan ne vähenevät jo WEM-skenaariossa noin 10 miljoonaan tonniin vuoteen 2030 mennessä, ja sen jälkeen päästöt vähenevät vuoteen 2050 mennessä alle 5 miljoonan tonniin. Vaikka päästöoikeuden hinnan on oletettu nousevan, turpeen nykyinen kevyempi verokohtelu säilyttää turpeen kilpailukyvyn energiantuotannossa vuoteen 2030.

Vähähiiliskenaarioissa energiantuotannon päästöt vähenevät hiilineutraaliustavoitteen myötä vuoden 2030 jälkeen huomattavasti jyrkemmin siten, että vuonna 2040 päästöt painuvat kummassakin skenaariossa alle 2 miljoonan tonnin. Jatkuvassa kasvussa energiantuotannon päästöt asettuvat 1,6 miljoonaan tonniin ja Säästö-skenaariossa 1,4 miljoonaan tonniin. Säästö-skenaariossa oletetut energiaverojen muutokset vaikuttavat erityisesti turpeen käyttöön. Jäljelle jäävistä päästöistä jätepolttoaineen osuus on 40–50 %, joten varsinaisten fossiilisten polttoaineiden ja turpeen päästöt ovat yhteensä alle miljoona tonnia, ja ne jakautuvat melko tasaisesti turpeen, maakaasun ja öljyn kesken. Vuonna 2050 muut kuin jätepolttoaineen päästöt ovat jo jokseenkin merkityksettömiä.



Kuva 7. Energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitys eri skenaarioissa.

Mallilaskelmien mukainen sähkön kokonaishankinnan kehitys on esitetty energialähteittäin kuvassa 8. Tulosten mukaan sähkön kokonaiskulutus nousee vuonna 2030 WEM-skenaariossa 93 TWh:iin ja vähäpäästöskenaarioissa vain hieman alemmaksi, 91–92 TWh:iin. Sähkön kulutus ja tuotanto ovat vuonna 2030 lähes tasapainossa kahden uuden ydinvoimalaitoksen ja nopeasti kasvavan tuulivoiman tuotannon ansiosta. Säästö-skenaariossa tuontitarve on vuonna 2030 vajaat 2 TWh, mutta muissa skenaarioissa se kääntyy pieneksi nettovienniksi. Hiilineutraaliustavoitteen vaikutukset sähkötaseeseen alkavat näkyä selvemmin vuoden 2030 jälkeen, jolloin sähköistyminen voimistuu kaikilla sektoreilla ja sähköä aletaan käyttää laajemmassa mitassa myös ns. sähköpolttoaineiden jalostukseen (power-to-x-teknologia). Vuonna 2050 sähkön kokonaiskulutus on tulosten mukaan 105–127 TWh, jossa on kasvua 11–39 % vuodesta 2030. Suurimmaksi sähkön kulutus nousee Jatkuvan kasvun skenaariossa, jossa talouskasvu pysyy hyvänä ja sähköllä korvataan laajimmin polttoaineiden käyttöä, kun hiilidioksidin talteenotto ja varastointi eivät tule käyttöön. Säästö-skenaariossa, jossa CCS on käytettävissä, energiajärjestelmän muutokset ovat sen ansiosta muilta osin maltillisempia. Sähkön tuontitarve on vuonna 2050 tulosten mukaan eri skenaarioissa vain 3–8 TWh, eli siltä osin sähkön huoltovarmuus pysyy kohtuullisen hyvänä verrattuna esimerkiksi nykytilanteeseen.



Kuva 8. Sähkön hankinta energialähteittäin eri skenaarioissa.

Aurinkovoiman kustannukset ovat pudonneet erittäin voimakkaasti viimeisen kymmenen vuoden aikana, ja kustannuskehityksen oletettiin jatkuvan suotuisana, ja erityisesti juuri vähäpäästöskenaarioissa. Mallilaskelmien tuloksissa oletukset johtavat aurinkovoiman läpimurtoon Suomenkin olosuhteissa vuoden 2030 jälkeen niin, että vuonna 2050 tuotanto on kummassakin vähäpäästöskenaariossa 25–27 TWh. Tuulivoiman tuotanto nousee vuonna 2020 lähes 7 TWh:n tasolle ja edelleen vuonna 2030 kummassakin vähäpäästöskenaarioissa yli kaksinkertaiseksi, runsaaseen 14 TWh:iin ja vuonna 2035 yli 20 TWh:iin. Vuodelle 2050 VTT:n tuulivoima-asiantuntijat ovat arvioineet realistiseksi teknistaloudelliseksi potentiaaliksi 28 TWh, josta merituulivoimaa olisi noin 40 %. Näissä arvioissa on huomioitu myös tuulivoimainvestointeja rajoittavia tekijöitä, kuten puolustusvoimien asettamat rajoitteet tuulivoimainvestoinneille, joten myös korkeammat potentiaalit voivat olla tulevaisuudessa mahdolliset, mikäli investointien esteitä pystytään purkamaan. Mallilaskelmissa tuulivoiman tuotanto nousee vähäpäästöskenaarioissa 27–33 TWh:iin vuonna 2050.

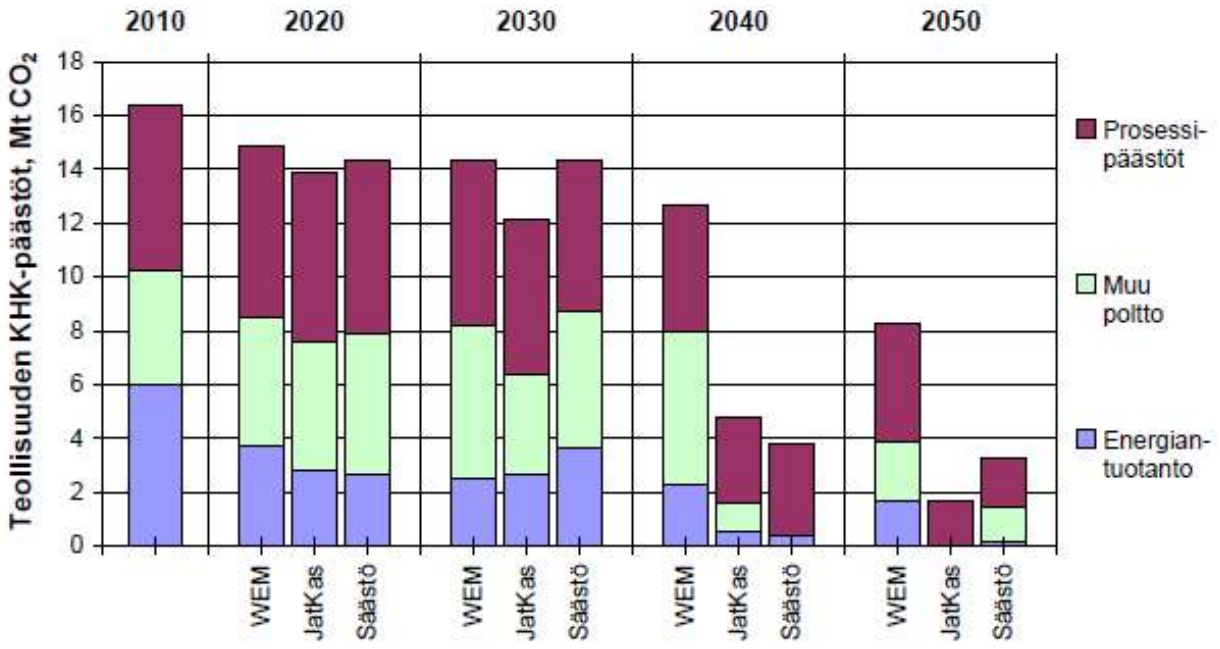
Tuulivoima- ja aurinkovoimatuotannon vaihtelun vuoksi sähköjärjestelmään tarvitaan niiden roolin korostuessa merkittävä määrä joustokapasiteettia. Joustoa lisätään mallin tuloksissa investoinneilla varastointikapasiteettiin, kysyntäjoustoa ohjaaviin älyverkkoihin ja sähkönsiirtoyhteyksiin. Vaihtelevaa tuotantoa hyödynnetään mallin tulosten mukaan runsaasti muun muassa ns. power-to-x sovelluksissa, joissa tuotettua vetyä tai hiilivetyjä voidaan varastoida huomattavasti sähköä helpommin.

5.2 Teollisuus

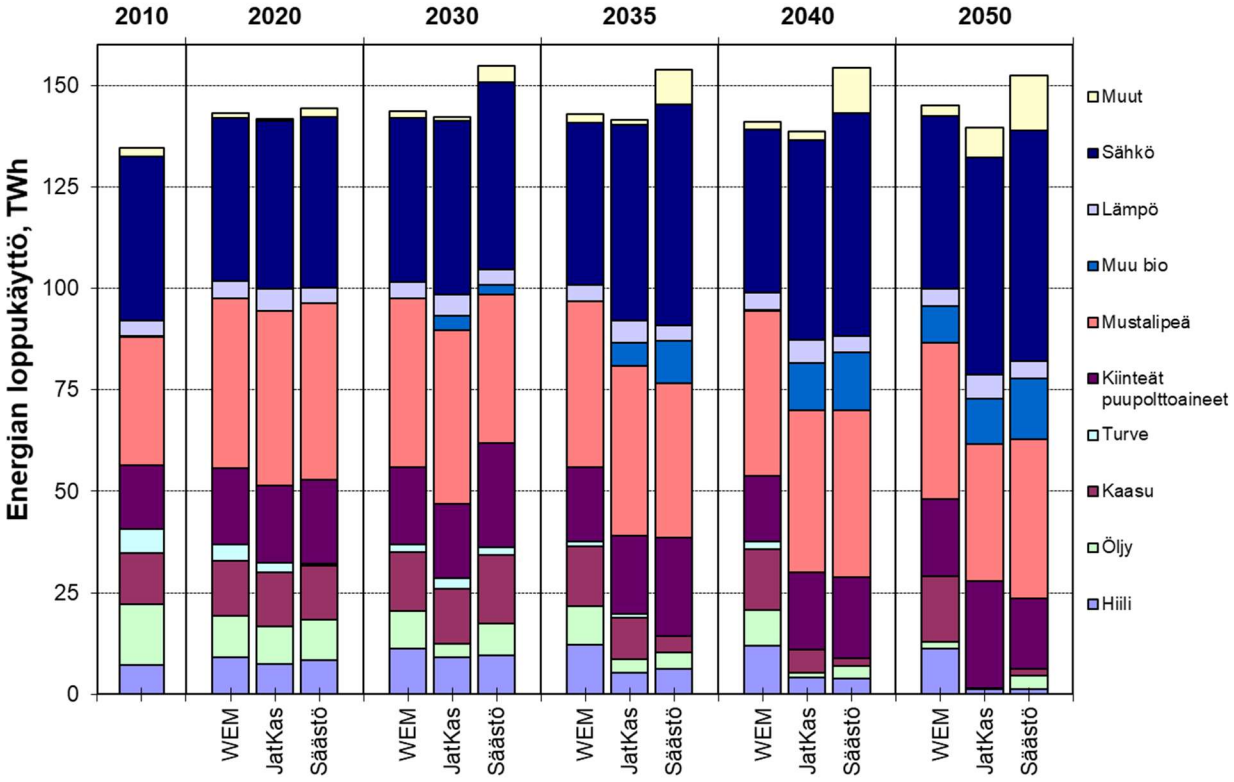
Teollisuudessa keskeisiä vähäpäästöskenaarioissa oletettuja keinoja päästöjen vähentämiseksi ovat sähköistyminen prosessilämmön tuotannossa sekä fossiilisten polttoaineiden ja turpeen korvaaminen biopolttoaineilla. Lisäksi yhtenä keskeisenä oletuksena on malmipohjaisen hiiliteräksen valmistusprosessin vaihtuminen suorapelkistykseksi vuoden 2030 jälkeen korvaamalla koksin käyttö pelkistimenä joko vedyllä tai elektrolyyttisellä prosessilla. Sementin valmistuksen päästöjä voidaan vähentää

hybridiuuneilla, joissa noin puolet polttoaineesta on mahdollista korvata sähköllä. Säästö-skenaariossa, jossa CCS on käytettävissä, voidaan sitä soveltaa sementin valmistuksessa, polttoaineiden jalostusprosesseissa sekä rajoitetussa mitassa sellunvalmistuksessa. Jatkuvan kasvun skenaarioissa CCS:n puuttuminen keinovalikoimasta puolestaan vaikeuttaa päästötavoitteiden saavuttamista prosessiteollisuudessa. Siksi laskelmissa tehtiin oletus, jonka mukaan sementin valmistuksessa voidaan sen seosaineena yleisesti käytetyn masuunikuonan sijasta hyödyntää – toki rajoitetusti – kierrätysmateriaaleja ja siten supistaa fossiilisen sementtiklinkkerin tuotannon lisäyspainetta.

Teollisuuden kasvihuonekaasupäästöt pysyvät tulosten mukaan sekä WEM- että Säästö-skenaariossa noin 14 Mt:n tasolla vuosina 2020–2030, mutta Jatkuvan kasvun skenaariossa ne alkavat tuntuvasti pienentyä jo vuoteen 2030 mennessä (kuva 9). Vuosien 2030 ja 2040 välillä päästöt vähenevät kummassakin vähäpäästöskenaariossa alle viiden miljoonan tonnin, jolloin suurin pudotus, 6–8 Mt, saadaan polttoaineiden polton päästöissä. Vuoteen 2050 mennessä vetyteknologian ja CCS-sovellusten (Säästö-skenaario) ansiosta myös prosessipäästöissä saavutetaan noin 70 %:n vähennys vuoteen 2010 verrattuna, ja polton päästöt voidaan Jatkuvan kasvun skenaariossa lähes nollata, suurelta osin sähköistymisen ja hiilineutraalien uusiutuvien ja synteettisten polttoaineiden avulla. Teollisuuden energian loppukulutuksen jakaumaa energialähteittäin on havainnollistettu alla (kuva 10).



Kuva 9. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys teollisuudessa skenaarioittain.

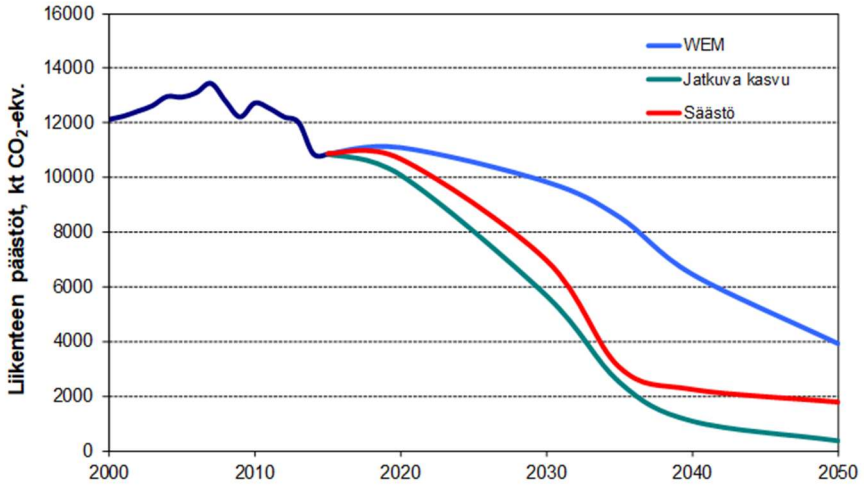


Kuva 10. Energian loppukulutus teollisuudessa skenaarioittain ("muut" sisältää muun muassa vedyn ja synteettiset polttoaineet).

5.3 Liikenne

Liikenteen osalta tarkastellaan tässä vain kotimaan liikennettä, vaikka laskentamallissa on mukana myös kansainvälinen lento- ja laivaliikenne. Kotimaan liikenteen kasvihuonekaasujen kehitys kääntyi vuonna 2010 selvään laskuun, mutta lasku pysähtyi vuonna 2016. Syinä päästöjen kääntymiselle nousuun vuosina 2016–2017 ovat olleet toisaalta polttoaineen kulutuksen kääntyminen kasvuun tieliikenteessä ja toisaalta bio-osuuden selvä lasku. Bio-osuuden vaihtelua selittää kansallinen sekoitevelvoite, jonka mukaista bio-osuuden lisäystä Suomi on toteuttanut hieman etupainotteisena. Toisaalta tieliikenteen suoritteet ovat kuitenkin pysyneet VTT:n LIISA 2018-laskentajärjestelmän mukaan tasaisina tai jopa hieman vähentyneet, joten kulutusmuutoksen todellinen syy jää osin epäselväksi.

Tulosten mukaan päästöt kasvavat WEM-skenaariossa lievästi vuoteen 2020 saakka mutta kääntyvät sen jälkeen laskuun (kuva 11). Vähäpäästöskenaarioissa päästöura erkanee jo vuonna 2020 oletettujen lisätoimien ansiosta ja kääntyy sen jälkeen jyrkkään laskuun vuoteen 2035 saakka, jonka jälkeen päästöjen lasku jatkuu hitaampana. Saavutettaessa hiilineutraalisuus vuonna 2035 liikenteen mallinnetut kasvihuonekaasupäästöt ovat Jatkuvan kasvun skenaariossa enää noin 2,5 Mt ja Säästö-skenaariossa noin 3 Mt. Vuonna 2050 Jatkuvan kasvun skenaariossa liikenteenkin päästöt joudutaan rajoittamaan jo hyvin lähelle nollaa, mutta Säästö-skenaariossa vähennys 1,8 Mt:n tasoon on CCS:n soveltamisen ansiosta (muilla sektoreilla) riittävä. Kummassakin skenaariossa liikenteen päästövähennykset saavutetaan valtaosin teknologisin keinoin, sillä liikkumistapojen muutokset oletettiin mallinnuksessa melko pieniksi.



Kuva 11. Kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys skenaarioittain.

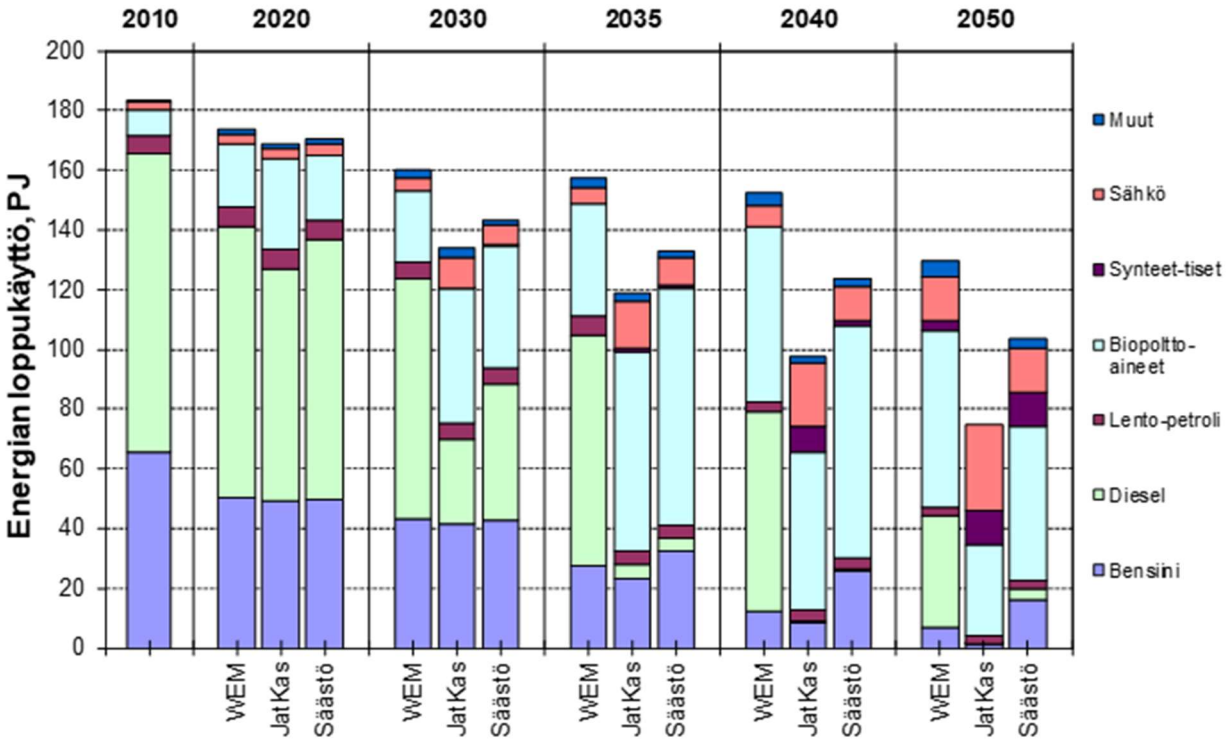
Yhtenä keskeisenä osana uusiutuvan energian käytön lisäystavoitteita on energia- ja ilmastostrategiassa ja keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa esitetty tavoite nostaa liikenteen uusiutuvien energialähteiden osuutta. Tieliikenteessä vuodelle 2030 on asetettu 30 % biopolttoaineiden jakeluvelvoite[6], joka toteutuu sekä Säästö- että Jatkuvan kasvun skenaariossa. Liikenteen polttoaineista fossiilinen bensiini ja diesel voidaankin teknisesti korvata lähes kokonaan biopolttoaineilla tai siirtymällä sähkö-, hybridi- tai polttokennoajoneuvoihin. Tarkastelluissa skenaarioissa on oletettu etanolin osuuden voivan nousta vain 10 %:iin tavanomaisesta moottoribensiinistä, mutta sen lisäksi markkinoille tulee kuitenkin myös toisen sukupolven biobensiiniä, jolla fossiilinen bensiini voidaan korvata käytännössä kokonaan, samoin kuin biodieselillä voidaan korvata fossiilinen dieselöljy. Lentoliikenteessä on vastaavasti oletettu biokerosiinia tulevan markkinoille biodieseliin verrattavissa olevin tuotantokustannuksin.

Biokaasun käyttöä ajoneuvoissa voidaan myös laajentaa tuntuvasti, mutta sen merkitys jää kokonaisuutena paljon muita biopolttoaineita pienemmäksi. Biokaasun valmistus synteettisesti esimerkiksi kiinteästä biomassasta ei ole kestävän raaka-aineen rajallisuuden ja hinnan vuoksi skenaarioissa taloudellisesti kannattavaa. Kaasun teknistaloudellisesti kannattava tuotantopotentiaali ei siten kasva kovin merkittäväksi, ja toisaalta päästöjen vähentämisen kannalta edullisia kaasun käyttökohteita on muuallakin kuin liikenteessä. Mallinnuksessa oletetut maatalouden vähenevät kotieläinmäärät pienentävät myös lannasta saatavissa olevan biokaasun potentiaalia.

Tulosten mukaan biopolttoaineiden osuus on vuonna 2030 WEM-skenaariossa noin 16 % liikenteen loppukäytöstä, Jatkuvan kasvun skenaariossa peräti noin 35 % ja Säästö-skenaariossa noin 30 %. Jatkuvan kasvun skenaariossa bio-osuus nousee siis sähköautojen markkinaosuuden paljon nopeammasta kasvusta huolimatta hieman suuremmaksi kuin Säästö-skenaariossa, mikä johtuu polttoaineen markkinatilanteen ja ulkomaankaupan eroista. Säästö-skenaariossa, jossa ajoneuvotekniikka pysyy polttomoottorivaltaisena, myös liikenteen päästöjen väheneminen on sen vuoksi huomattavasti hitaampaa. Vuonna 2050 biopolttoaineiden osuudet ovat 41 % Jatkuvan kasvun skenaariossa ja 53 %

[6] Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta. 419/2019. https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190419

Säästö-skenaariossa, mutta niiden lisäksi synteettisten polttoaineiden (vety, metanoli) merkitys nousee kummassakin skenaariossa huomattavaksi erityisesti raskaassa liikenteessä. Liikenteen mallinnetut polttoainejakaumat skenaarioittain on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Liikenteen mallinnetut polttoainejakaumat skenaarioittain.

5.4 Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF) ja maatalous

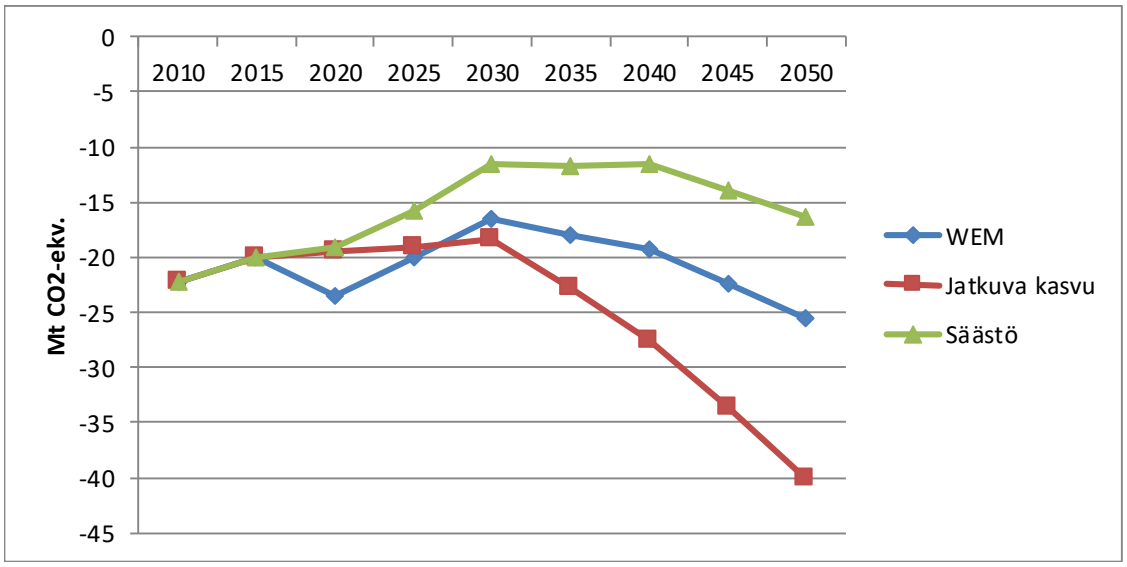
Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous eli LULUCF-sektorilla keskeisiä päästöihin ja poistumiin vaikuttavia tekijöitä ovat maankäytön muutos, metsien kasvussa ja hakkuissa tapahtuvat muutokset sekä maataloudessa ja turvemaiden käsittelyssä tapahtuvat muutokset.

LULUCF -sektorin skenaariot muodostuivat kullekin maankäyttöluokalle ja puutuotteille erikseen lasketuista skenaarioista. Laskennassa muodostettiin maankäyttöluokkien ja maankäytön muutosluokkien pinta-alojen kehitysskenaariot, metsien kehitysskenaariot sekä puutuotteiden tuotantoskenaariot puutuotteiden hiilivaraston muutosten laskemiseksi. LULUCF-sektorin päästöt ja poistumat laskettiin kuudessa maankäyttöluokassa, jotka kattavat Suomen maa-alan ja sisävedet.

Kaikissa kolmessa skenaariossa LULUCF-sektori tuotti nettonielun, eli kasvihuonekaasujen poistumat olivat päästöjä suuremmat. Suomessa metsiin kohdistuvilla toimenpiteillä on LULUCF-sektorin taseeseen suurempi merkitys kuin muilla maankäyttömuodoilla. Skenaariot hakivat kehityssuuntaansa vuoteen 2030, jonka jälkeen niiden erot vahvistuivat.

WEM-skenaariossa LULUCF-sektorin nettonielu vuonna 2050 on 26 Mt CO_2-ekv. Jatkuva kasvu -skenaariossa LULUCF-sektorin nettonielu pysyy nykyisellä tasolla ja kääntyy 2030 nopeasti kasvuun, ollen 2050 jo 40 Mt CO_2-ekv. Nielun kannalta suotuisa kehitys seuraa etenkin WEM-skenaariota alhaisemmasta runkopuun hakkuiden tasosta. Säästö-skenaario tuotti LULUCF-sektorille pienimmän nielun siten, että sektorin nettonielu jää 2050 alle 20 Mt CO_2-ekv:n. Säästö-skenaariossa

LULUCF-sektorin alhaista nielua selitti etenkin oletus metsäteollisuuden tuotantorakenteen muutoksesta ja sen myötä yli 90 miljoonan m^3 nousevista vuotuisista runkopuun hakkuukertymistä vuoden 2035 jälkeen. Kuvassa 13 on esitetty LULUCF-sektorin nettonielun kehitys eri skenaarioissa. Seuraavassa on kuvattu tarkemmin skenaarioissa tehtyjä oletuksia maankäytön muutoksen, metsien kasvun ja hakkuiden sekä maatalouden kehityksen osalta.



Kuva 13. LULUCF-sektorin nettonielun kehitys eri skenaarioissa.

Maankäytön muutokset eri skenaarioissa

Maankäytön muutosta koskevien skenaarioiden taustalla ovat tapahtuneista maankäytön muutoksista lasketut trendit ja keskiarvot vuotuisista muutospinta-aloista. Maankäytön muutoksen pinta-alat estimoitiin Haakanan et al. (2015)[7] esittämällä menetelmällä kuhunkin skenaarioon liittyvät taustaoletukset huomioiden esimerkiksi tuulivoimapuistojen rakentamisesta tai pellon metsityksestä.

Maankäyttösektorilla tapahtuviin toimiin ei oletettu merkittäviä muutoksia WEM-skenaariossa. Maatalouden osalta Jatkuva kasvu- ja Säästö- skenaarioissa oletetaan, että kansallisessa kotieläin-tuotteiden kulutuksessa tapahtuu huomattava väheneminen (-30 – -50 % 2050). Tämän johdosta aktiiviviljelyssä käytettävä peltoala vähenee rehualan tarpeen vähenemisen vuoksi. Erityisesti Jatkuva kasvu-skenaariossa oletettiin peltopinta-alan vähenevän huomattavasti. Samalla oletettiin, että etenkin turvepeltoalaa poistuisi maataloustuotannosta. Säästö-skenaariossa oletukset olivat samansuuntaisia, mutta lievempiä. Skenaarioissa metsittämistä pidettiin ensisijaisena vaihtoehtona vapautuvalle maatalousmaalle. Myös turvetuotantoalat vähenivät Jatkuva kasvu ja Säästö-skenaarioissa voimakkaasti. Rakennetun maan pinta-alat poikkeavat eri skenaarioissa melko vähän. Metsämaan kokonaispinta-ala muuttuu skenaarioissa sen mukaan, kuinka paljon alueita siirtyy muuhun käyttöön ja kuinka paljon metsitetään. Vaikka metsityspinta-alat olivat skenaarioissa merkittäviä, niiden vaikutus nielua kasvattavana ei juuri näy, koska käytetty aikajänne on suhteellisen lyhyt ja metsityspinta-alan määrä

[7] Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen: Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015.

suhteessa Suomessa jo olemassa olevan metsämaan pinta-alaan on pieni. Tehdyt oletukset eri maankäyttöluokkien pinta-alojen kehityksestä käyvät ilmi alla olevasta taulukosta 1.

Taulukko 1. Pinta-alojen kehitys eri skenaarioissa.

WEM

1000 ha	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Metsämaa	21 943	21 888	21 861	21 817	21 771	21 727	21 687	21 653	21 624
Viljelysmaa	2 474	2 486	2 489	2 491	2 491	2 489	2 488	2 488	2 488
Ruohikkoalueet	238	241	243	244	245	245	246	247	249
Kosteikot	2 989	2 987	2 973	2 956	2 943	2 934	2 927	2 917	2 906
Rakennettu maa	1 432	1 476	1 517	1 574	1 631	1 683	1 731	1 774	1 813
Muu maa	1 312	1 311	1 310	1 309	1 308	1 307	1 306	1 305	1 305
Sisävedet	3 455	3 455	3 456	3 457	3 458	3 459	3 460	3 461	3 462
Yhteensä	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843

Jatkuva kasvu

1000 ha	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Metsämaa	21 943	21 888	21 880	21 937	21 994	22 051	22 112	22 186	22 264
Viljelysmaa	2 474	2 486	2 486	2 353	2 219	2 085	1 952	1 814	1 676
Ruohikkoalueet	238	241	243	277	310	343	377	401	425
Kosteikot	2 990	2 986	2 952	2 937	2 923	2 912	2 902	2 891	2 881
Rakennettu maa	1 432	1 476	1 517	1 574	1 632	1 686	1 736	1 786	1 832
Muu maa	1 312	1 311	1 310	1 309	1 308	1 307	1 306	1 305	1 304
Sisävedet	3 455	3 455	3 456	3 457	3 458	3 459	3 460	3 461	3 462
Yhteensä	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843

Säästö

1000 ha	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Metsämaa	21 943	21 888	21 864	21 885	21 904	21 930	21 958	21 985	22 017
Viljelysmaa	2 474	2 486	2 486	2 408	2 331	2 251	2 171	2 092	2 013
Ruohikkoalueet	238	241	243	263	282	302	322	342	362
Kosteikot	2 990	2 986	2 967	2 949	2 932	2 915	2 899	2 890	2 881
Rakennettu maa	1 432	1 476	1 517	1 573	1 628	1 681	1 727	1 769	1 805
Muu maa	1 312	1 311	1 310	1 309	1 308	1 307	1 306	1 305	1 305
Sisävedet	3 455	3 455	3 456	3 457	3 458	3 459	3 460	3 461	3 462
Yhteensä	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843

Metsien kasvun, hakkuiden ja metsämaan hiilinielun kehitys skenaarioissa

Metsien kasvun metsä- ja kitumaalla oletetaan WEM-skenaariossa olevan vuoden 2050 tasolla noin 116 milj. m^3 vuodessa. Säästö-skenaariossa metsien kasvu olisi hieman tätä alempi, 113 milj. m^3 ja Jatkuva kasvu-skenaariossa puolestaan WEM-skenaariota hieman korkeampi, 117 milj. m^3 vuodessa. Tuorein mitattu puuston vuotuinen kasvu on 108 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

Metsien hakkuita tarkastellaan skenaarioissa runkopuun hakkuukertymien määrinä. Runkopuu sisältää käsitteenä sekä metsäteollisuuden käyttöön ohjautuvan ainespuun että energiakäyttöön päätyvän runkopuun. WEM-skenaariossa runkopuun vuotuiseksi hakkuukertymäksi oletetaan 72 milj. m^3/v vuoteen 2024 asti ja sen jälkeen hakkuukertymä nousisi noin 80 milj. kuutiometriin vuodessa. Tämän jälkeen vuotuisen runkopuun hakkuukertymän oletetaan pysyvän WEM-skenaariossa vuosien 2025–

2054 aikana tasaisena 80–81 miljoonassa kuutiometrissä. WEM-skenaarion oletus sekä metsäteollisuuden tuotantomääristä että hakkuukertymien kehityksestä on yhtenevä voimassaolevan kansallisen metsästrategian ja kansallisen energia- ja ilmastostrategian kanssa. Kahdessa muussa tarkastellussa skenaariossa tehtiin oletuksia metsäteollisuuden tuotantorakenteiden muutoksista, jotka vaikuttivat myös runkopuun hakkuukertymiin.

Metsäteollisuuden tuotannon keskeiset lähtöoletukset WEM-skenaariossa vuoteen 2050 asti ovat, että paperin ja kartongin tuotanto Suomessa laskee hieman, mutta sellun ja sahatavaran nettovienti hieman kasvavat. WEM-skenaarion metsäteollisuuden tuotanto-oletukset pohjautuivat vuonna 2016 laadittuun Pöyryn perusarvioon.

Kaikissa kolmessa skenaariossa oletettiin paperituotteiden osalta nykyisen laskevan trendin jatkuvan. Sen sijaan kartonkituotteiden osalta oletettiin, että globaali kysyntä ja siten myös kotimainen tuotanto kasvavat lähivuosikymmeninä, mutta vuodesta 2030 lähtien kasvutrendi hidastuu.

Jatkuva kasvu -kehityspolussa tehtiin oletus, että metsäteollisuuden tuotannon volyymit kääntyisivät selvimmin laskuun vuodesta 2030 lähtien. Suurimmat metsäteollisuuden tuotannon volyymit oletettiin Säästö-skenaariossa. Skenaariossa oletetaan, että metsäteollisuuden tuotannossa siirrytään vähitellen uusien, korkeamman jalostusasteen tuotteisiin niin kemiallisen kuin mekaanisen metsäteollisuuden piirissä. Selluntuotannossa tämä merkitsee siirtymää uusiin kuitutuotteisiin ja biokemian tuotteiden valmistamista muun muassa nykyisin valtaosin vain energiaksi hyödynnetyistä jäteliemien ligniini- ja hemiselluloosajakeista. Mekaanisen metsäteollisuuden osalta se puolestaan tarkoittaa tavanomaista sahatavaraa huomattavasti pidemmälle jalostettujen puutuotteiden valmistusta, mikä näkyy sahatavaran tuotantovolyymien kääntymisenä vuoden 2030 jälkeen laskuun ja vastaavasti jalostetun sahatavaran volyymien kääntymisenä merkittävään nousuun.

Näiden metsäteollisuuden tuotanto-oletusten pohjalta myös runkopuun hakkuukertymät eroavat Jatkuva kasvu- ja Säästö-skenaarioissa WEM-skenaariosta. Jatkuva kasvu-skenaariossa runkopuun hakkuukertymä on vuosina 2025–2034 81,8 milj. m^3/v, mutta vuodesta 2035 alkaen Jatkuva kasvu-skenaariossa vuotuinen runkopuun hakkuiden taso laskee hieman alle 80 miljoonan kuutiometriin vuodessa. Säästö-skenaarioissa runkopuun kokonaishakkuukertymä on vuosina 2035–2054 selvästi muita skenaarioita korkeampi, vuosittain noin 92 miljoonaa kuutiometriä. Skenaarioissa ei oletettu tuontipuun osuuden olennaisesti muuttuvan, vaan skenaariotarinoissa metsäteollisuuden raaka-ainetarpeen kasvun oletettiin kohdistuvan kotimaan hakkuisiin.

Runkopuun hakkuukertymien erot eri skenaarioissa alkavat näkyä puuston kasvussa vasta kahdella viimeisellä vuosikymmenellä (2035–2054). **Puuston kokonaistilavuuden** kehitys jatkuu tasaisena metsä- ja kitumailla vuodesta 2015 vuoteen 2055. Puuston kokonaistilavuudeksi saatiin Jatkuva kasvu- ja WEM-skenaarioissa vuonna 2055 yli 3,2 miljardia m^3 sekä Säästö-skenaariossa vajaa 2,9 miljardia m^3. Tuorein mitattu puuston määrä on 2,5 miljardia kuutiometriä, eli puuston kokonaistilavuus kasvaa kaikissa skenaarioissa nykytilaan verrattuna.

Runkopuun vuotuisten hakkuukertymien pohjalta laskettu **metsämaan nettohiilinielu** vaihtelee WEM-skenaariossa vuosina 2030–2040 välillä 25–28 Mt CO_2-ekvivalenttia ja nousee 2050 tasolle 34,4 Mt CO2-ekvivalenttia. Jatkuva kasvu -skenaariossa metsämaan hiilinielu on vuonna 2050 WEM-skenaariota suurempi johtuen siitä, että skenaariossa on oletettu alhaisempi hakkuukertymätaso. Sen sijaan Säästö-skenaariossa metsämaan nettonielu jää huomattavasti pienemmäksi kuin WEM- ja Jatkuva kasvu-skenaarioissa johtuen siitä, että Säästö-skenaariossa hakkuukertymätaso nousee muita skenaarioita selvästi suuremmaksi. Käännepiste sijoittuu skenaarioissa vuoden 2030 kohdalle.

Puutuotteiden vaikutusta tarkasteltiin skenaarioissa kasvihuonekaasuinventaarion menetelmällä. Kun hakkuissa korjattavan puun määrää lisätään, metsämaan hiilinielu pienenee (Säästö) ja päinvastoin, kun korjattavan puun määrä skenaariossa vähenee, nielu kasvaa (Jatkuva kasvu). Puutuotteet eivät täysin kompensoi alenevaa nielua, vaikka tuotanto painottuisi pitkäikäisiin tuotteisiin (Säästö).

Tulee huomioida, että metsien kehityksen ennustaminen skenaarioissa perustui metsäteollisuuden ennakoituun puunkäyttöön ja laadittuihin hakkuukertymäarvioihin sekä näiden oletusten pohjalta MELA-ohjelmalla tehtyyn laskentaan. Skenaarioissa valittu hakkuiden taso vaikuttaa puuston kasvuun ja kokonaistilavuuden kehitykseen ja tätä kautta puustoon sitoutuneen hiilen määrään. Mallien oletukset ja käytetyt parametrit vaikuttavat merkittävästi lopputuloksiin etenkin pitkällä aikavälillä metsien kasvun dynaamisen luonteen vuoksi. Lisäksi laskentamenetelmät kehittyvät jatkuvasti ja uusi tutkimustieto saattaa muuttaa tuloksia merkittävästi.

Maataloussektorin skenaariot

Maataloussektorin WEM-skenaariossa kaikkien elintarvikkeiden kotimainen kysyntä kasvaa noin 5 % vuoteen 2030 mennessä, kun elintarvikkeiden kulutuksen henkilöä kohden oletetaan pysyvän vuoden 2018 tasolla ajanjaksolla 2019–2050. Poikkeuksena on siipikarjanlihan kulutus, jonka 2000-luvulla voimakkaana jatkuneen kasvun oletetaan pysähtyvän.
Ennustettu energian hintojen nopea nousu 2020-luvulla nostaa etenkin maatalouden polttoainekustannuksia (23 % v. 2018–2028) ja vähäisemmässä määrin lannoitteiden hintoja (13 % v. 2018–2028).

Tuotehintojen on WEM-skenaariossa oletettu pysyvän entisellään vuoden 2028 jälkeen. Maataloustuotteiden reaalihinnat eli tuotehintakehitys panoshintoihin nähden pysyy likimain ennallaan etenkin kasvituotteissa. Pientä reaalihintojen nousua tapahtuu eräissä maitotaloustuotteissa kuten maitojauheissa ja juustoissa, mutta kokonaisuutena maitosektorillakin on hyvin maltillinen hintakehitys.

Maatalouspolitiikka on oletettu WEM-skenaariossa samanlaiseksi kuin 2014–2020 kauden maatalouspolitiikka. Mahdollisia EU-tukien vähenemisiä ei ole huomioitu 2020 jälkeen. Pinta-alalle maksettavien tukien pienellä vähenemisellä olisi hyvin vähäinen vaikutus maatalouden tuotantomääriin.

Tuottavuus kasvaa maataloudessa edelleen, etenkin lypsykarjataloudessa, jossa toteutuu laajamittainen siirtyminen yhden lypsyrobotin yksiköistä kahden tai useamman robotin yksiköihin 2020–2030-luvuilla. Tämä muutos on jo käynnissä ja lisää työn käytön tehokkuutta tuotannossa. Myös muussa kotieläintaloudessa tuottavuuden kasvu jatkuu lähinnä työn tuottavuuden osalta, mutta vähemmän kasvintuotannossa, jossa satotasojen oletetaan säilyvän ennallaan. Lannoitteiden kallistuminen useilla prosenteilla 2020-luvulla alkupuoliskolla alentaa tosin satotasoja 1–3 % eri kasveilla.

WEM-skenaariossa lähtötilanteessa 2014–2018 maatalouden heikko kannattavuus jatkuu. Rakennekehityksen ansiosta maatalouden tuotanto säilyy likimain ennallaan lukuun ottamatta pientä vähenemistä naudanlihan ja viljan tuotannossa. Maidontuotannossa rakenne- ja muu tuottavuuskehitys ylläpitää entisenlaista tuotannon tasoa aina vuoteen 2050 asti, mutta naudanlihantuotanto, joka alittaa kotimaisen kysynnän yli 20 prosentilla (tilanne 2018), vähenee suurella todennäköisyydellä vähintään 30 % alle kotimaisen kulutuksen vuoteen 2050 mennessä. Kannattavuus ei ole riittävän hyvä emolehmäpohjaisen naudanlihantuotannon laajamittaiseen lisäämiseen.

Aktiivisessa tuotantokäytössä oleva peltoala vähenee 2020-luvulla WEM-skenaariossa noin 200 000 ha, mikä johtuu viljanviljelyn kannattavuuden alhaisesta lähtötasosta, energian ja lannoitteiden hintojen noususta 2020-luvulla, ja siitä seuraavasta tuotannon keskittämisestä keskimääräistä korkeam-

man satotason viljelysmaille. Kokonaisuutena keskimääräistä heikkotuottoisempaa peltoa jää maksettavista maataloustuista huolimatta suhteellisesti eniten pois viljelykäytöstä maan itä- ja pohjoisosissa, mutta myös muualla maassa.

Maataloussektorin päästöt WEM-skenaariossa vuonna 2050 t ovat 6,45 Mt CO_2 ekv., mikä on 1 %, vähemmän kuin vuonna 2015 pääasiassa eläinmäärien vähenemisen vuoksi.

Maatalouden Säästö – ja Jatkuva kasvu- skenaarioissa tehtiin oletus, että maitotuotteiden ja lihan kulutus vähenee 30% – 50 % vuoteen 2050 mennessä. Kotieläintuotteiden kulutus korvautuisi kasviproteiinilla ja kalatuotteilla. Lisäksi oletettiin, että EU:n hintataso ei nouse ja maatalouden tuissa tapahtuu alenemista. Aktiiviviljelyssä käytettävä peltoala vähenee huomattavasti Jatkuva kasvu- ja Säästö- skenaarioissa rehualan tarpeen vähenemisen vuoksi, mikä johtaa huomattaviin kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiin. Tämä kuitenkin edellyttää, että kannustimet tarvittavaan maankäytön muutokseen ovat maanomistajien ja viljelijöiden näkökulmasta hyväksyttäviä, tuntuvia ja pitkäaikaisia. Lisäksi skenaarioissa on oletettu, että isojen kotieläintilojen lantaa ohjautuu lisääntyvässä määrin biokaasun tuotantoon.

Säästö- skenaariossa vuoden 2050 päästöt ovat 4,36 Mt CO2 ekv., eli 33 %, alhaisemmalla tasolla kuin vuonna 2015 ja Jatkuva kasvu- skenaariossa 3,84 Mt CO2 ekv. eli 41 %, alhaisemmalla tasolla kuin vuonna 2015.

Säästö- ja Jatkuva kasvu- skenaarioissa päästövähennyksiä tuottavat: (1) eläinmäärien väheneminen; (2) turve-maiden poistuminen viljelyksestä; (3) keinolannoitteiden käytön väheneminen; sekä (4) peltoalan tarpeen väheneminen ja ohjaaminen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen erityisesti turvemailla (LULUCF)

Maatalouden muutosten vaikutus maankäyttöön

WEM-skenaariossa vapautuu jo yli 200 000 ha peltomaata maataloustuotannosta vuoteen 2050. Tästä yli 100 000 ha toteutuisi jo 2020-luvulla, jos tuotantopanosten hintojen nousu toteutuu eikä maataloustuotteiden hinta nouse tätä enemmän. Heikko kannattavuus ja kustannuspaineet ajavat tehostamiseen: huonosti tuottavaa peltoa jää pois tuotannosta, mutta säilyy maatalousmaana nykyisellä maatalouspolitiikalla tuotannosta riippumattomien peltoalatukien vuoksi.

Säästö- ja Jatkuva kasvu- skenaarioissa viljelysmaan määrä vähenisi vuoteen 2050 mennessä 470 000- 815 000 hehtaaria. Säästö- ja Jatkuva kasvu- skenaarioiden oletusten myötä maataloudessa tapahtuvat muutokset vaikuttavat erityisesti turvemaiden päästöihin jotka näkyvät LULUCF-sektorin "viljelysmaan" päästöissä nämä päästöt vähenisivät 4-5 Mt CO2 ekv. 2015-2050.

Muutoksessa huomioitavaa

Maatalouden maankäytön muutokseen liittyvät ilmastotoimet voivat vaikuttaa negatiivisesti maatalousluonnon monimuotoisuuteen. Tuottamattomien peltojen ja avoimen maatalousmaiseman merkitys maatalousluonnon monimuotoisuudelle ja sen uhanalaiselle lajistolle on keskeinen. Avointa maaalaa on Suomessa vähän. Peltoa on vain noin 7 % koko maan pinta-alasta.

Esimerkiksi avointen alueiden metsittäminen ja uudelleen vettäminen vähentävät maatalousluonnon monimuotoisuudelle tärkeiden alueiden pinta-alaa. Umpeenkasvu on lähes kaikkien maataloustoiminnasta riippuvaisten uhanalaisen elinympäristöjen pääasiallinen uhkatekijä nyt ja tulevaisuudessa.

Perinnebiotooppien lisäksi monimuotoisuudelle tärkeimpiä ovat pelloista ja entisistä sellaisista ne hieman ravinneköyhät monta vuotta laajaperäisesti käytetyt monivuotiset vanhat nurmialat.

Isot muutokset maataloudessa ja peltoalassa vaikuttavat laajalti yhteiskuntaan, ja nämä vaikutukset osuvat eri väestöryhmiin ja alueisiin hyvin epätasaisesti. Suurilla muutoksilla maataloustuotannossa ja pellonkäytössä on merkittäviä paikallisia aluetaloudellisia ja työllisyysvaikutuksia etenkin alueilla, joilla maatalous perustuu turvemaiden käyttöön.

Yksi ruokaturvan peruspilareista on ruuan tarjonnan jatkuvuus, mikä tarkoittaa varmuutta ruuan saatavuudesta kaikkina aikoina. Kotimainen maatalous kytkeytyykin ruokaturvaan ennen kaikkea juuri huoltovarmuuden näkökulmasta. Ruokaturvan ylläpitäminen kotimaista kysyntää ja sen muutosta vastaavalla tasolla edellyttää kaiken aikaa panostuksia maatalouden rakennemuutokseen, tuottavuuteen, osaamiseen ja koko kotimaisen ruokaketjun kilpailukykyyn. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että jos käytössä oleva peltoala supistuu ja sitä ohjataan ilmasto- ja eri ympäristötavoitteiden saavuttamiseen, tuotantoon jäävän peltoalan kasvukunnosta on entistä tärkeämpää huolehtia.

Sään ääri-ilmiöt ja markkinoiden ja hintojen vaihtelut eivät suurella todennäköisyydellä ole vähenemässä vaan voimistumassa. Samalla kun ruuan globaali kysyntä kasvaa erityisesti proteiinia runsaasti sisältävien tuotteiden osalta, globaalin ja eurooppalaisen ruokaturvan haasteet kasvavat. Tämä on otettava huomioon myös kasvihuonekaasupäästöjen vähennystoimia suunniteltaessa.

<u>Yhtymäkohdat maataloutta ja maaseudun kehittämistä koskeviin politiikkoihin</u>

Maataloussektorin ohjauskeinojen valintaan vaikuttavat ilmastopolitiikan tavoitteiden ja valittavien toimien kustannustehokkuuden ja vaikuttavuuden lisäksi monet muut tekijät. Keinojen on oltava yhteensopivia EU:n säännöksien kanssa. Maataloutta ohjataan EU:n tasolla laajemmin kuin mitään muuta sektoria. Toimet eivät voi olla ristiriidassa EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) kanssa ja kansallisten tukitoimenpiteiden tulee olla EU:n valtiontukisääntöjen mukaisia. Keinoja valittaessa tulee huomioida niiden vaikutus muiden politiikkasektorien tavoitteisiin sekä tavoitteiden ristiriidattomuus. Maatalouden vesistövaikutukset ja vaikutus ravinteiden kierrätykseen ovat keskeisiä ympäristövaikutuksia, mutta myös vaikutukset esimerkiksi luonnon monimuotoisuuteen on arvioitava.

Tuotannon kannattavuuden ja kilpailukyvyn säilyminen on huomioitava, jotta ruuan omavaraisuudesta voidaan huolehtia. Toimien käyttöönotettavuus, kohtuullisuus ja tasapuolisuus maan eri osissa ovat osa toimien hyväksyttävyyttä. Ohjauskeinoja valittaessa on huomioitava myös hallinnon keventämisen tarpeet.

EU:n yhteinen maatalouspolitiikka (CAP) vaikuttaa osaltaan viljelyssä olevaan maan pinta-alaan, viljeltävien kasvien valintaan ja kotieläinten määrään. Ilmastonmuutoksen hillintä ja muutokseen sopeutuminen muovaavat entistä enemmän EU:n yhteistä maatalouspolitiikkaa. Tarve nykyistä tehokkaammille ja vaikuttavimmille ilmasto- ja ympäristötoimenpiteille on vahvistunut EU:n yhteistä maatalouspolitiikkaa uudistettaessa.

Manner-Suomen maaseudunkehittämisohjelmaan 2014-2020 kuuluva ympäristökorvaus, on keskeinen keino edistää maatalouden kestävää kehitystä. Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmassa 2014–2020 kasvihuonekaasupäästöjä vähentäviä toimia ovat muun muassa ravinteiden tasapainoinen käyttö, peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, kerääjäkasvit, lietelannan sijoittaminen pel-

toon, ravinteiden ja orgaanisten aineiden kierrättäminen ja ympäristönhoitonurmet. Maaseudun kehittämisohjelman investointitukea voidaan myöntää säätösalaojituksen toteuttamiseen sekä lannan varastoinnin ja käsittelyn ja uusiutuvan energian ratkaisuihin.

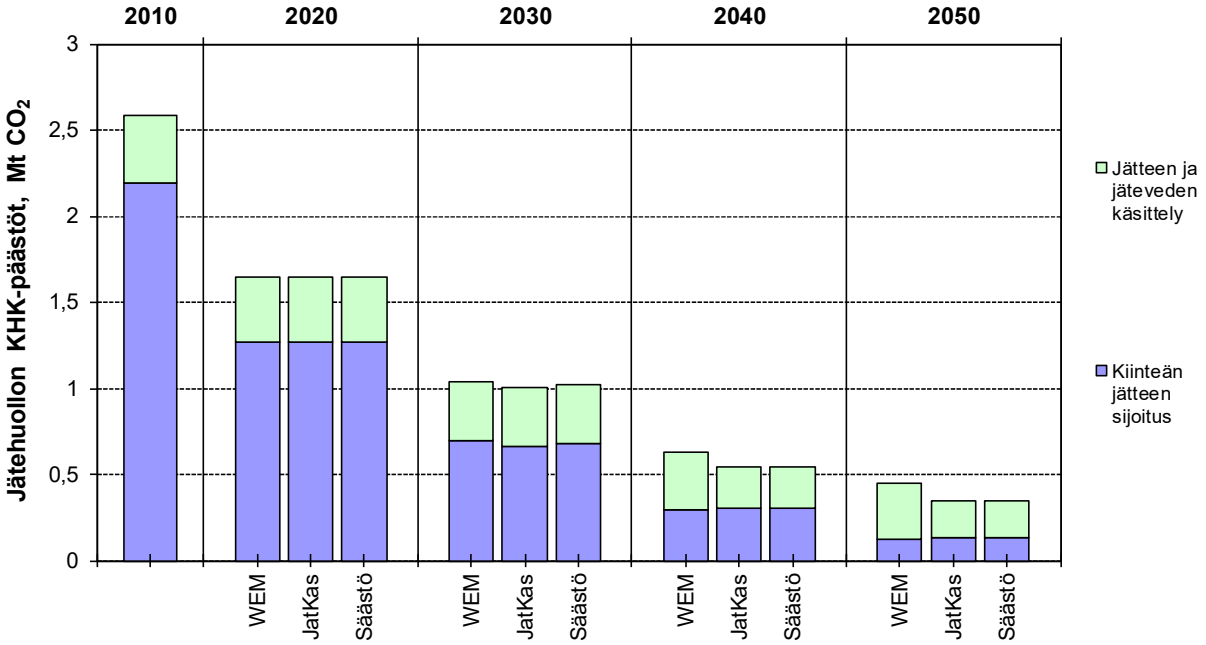
Parhaillaan on käynnissä CAP27- uudistus. Uudistuksen ilmasto- ja ympäristötavoitteita ovat muun muassa ilmastonmuutoksen hillitsemisen ja siihen sopeutumisen sekä kestävän energian tuottamisen ja käyttämisen edistäminen. Lisäksi uudistuksella edistetään kestävää kehitystä ja luonnonvarojen, kuten veden, maaperän ja ilman tehokasta hoitoa. Myös luonnon monimuotoisuuden suojeleminen ja ekosysteemipalvelujen edistäminen sekä elinympäristöjen ja maisemien säilyttäminen kuluvat tavoitteisiin. Rahoituksen osalta CAP27 tavoitteena on, että 40 % CAP-toimenpiteiden koko EU-rahoituksesta kohdentuu ilmastotoimenpiteisiin ja velvoitteena on, että 30 % maaseuturahoista kohdentuu ympäristö- ja ilmastotoimenpiteisiin.

5.5 Jätesektori

Jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjen merkitys on historiallisesti ollut huomattava erityisesti kaatopaikkasijoituksen metaanipäästöjen takia, mutta jätteiden lajittelun ja kierrätyksen kehittymisen myötä päästöjen määrä on ollut 2000-luvulla voimakkaassa laskussa. Jätehuollon päästöt aiheutuvat kaatopaikkasijoituksesta, kompostoinnista, mädätyksestä ja jätevesien käsittelystä. Vaikka jätteen energiahyödyntäminen on osa jätehuoltoa, sen päästöjä ei tilastoida jätehuollon sektorilla.

Vuosina 2000–2017 jätehuollon kokonaispäästöt vähenivät inventaarien mukaan noin 50 %, ja samana aikana kaatopaikoille sijoitetun yhdyskuntajätteen määrä on vähentynyt 1,58 miljoonasta tonnista 0,03 miljoonaan tonniin. Jätteen hyödyntäminen materiaalina ja energiana on vastaavasti kasvanut merkittävästi. Koska kaatopaikoille sijoitettavan jätteen määrä on supistunut 98 %, kiinteän jätteen aiheuttamat metaanipäästöt tulevat vähenemään tulevaisuudessa jätteen hajoamisen myötä. WEM-skenaarion tuloksissa kaatopaikkakaasun talteenottoa tehostetaan lisäksi jonkin verran vanhoissa täytöissä, joissa kaasua saattaa vielä karata ilmaan runsaastikin. Tämän lisäksi jätehuollon päästöjä voidaan vähentää jonkin verran parantamalla jätteen ja jäteveden biologisia käsittelyprosesseja, mutta lisätoimien vaikutukset kasvihuonekaasujen kokonaistaseeseen ovat varsin pienet.

Järjestelmämallissa oli mukana muutama karkean yleisluonteisesti kuvattu tekninen lisätoimi jäteveden käsittelyn päästöjen vähentämiseksi, ja lisäksi vähäpäästöskenaarioissa oletettiin kiinteän jätteen biologisen käsittelyn metaanipäästöjen vähenevän 15 %. Näiden yhteisvaikutuksena jätteen käsittelyn päästöt olivat vähäpäästöskenaarioissa vuosina 2035–2050 noin 0,1 Mt CO_2-ekv. WEM-skenaariota pienemmät.



Kuva 14. Jätehuollon kasvihuonekaasupäästöt skenaarioittain.

6 RAHOITUS

6.1 Tarvittavia investointeja koskevat arviot

Ilmastoneutraaliustavoitteen toteuttamisen edellyttämät investoinnit koskevat erityisesti teollisuutta. Elinkeinoelämän keskusliitto EK:n investointitiedustelun 1/2020 mukaan teollisuus ennakoi investoivansa vuonna 2020 yhteensä noin 10,2 miljardia euroa. Investoinnit jakautuvat seuraavasti: Valmistava teollisuus kiinteään omaisuuteen noin 4,5 miljardia euroa, energiateollisuus noin 2,8 miljardia euroa ja koko teollisuus yhteensä tutkimukseen ja tuotekehitykseen (aineettomat investoinnit) noin 2,9 miljardia euroa.

EK:n investointitiedustelun mukaan teollisuuden investointien määrä on vaihdellut vuosina 2009–2018 välillä 8–10 miljardia euroa vuosittain. Valmistavan teollisuuden investoinnit ovat vaihdelleet vuosittain noin 3–5 miljardin euron välillä, energiateollisuuden 1,5–3 miljardin euron välillä ja tutkimus- ja tuotekehitysinvestoinnit 2,5–4 miljardin euron välillä. Mikäli investointien määrä säilyisi noin 10 miljardissa eurossa vuosittain, tarkoittaisi tämä suuruusluokaltaan 300 miljardin euron kokonaisinvestointeja teollisuudessa 2020–2050, josta yli 200 miljardia olisi kiinteitä investointeja teollisuuteen ja energiajärjestelmään. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen tullee kuitenkin edellyttämään lisäisiä investointeja. Eräät suomalaiset teollisuustoimijat ovat arvioineet ilmastotavoitteiden saavuttamisen jopa tuplaavan investointitarpeen heidän teollisuudenalallaan.

Selvityksistä ja muista lähteistä hankittujen tietojen perusteella voidaan arvioida, että ilmastotavoitteiden toteuttamisen edellyttämät investoinnit suomalaisessa teollisuudessa tulevat ylittämään yhteensä 100 miljardia euroa vuosina 2020–2050. Energiajärjestelmän päästöjen vähentäminen lähelle nollaa tulee edellyttämään arviolta vähintään 20 miljardin euron investointeja puhtaaseen energiantuotantoon vuosina 2020–2050. Lisäksi huomattavia investointeja tarvitaan energiaverkkoihin ja -järjestelmiin sekä uudistuviin prosesseihin energiaintensiivisessä teollisuudessa. Ilmastoratkaisut teollisuudessa tulevat kytkeytymään läheisesti energiaratkaisuihin, esimerkiksi vedyn tuotanto teollisuusprosessien tarpeisiin voi vaikuttaa huomattavasti myös energiansiirto ja –tuotantoinvestointeihin.

6.2 Tutkimus-, kehittämis- ja innovointipolitiikat ja –toimenpiteet

Teollisuuden ja energiahuollon ilmastotavoitteiden toimeenpano edellyttää merkittäviä investointeja ilmastomyönteisten ratkaisuiden tutkimukseen, tuotekehitykseen ja demonstrointiin. Kokonaisuudessaan teollisuus tullee investoimaan tutkimukseen ja tuotekehitykseen vähintään noin 100 miljardia euroa vuosina 2020–2050, josta merkittävä osa kohdistuu ilmastoratkaisuiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Mikäli niiden osuus olisi esimerkiksi 35 %, eli sama kuin Horisontti Euroopan tutkimusohjelman valmisteluissa määritetty tavoite, investoitaisiin ilmastoratkaisuiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen vähintään noin 35 miljardia euroa vuosina 2020–2050.

Tutkimus-, kehittämis- ja innovointipolitiikkatoimia ja –toimenpiteitä toteutetaan siten, että ne mahdollistavat laajan ilmastoratkaisuvalikoiman kehittämisen teollisuuden ja energiahuollon tarpeisiin muun muassa sektori-integraation ja digitalisoinnin avulla. Toimenpiteissä huomioidaan tarpeet löytää uusia ratkaisuja toimialoille, joille vähähiiliteknologian käyttöönotto on haastavaa. Näitä ovat muun muassa tietyt energiaintensiivisen teollisuuden prosessit, liikenne ja joustavan energiajärjestelmän kehittäminen. Teknologiaratkaisuista esimerkkejä voivat olla digitaaliset energiajärjestelmät, akut ja energian varastointi sekä ns. power-to-x-ratkaisut.

7 SOSIOEKONOMISTEN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

7.1 Ympäristövaikutusarviot

Päivitettyjen skenaarioiden keskeisimmiksi ympäristövaikutuksiksi voidaan tunnistaa aiemman Pitko-hankkeen tavoin vaikutukset ilmastonmuutokseen, luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin, uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöön sekä ihmisten terveyteen viihtyvyyteen ja hyvinvointiin. Lähtökohtaisesti tässä pitkän aikavälin strategiassa tarkastelluilla skenaarioilla voidaan arvioida olevan toteutuessaan myönteisiä ympäristövaikutuksia, sillä skenaariotarinoissa on lähtökohtaisesti oletettu, että alle kahden asteen ilmastotavoite onnistutaan saavuttamaan globaalisti. Tällä on todennäköisesti merkittäviä myönteisiä vaikutuksia moniin eri ympäristövaikutuksiin verrattuna WEM-skenaarioon, jossa alle kahden asteen ilmastotavoitetta ei saavuteta. Skenaarioihin liittyy kuitenkin myös sellaisia ilmastovaikutuksia, joita ei tämän pitkän aikavälin strategian yhteydessä ole arvoitu.

Päivitetyt skenaariot poikkeavat toisistaan eri sektoreiden päästöjen ja nielujen kehityksen osalta. Merkittävin ero on metsänieluissa, jotka ovat Säästö-skenaariossa suurempien hakkuiden vuoksi selvästi pienemmät kuin Jatkuva kasvu -skenaariossa. Kasvihuonekaasujen lisäksi ilmastovaikutuksia aiheutuu muun muassa muutoksista maanpinnan heijastusvaikutuksissa (albedo), mustan hiilen päästöistä ja metsien aerosolipäästöistä. Osa vaikutuksista on ilmastoa lämmittäviä, osa viilentäviä ja moniin tekijöihin liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Tässä yhteydessä ei arvioitu, minkä suuntaisia tai suuruisia nämä vaikutukset olisivat tarkastelluissa skenaarioissa.

Tarkastelluissa skenaarioissa ilman laatu paranee liikennesuoritteiden vähentyessä, sähköisen liikenteen lisääntyessä ja puun pienpolton vähentyessä korvaavien lämmitysratkaisujen lisääntyneen käyttöönoton ja energiankäytön tehostumisen myötä. Kävelyn, pyöräilyn ja kasvisruokailun lisääntyminen ja ympäristön viihtyisyyden parantuminen aikaansaavat myös terveyshyötyjä. Toisaalta yhdyskuntarakenteen tiivistymisen myötä entistä suurempi joukko ihmisiä altistuu ilmansaasteille ja lisäksi viheralueiden säilyttämiseen kohdistuu haasteita.

Tarkastelluissa skenaarioissa tarvittavilla ilmastonmuutoksen hillintätoimilla voi olla myös merkittäviä ihmisten elinoloihin kohdistuvia vaikutuksia, mukaan lukien tuloeroja korostavia vaikutuksia.

7.2 **Kansantalouden vaikutusarviot**

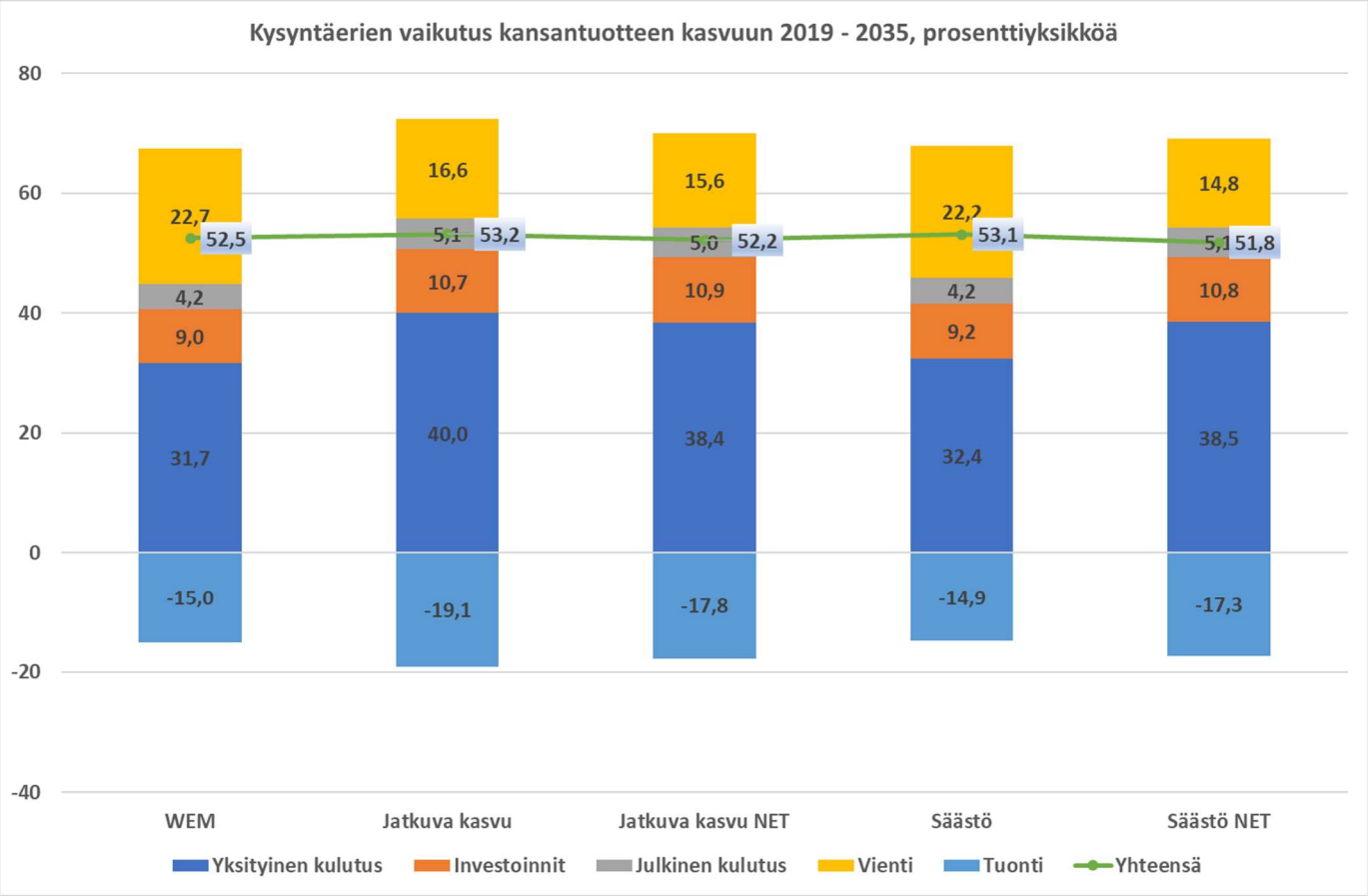
FINAGE-mallilla tehdyssä mallinnuksessa skenaarioiden tavoite on kuvata kansantalouden kehitystä erilaisten teknologisten valintojen ja kehityspolkujen ja päästötavoitteiden valossa. Skenaarioiden kansantalouden kehityksen erot syntyvät teknologian ja tuotannon eroista energiantuotannossa, teollisuudessa ja liikenteessä. Muun talouden osalta erot jäävät lopulta suhteellisen pieniksi.

Jatkuva kasvu -skenaariossa korostuu kotimaisia resursseja hyödyntävän valmistuksen ja viennin kasvu. Skenaariossa nettoviennin kasvuvaikutus on hyvin voimakas ja kasvua voikin hyvin kutsua vientivetoiseksi. Kasvu jakautuu WEM-skenaariota tasaisemmin eri teollisuudenaloille ja niinpä esimerkiksi kone- ja laiteteollisuuden tuotannon arvo lähes kaksi- ja puolikertaistuu. WEM-skenaarioon verrattuna kasvu on pääoma- ja työvoimaintensiivisempää – pääoman ja työpanoksen vaikutus kasvuun on selvästi suurempi. Teknologian kehittymisen kautta tuleva kasvuvaikutus on kuitenkin merkittävää. Kasvun myötä otetaan kuitenkin käyttöön uutta teknologiaa ja esimerkiksi liikenne sähköistyy hyvin nopeasti. Julkisen talouden tulot päästökaupasta ja välillisistä veroista kasvavat päinvastoin kuin kaikissa muissa skenaarioissa. Verotuksen painopiste siirtyy kulutuksen verottamista kohti muita skenaarioita selvemmin.

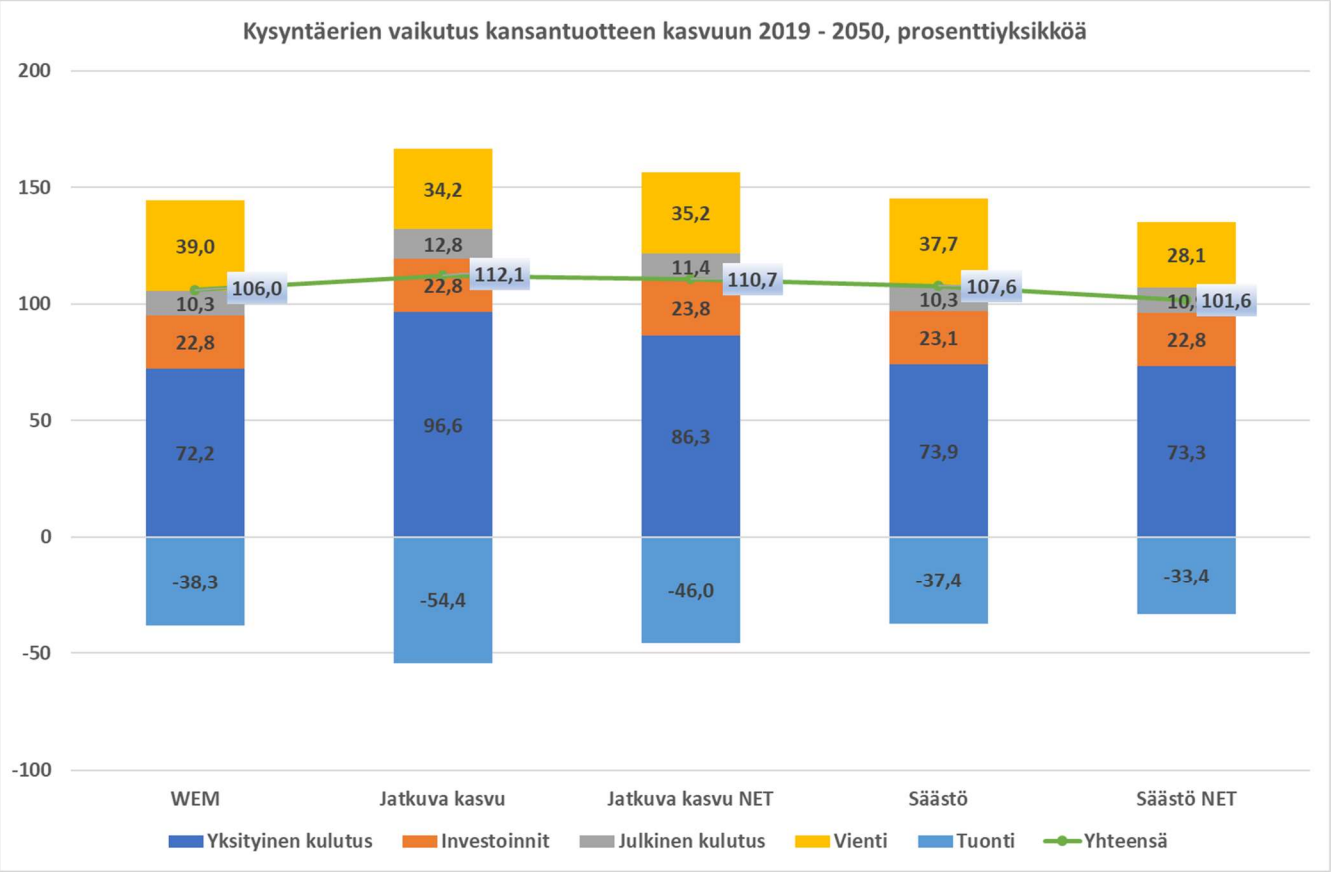
Säästö-skenaariossa korostuvat kotimaiset toimet päästöjen rajoittamiseksi, energiansäästöstä biopolttoaineisiin. Tässäkin skenaariossa syntyy kuitenkin viennillekin tilaa, mutta monien vientiteollisuuden toimialojen tuotoksen kasvu jää Jatkuva kasvu -skenaarioita hitaammaksi. Liikenteen osalta kehitys on samankaltainen WEM-skenaarion kanssa. Myös kulutuksen verotus kiristyy miltei tasatahtia WEM-skenaarion kanssa. Kansantalouden kasvu jää kuitenkin hieman Jatkuva kasvu- skenaariosta. Kotitalouksiin kohdistuvaa ympäristöperusteista ohjaamista kuvaavan ympäristöperustaisen välillisen verotuksen kiristyminen jää alemmaksi kuin aiemmissa skenaarioissa, kun kotimaisten biopolttoaineiden käytön kasvun myötä hiilidioksidiverotuksen osuus pienenee.

Jatkuva kasvu- ja Säästö-skenaarioiden tavoite on kuvata kansantalouden kehitystä erilaisten teknologisten valintojen ja kehityspolkujen ja päästötavoitteiden valossa. Skenaariot eroavat toisistaan kaikissa näissä suhteissa (ennen kaikkea päästöjen rajoittamisen osalta) eivätkä ne siksi ole yksiselitteisesti vertailukelpoisia siinä mielessä, että yhdestä skenaariosta voitaisiin siirtyä toisin tekemällä toisenlaisia valintoja. Pikemminkin skenaariot kuvaavat niitä tulemia, joihin jo hyvin lähitulevaisuudessa tehdyt valinnat ja tavoitteet voisivat johtaa.

Skenaarioiden erot syntyvät teknologian ja tuotannon eroista. Muun talouden osalta erot jäävät lopulta suhteellisen pieniksi. Vaikka skenaarioissa siis tehdään hyvinkin erilaisia valintoja teknologian ja päästöjen rajoittamisen osalta, valinnat välittyvät avaintoimialoilta muuhun talouteen maltillisesti, eikä missään skenaariossa ole kyse talouskasvun ja hyvinvointivaltion edellytysten vaarantumisesta, kuten on nähtävissä kuvista 15 ja 16. Kasvu kuitenkin suuntautuu hieman eri tavoin eri skenaarioissa. Teknologinen kehitys – kokonaistuottavuuden kasvu – on tulevaisuudessakin keskeisellä sijalla. Uuden teknologian käyttöönotto vaatii kuitenkin entistä suurempia investointeja – energiaa korvataan pääomalla – ja tämä näkyy pääoman kasvuvaikutuksen kasvuna WEM-skenaarioon verrattuna. Päästötavoitteiden kiristyminen puolestaan näkyy taloudellisen ohjauksen – välillisten verojen –kasvukontribuution hyvinkin selvänä kasvuna.

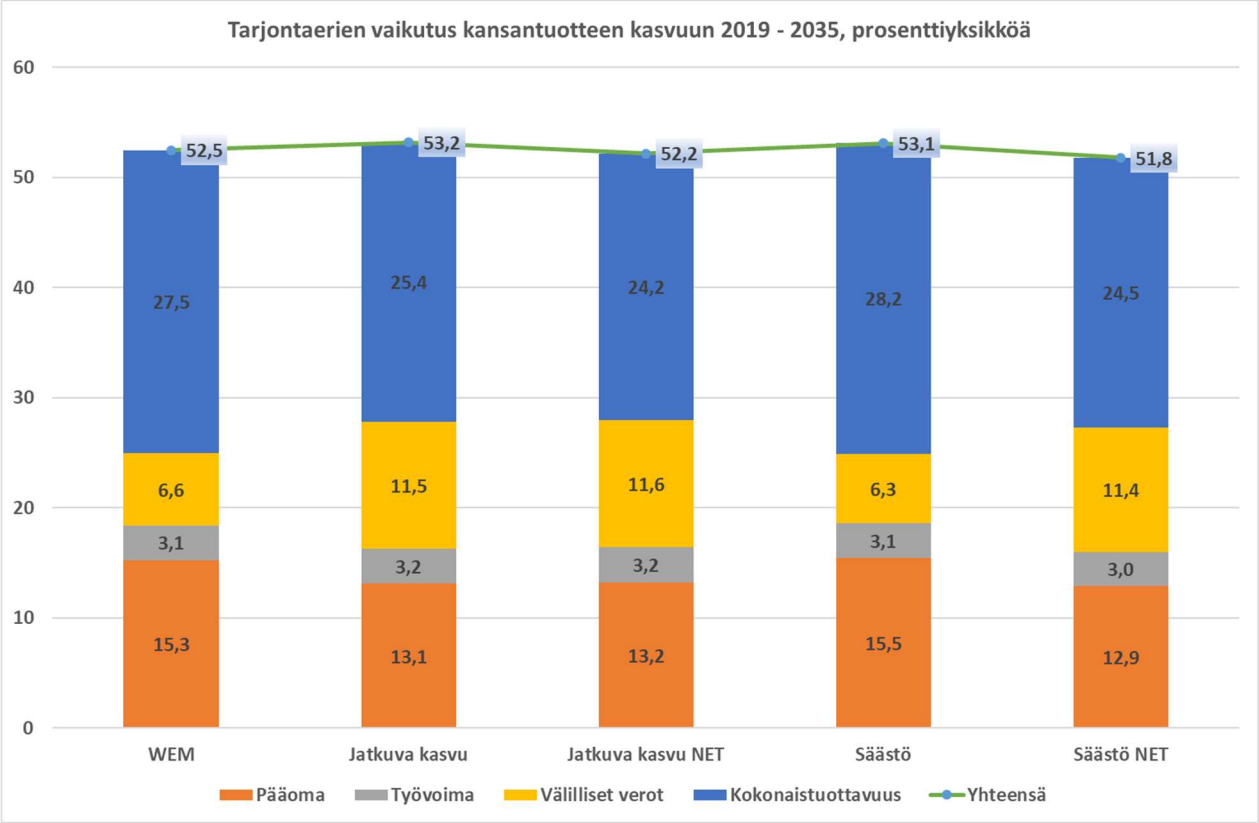


Kuva 15. Kansantalouden kysyntäerien vaikutus kansantuotteen kasvuun vuosina 2019−2035 (prosenttiyksikköä).

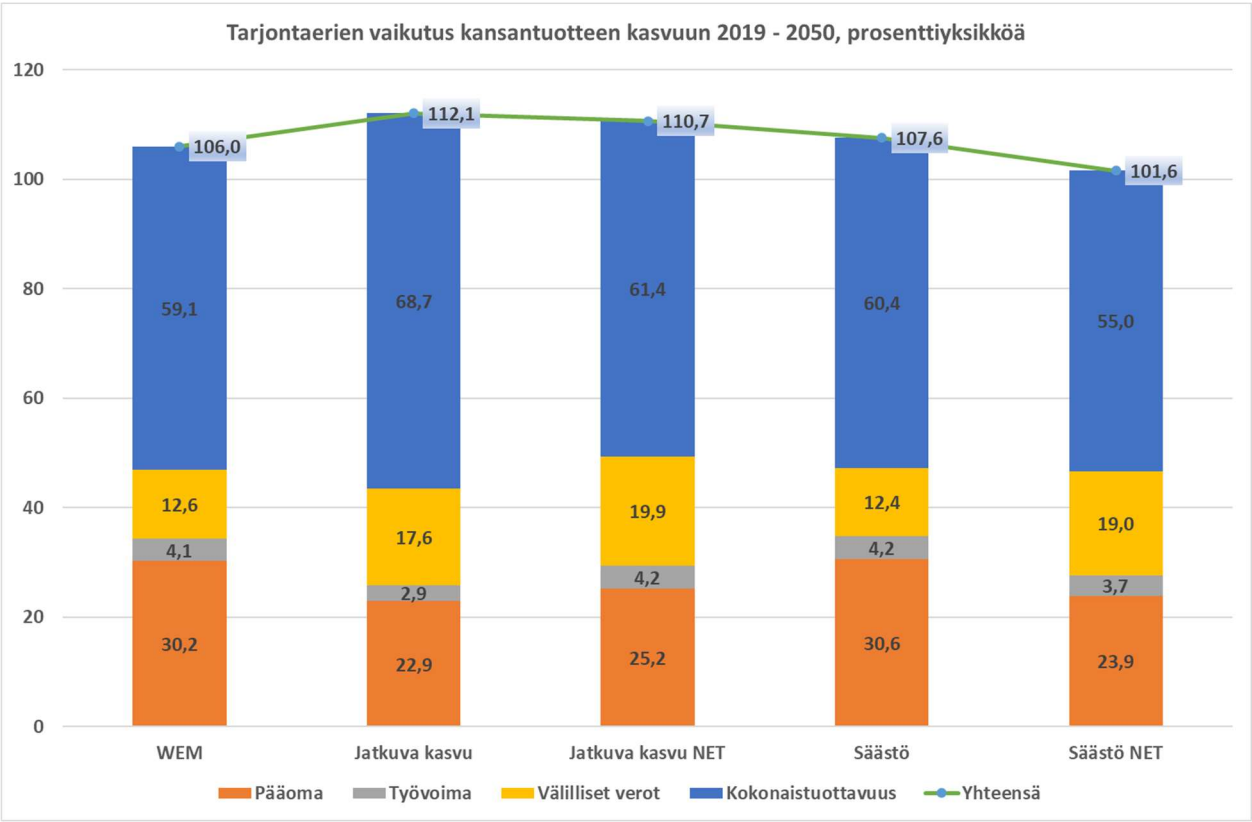


Kuva 16. Kansantalouden kysyntäerien vaikutus kansantuotteen kasvuun vuosina 2019−2050 (prosenttiyksikköä).

Skenaarioiden välisiä eroja taloudellisessa hyvinvoinnissa voidaan kuvata kokonaiskysynnän kasvuhajotelman avulla, joka on esitetty vuosille 2035 ja 2050 kuvissa 17 ja 18. Taloudellinen hyvinvointi kasvaa, vaikka yhteiskunta muuttuu vähähiiliseksi. Kulutuksen kasvun kautta tarkasteltuna skenaarioiden teknologiasta kumpuavat erot käyvät myös selvemmiksi koska uuden teknologian käyttöönotto suuntautuu ja ajoittuu skenaarioissa varsin eri tavoin.



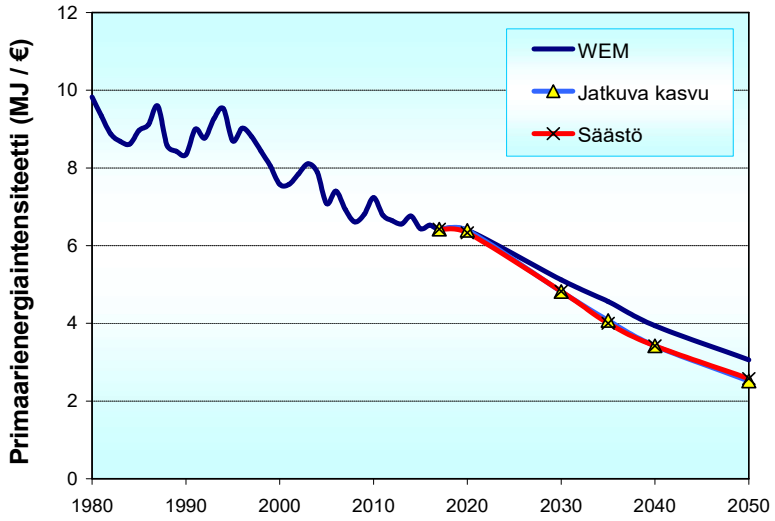
Kuva 17. Kansantalouden tarjontaerien vaikutus kansantuotteen kasvuun vuosina 2019–2035 (prosenttiyksikköä).



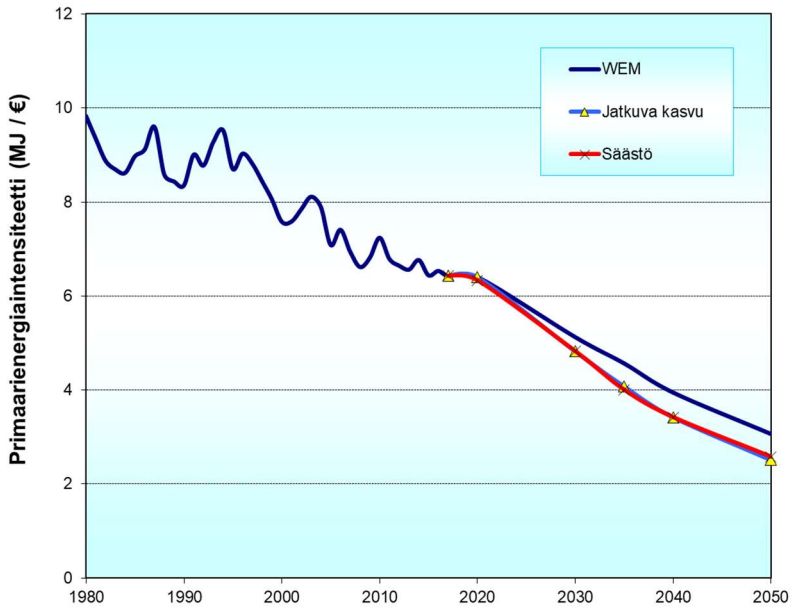
Kuva 18. Kansantalouden tarjontaerien vaikutus kansantuotteen kasvuun vuosina 2019–2050 (prosenttiyksikköä).

Yhteenvetona voidaan todeta, että mallinnuksen mukaan taloudellinen hyvinvointi kasvaa, vaikka yhteiskunta muuttuu vähähiiliseksi tai hiilineutraaliksi. Sekä tarjonnan että kysynnän kautta tarkasteltuna on kuitenkin selvää, että hiilineutraalisuuden varhainen tavoittelu aiheuttaa lisäkustannuksia aiempaan päästöjen rajoittamisen aikatauluun verrattuna. Tämä ei kuitenkaan arvion mukaan vaaranna kotitalouksien hyvinvointia eikä julkisen sektorin rahoitusasemaa ja hyvinvointipalvelujen tuottamista tulevaisuudessakin.

Kuvissa 19 ja 20 on kuvattu hiilineutraalisuustavoitteen vaikutusta talouden energiaintensiteettiin ja päästöintensiteettiin WEM-skenaariossa ja vähäpäästöskenaarioissa. Erityisesti päästöintensiteetti on laskenut merkittävästi 2000-luvulla. Toisaalta myös nähdään, että vuoteen 2050 mennessä energiaintensiteetin tulisi edelleen laskea puoleen nykytasosta ja päästöintensiteetin laskea vastaavasti lähelle nollatasoa. Myös WEM-skenaariossa energiaintensiteetti laskee, eli energiankäyttö tehostuu jo nykytoimin.



Kuva 19. Talouden energiaintensiteetin kehitys WEM-skenaariossa ja vähäpäästöskenaarioissa.



Kuva 20. Talouden päästöintensiteetin kehitys. Päästöihin on laskettu Kioton pöytäkirjan mukaiset kasvihuonekaasupäästöt, mutta ei maankäytön päästöjä tai nieluja (l. LULUCF-sektoria).

LIITTEET

1. Kasvihuonekaasupäästöjen ja –poistumien tase eri skenaariossa
2. Skenaariomallinnusten kuvaus

Kasvihuonekaasupäästöjen ja –poistumien tase eri skenaariossa

Kasvihuonekaasupäästötase WEM-skenaariossa (pl. LULUCF).

Gg(CO2-ekv.) Päästöluokka	2010	2015	2020	2030	2035	2040	2050
1A Polttoaineiden polton päästöt	60095	40715	39992	33802	31428	26062	15244
1A1 Energiateollisuus	30947	17766	16875	12899	12352	9422	5757
1A2 Teollisuus ja rakentaminen	10250	6949	8522	8204	8054	7996	3838
1A3 Kotimaan liikenne	12712	11109	11090	9832	8542	6447	3900
1A4 Muut sektorit	4982	3803	2413	1821	1460	1207	822
1A5 Muu polttoainekäyttö	1204	1088	1092	1047	1019	989	927
1B Polttoaineiden haihtumapäästöt	142	146	141	129	123	120	118
2 Teollisuusprosessit ja tuotekäyttö	6147	5861	6350	6161	4849	4647	4412
2A Mineraaliteollisuus	1167	964	1171	1183	1029	1044	1125
2B Kemianteollisuus	1016	1170	1340	1375	387	351	221
2C Metalliteollisuus	2439	2142	2446	2724	2740	2737	2608
2D Muu kuin energiakäyttö	85	104	95	100	102	104	107
2F F-kaasut	1438	1480	1298	778	591	410	351
3 Maatalous	6630	6491	6571	6548	6491	6455	6342
3A Kotieläinten ruoansulatus	2099	2117	2078	2046	2008	1970	1864
3B Lannankäsittely	748	751	819	788	743	719	662
3D Maatalousmaat	3502	3439	3448	3486	3513	3539	3589
3F Kasvintähteiden poltto pellolla	2	3	3	3	3	3	3
3G Kalkitus	277	180	222	222	222	222	222
3H Urean levitys	2	2	2	2	2	2	2
5 Jätteiden käsittely	2583	2134	1644	1041	793	629	452
5A Jätteiden kaatopaikkasijoitus	2194	1766	1268	699	455	295	126
5B Jätteiden biologinen käsittely	144	113	100	100	100	100	100
5D Jätevesien puhdistus	246	254	276	242	238	235	225
Epäsuorat CO2 päästöt	68	53	76	76	76	76	76
Päästöt yhteensä pl. LULUCF-sektori	**75664**	**55400**	**54774**	**47757**	**43759**	**37989**	**26644**

Huom. Maatalouden päästötulokset eivät täysin vastaa Luken vastaavia tuloksia.
Luken arviot on esitetty raportissa Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot, https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2020/T366.pdf

Kasvihuonekaasupäästötase Jatkuva kasvu -skenaariossa (pl. LULUCF).

Gg(CO2-ekv.) Päästöluokka	**2010**	**2015**	**2020**	**2030**	**2035**	**2040**	**2050**
1A Polttoaineiden polton päästöt	60095	40715	38292	23595	14307	7473	3340
1A1 Energiateollisuus	30947	17766	17098	9137	5875	4267	2524
1A2 Teollisuus ja rakentaminen	10250	6949	7569	6356	4170	1589	32
1A3 Kotimaan liikenne	12712	11109	10091	5668	2498	1069	351
1A4 Muut sektorit	4982	3803	2442	1387	745	332	265
1A5 Muu polttoainekäyttö	1204	1088	1092	1047	1019	215	168
1B Polttoaineiden haihtumapäästöt	142	146	136	123	82	73	53
2 Teollisuusprosessit ja tuotekäyttö	6147	5861	6328	5797	3410	3223	1664
2A Mineraaliteollisuus	1167	964	1090	1113	1187	1257	1263
2B Kemianteollisuus	1016	1170	1340	1375	387	351	220
2C Metalliteollisuus	2439	2142	2412	2596	1304	1350	0
2D Muu kuin energiakäyttö	85	104	95	100	101	103	107
2F F-kaasut	1438	1480	1391	612	430	161	75
3 Maatalous	6630	6491	6358	5158	4629	4132	3436
3A Kotieläinten ruoansulatus	2099	2117	1989	1537	1375	1256	1105
3B Lannankäsittely	748	751	764	629	568	467	378
3D Maatalousmaat	3502	3439	3395	2826	2529	2261	1816
3F Kasvintähteiden poltto pellolla	2	3	3	3	3	3	3
3G Kalkitus	277	180	207	162	153	143	132
3H Urean levitys	2	2	2	2	2	2	2
5 Jätteiden käsittely	2583	2134	1643	1004	711	540	346
5A Jätteiden kaatopaikkasijoitus	2194	1766	1266	662	462	304	133
5B Jätteiden biologinen käsittely	144	113	100	100	100	100	100
5D Jätevesien puhdistus	246	254	276	242	149	137	113
Epäsuorat CO2 päästöt	68	53	62	62	62	62	62
Päästöt yhteensä pl. LULUCF-sektori	75664	55400	52819	35738	23200	15503	8900

Huom. Maatalouden päästötulokset eivät täysin vastaa Luken vastaavia tuloksia.
Luken arviot on esitetty raportissa Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot, https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2020/T366.pdf

Kasvihuonekaasupäästötase Säästö-skenaariossa (pl. LULUCF).

Gg(CO2-ekv.) Päästöluokka	**2010**	**2015**	**2020**	**2030**	**2035**	**2040**	**2050**
1A Polttoaineiden polton päästöt	60095	40715	39623	25423	4416	-6	-7834
1A1 Energiateollisuus	30947	17766	17572	8501	-1371	-3120	-11467
1A2 Teollisuus ja rakentaminen	10250	6949	7887	8739	2080	349	1436
1A3 Kotimaan liikenne	12712	11109	10660	6959	3053	2242	1777
1A4 Muut sektorit	4982	3803	2412	612	403	301	252
1A5 Muu polttoainekäyttö	1204	1088	1092	612	250	222	168
1B Polttoaineiden haihtumapäästöt	142	146	139	145	90	84	67
2 Teollisuusprosessit ja tuotekäyttö	6147	5861	6438	5655	3546	3379	1796
2A Mineraaliteollisuus	1167	964	1095	926	772	772	848
2B Kemianteollisuus	1016	1170	1350	1375	1124	1082	758
2C Metalliteollisuus	2439	2142	2506	2642	1239	1261	0
2D Muu kuin energiakäyttö	85	104	95	100	101	103	107
2F F-kaasut	1438	1480	1391	612	310	161	83
3 Maatalous	6630	6491	6316	5299	4877	4441	4043
3A Kotieläinten ruoansulatus	2099	2117	1979	1654	1526	1399	1295
3B Lannankäsittely	748	751	735	609	616	495	532
3D Maatalousmaat	3502	3439	3395	2856	2559	2375	2052
3F Kasvintähteiden poltto pellolla	2	3	3	3	3	3	3
3G Kalkitus	277	180	202	175	171	167	160
3H Urean levitys	2	2	2	2	2	2	2
5 Jätteiden käsittely	2583	2134	1646	1023	710	539	348
5A Jätteiden kaatopaikkasijoitus	2194	1766	1270	681	461	303	135
5B Jätteiden biologinen käsittely	144	113	100	100	100	100	100
5D Jätevesien puhdistus	246	254	276	242	149	137	113
Epäsuorat CO2 päästöt	68	53	62	62	62	62	62
Päästöt yhteensä pl. LULUCF-sektori	75664	55400	54223	37606	13700	8500	-1518

Huom. Maatalouden päästötulokset eivät täysin vastaa Luken vastaavia tuloksia.
Luken arviot on esitetty raportissa Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot, https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2020/T366.pdf

Arviot LULUCF-sektorien päästöjen ja poistumien kehittymisestä eri skenaarioissa

Taulukko 1. LULUCF-sektorin historialliset päästöt ja poistumat maankäyttöluokittain sekä puutuotteille vuosille 2010 ja 2015 sekä niiden kehittyminen WEM-skenaariossa vuoteen 2050 (Mt CO_2-ekv.).

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Metsämaa	-32,20	-28,29	-30,64	-28,16	-25,00	-26,66	-28,01	-31,20	-34,43
Viljelysmaa	7,66	7,11	6,72	7,38	7,59	7,65	7,68	7,76	7,88
Ruohikkoalueet	0,75	0,67	0,88	1,12	1,25	1,31	1,28	1,28	1,28
Kosteikot	2,11	2,21	2,07	1,95	1,87	1,86	1,85	1,78	1,70
Rakennettu maa	1,73	0,97	1,31	1,30	1,27	1,18	1,11	1,02	0,92
Puutuotteet	-2,20	-2,73	-3,81	-3,64	-3,50	-3,29	-3,16	-3,08	-2,98
Yhteensä	-22,15	-20,07	-23,46	-20,05	-16,52	-17,94	-19,25	-22,44	-25,63

Taulukko 2. LULUCF-sektorin historialliset päästöt ja poistumat maankäyttöluokittain sekä puutuotteille vuosille 2010 ja 2015 sekä niiden kehittyminen Jatkuva kasvu -skenaariossa vuoteen 2050 (Mt CO_2-ekv.).

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Metsämaa	-32,20	-28,29	-26,29	-25,09	-23,53	-27,48	-31,34	-36,56	-42,17
Viljelysmaa	7,66	7,11	6,63	5,92	5,11	4,23	3,31	2,44	1,59
Ruohikkoalueet	0,75	0,67	0,74	0,86	1,02	1,19	1,35	1,37	1,40
Kosteikot	2,11	2,21	1,86	1,85	1,86	1,91	1,93	2,16	2,40
Rakennettu maa	1,73	0,97	1,32	1,34	1,32	1,25	1,17	1,08	0,99
Puutuotteet	-2,20	-2,73	-3,81	-3,94	-4,09	-3,95	-3,99	-4,12	-4,21
Yhteensä	-22,15	-20,07	-19,55	-19,05	-18,31	-22,84	-27,56	-33,62	-40,02

Taulukko 3. LULUCF-sektorin historialliset päästöt ja poistumat maankäyttöluokittain sekä puutuotteille vuosille 2010 ja 2015 sekä niiden kehittyminen Säästö-skenaariossa vuoteen 2050 (Mt CO_2-ekv.).

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Metsämaa	-32,20	-28,29	-25,89	-21,40	-16,14	-14,77	-13,01	-14,45	-15,85
Viljelysmaa	7,66	7,11	6,64	6,09	5,47	4,77	4,02	3,31	2,63
Ruohikkoalueet	0,75	0,67	0,74	0,78	0,85	0,93	1,00	1,07	1,13
Kosteikot	2,11	2,21	2,07	1,86	1,68	1,49	1,30	1,30	1,30
Rakennettu maa	1,73	0,97	1,32	1,30	1,24	1,16	1,06	0,93	0,82
Puutuotteet	-2,20	-2,73	-3,90	-4,32	-4,67	-5,32	-5,95	-6,19	-6,42
Yhteensä	-22,15	-20,07	-19,03	-15,70	-11,58	-11,75	-11,58	-14,03	-16,39

Skenaariomallinnusten kuvaus

Skenaarioiden mallinnuksessa käytettiin seuraavia laskentamalleja:

- TIMES-VTT -malli, energian tuotanto ja energiajärjestelmät mukaan lukien puutuotteiden tuotantoskenaariot
- REMA-malli, rakennuskannan energiankulutus
- DREMFIA-malli, maatalous
- MELA-ohjelmisto, metsävarojen kehitys
- FINAGE-malli, kansantalouden kehitys

Näiden mallien sekä muiden mallinnuksessa käytettävien menetelmien kuvaukset on esitetty alla.

Kuvaus TIMES-VTT-mallista ja sen tietokannasta
Skenaarioiden mallinnuksessa ja analysoinnissa käytetty keskeinen työkalu on VTT:llä kehitetty laaja järjestelmämalli: TIMES-VTT, joka kattaa koko maailman energian tuotannon ja kulutuksen sekä kasvihuonekaasupäästöt. Malli perustuu kansainvälisessä yhteistyössä kehitettyyn globaaliin ETSAP TIAM-malliin (Loulou 2008, Loulou & Labriet 2008), joka pohjautuu puolestaan IEA ETSAP TIMES-mallinnusjärjestelmään (Loulou et al 2016). TIMES-VTT-mallissa on kuvattu Suomen, Pohjoismaiden ja muun Euroopan energiajärjestelmät. Menetelmällisesti malli on niin sanottu osittaistasapainomalli, joka maksimoi kuluttajien ja tuottajien yhteenlaskettua taloudellista ylijäämää. Malli sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen sekä energian tuotannon ja käytön nykyjärjestelmästä että tulevaisuuden teknologioista monina eri investointivaihtoehtoina.

TIMES-VTT-mallin laaja tietokanta sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen nykyisestä energiajärjestelmästä mukaan lukien energiantuotanto ja -siirtojärjestelmä, rakennuskanta, asumisen ja palvelujen energian käyttökohteet, autokanta ja muu liikennevälinekanta, energiaintensiivisten teollisuustuotteiden tuotantoprosessit ja -laitokset, muun teollisuuden energian loppukäyttökohteet sekä maa- ja metsätalouden energiakäyttö. Mallin tietokanta sisältää myös arviot nykyisen energiajärjestelmän poistumasta, kuten energiantuotantolaitosten, rakennusten ja autokannan poistumasta. Tietokannan laajin osa koostuu kuitenkin luonnollisesti tulevaisuuden energiajärjestelmän investointivaihtoehtojen teknologiakuvauksista, mukaan lukien arviot niiden kustannusten ja teknisen suorituskyvyn kehityksistä (mm. energiantuotannon hyötysuhteet, käyttöikä, käytettävyys). 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 (Koljonen et al. 2009, Koljonen & Lehtilä 2015, Lehtilä & Koljonen 2018).

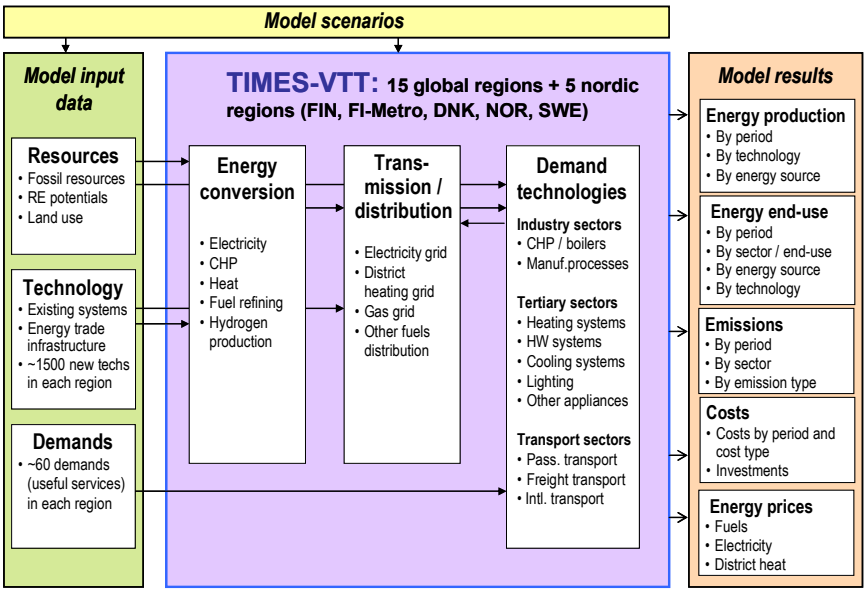
Energiajärjestelmämallin ratkaisu perustuu tuottajien ja kuluttajien ylijäämän maksimointiin, ja tuloksena saatu energian hankinta- ja loppukäyttöjärjestelmä tyydyttää siten hyötyenergian kysynnän mahdollisimman kustannustehokkaasti, ottaen huomioon muun muassa talouden eri sektoreiden toimijoille kohdistuvat verot, tuet ja investointien tuottovaatimukset. Lisäksi mallissa voidaan asettaa järjestelmän kehitykselle monenlaisia rajoitteita. Esimerkiksi useille energian tuotantomuodoille on asetettu tuotannon, kapasiteetin tai markkinaosuuden ylä- tai alarajoja, joita ratkaisun täytyy noudattaa. Energian kulutusta ja tuotantoa tarkastellaan mallissa yhtenäisin periaattein, jolloin energian käytön tehostusmahdollisuuksien ja tuotantoinvestointien keskinäinen vuorovaikutus tulee otetuksi huomioon.

TIMES-VTT-mallissa on kuvattuna kaikki Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähennysteknologiat ja/tai menetelmät. Näin ollen vähäpäästöskenaariotarkasteluissa päästövähennykset toteutetaan kaikilla KHK-päästöjä tuottavilla sektoreilla (pois lukien LULUCF-sektori) kustannusjärjestyksessä. Taakanjakosektorin päästöille asetettu päästökatto on myös esimerkki skenaarioille asetetuista rajoitteista. Energian kulutusta ja tuotantoa tarkastellaan mallissa samoin periaattein, jolloin energian käytön tehostusmahdollisuuksien ja tuotantoinvestointien keskinäinen vuorovaikutus tulee otetuksi huomioon.

TIMES-VTT-mallin laskema energian kulutus ja päästöjen kehitys riippuvat monista 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 rakennustyypeittäin;
- nykyiset energia- ja ilmastopoliittiset ohjauskeinot ml. energia- ja päästöverot, tuet, päätetyt energian käytön tehostamista koskevat määräykset, säädökset jne.;
- nykyisen energiajärjestelmän laitos- ja laitekannan laskennallinen poistuma ja käytettävissä olevien teknologiavaihtoehtojen oletettu kehitys kaikilla sektoreilla sekä teknisten parametrien että kustannusten osalta.

Energiajärjestelmämallin tuloksena saadaan sellaisen energian hankinta- ja loppukäyttöjärjestelmän 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 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.



Kuva 19. *TIMES-mallin komponentit ja yksinkertaistettu yhden alueen rakennekaavio. Alueiden välillä on kuvattu tärkeimpien energiahyödykkeiden kauppa.*

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 2015. Suomen osalta ne perustuvat Tilastokeskuksen IEA:lle toimittamiin tilastoihin, mutta ovat laskentatavaltaan hieman kansallisesta energiatilastoinnista poikkeavia.

Rakennuskannan energiankulutuksen REMA-malli

Rakennuskannan energialaskennassa on hyödynnetty VTT:llä kehitettyä REMA-mallia. REMA on rakennuskannan energiankulutuksen bottom-up -tyyppinen laskentamalli, joka perustuu edustavien tyyppirakennusten käytölle. Energiankulutuksen tulevan kehityksen laskennan lähtökohtana ovat uudisrakentamisen, korjausrakentamisen ja vuosittaisen poistuman ennakoidut määrät kussakin käyttötarkoituksen ja iän mukaisessa luokassa. Koko rakennuskanta on jaoteltu mallissa seuraaviin käyttötarkoituksiin:

- omakotitalot
- rivi- ja asuinkerrostalot
- palvelurakennukset
- kesämökit.

Näistä palvelurakennukset sisältävät seuraavat Tilastokeskuksen käyttämät rakennustyypit: liikerakennukset, toimistorakennukset, liikenteen rakennukset, hoitoalan rakennukset, kokoontumisrakennukset ja opetusrakennukset. Kunkin käyttötarkoituksen mukainen rakennuskanta on edelleen jaettu ikäluokkiin rakentamisajan mukaan. Ikäluokkia määritettäessä on pyritty ottamaan huomioon energiatehokkuusvaatimusten kehitys:

- ennen vuotta 1959 rakennetut
- 1960–1979 rakennetut
- 1980–2009 rakennetut
- 2010–2018 rakennetut
- 2019–2024 ennakoitu rakentaminen
- 2025–2050 ennakoitu rakentaminen

Jokaisesta rakennusluokasta on mallinnettu tilojen lämmitykseen kuluva energia eriteltynä ilmanvaihdosta ja vaipasta (U-arvo ja tiiveys) johtuviin lämpöhäviöihin. Lämmityksen lisäksi laskennassa on mukana lämpimän käyttöveden tuottamisen energiatarve sekä kiinteistösähkö ja käyttäjien kuluttama muu sähkö.

REMA-mallissa tyyppirakennusten energiankulutukset voidaan johtaa tilastotiedoista, arvioida tai saada simuloiduista rakennuksista. Tässä tapauksessa nojauduttiin olemassa olevan rakennuskannan osalta Tilastokeskuksen (2018) sekä aiempien tutkimusten (mm. Tuominen et al. 2012 ja Tuominen et al. 2013) tietoihin ja uusien rakennusten osalta Suomen Ympäristökeskuksen julkaisemaan rakennusten energiankulutuksen perusskenaarioon (Mattinen et al. 2016). Näin muodostetusta perusskenaariosta on saatu muut skenaariot muuntelemalla niitä skenaarion taustatarinaan sopivaksi. Tarkempi kuvaus REMA-mallista on julkisesti saatavilla (Tuominen et al. 2014).

Maatalouden osittaistasapainomalli DREMFIA

DREMFIA (Dynamic multiREgional sector Model of FInnish Agriculture; Lehtonen 2001, 2015) on Suomen maatalouden päätuotantosuunnat, pellonkäytön, kotimaisen kysynnän ja ulkomaankaupan kattava taloudellinen osittaistasapainomalli, jossa on 4 suuraluetta: Etelä-Suomi, Sisä-Suomi, Pohjanmaa ja Pohjois-Suomi (Lehtonen 2015). Suuralueet jakautuvat pienempiin tuotannollisiin alueisiin tukivyöhykejaon mukaisesti. Näin saavutetaan varsin tarkka tukipolitiikan kuvaus. Poro-, hevos- ja

lammastaloutta ei ole DREMFIA-mallissa mukana ja näiden eläinten määrien on oletettu maatalouden skenaariotarkasteluissa pysyvän lähellä 2018 tasoa vuoteen 2050. Myöskään turkistarhausta ja puutarhataloutta ei ole mallissa mukana. Malli kuitenkin kattaa yli 95 % maatalousmaan käytöstä.

Suomen maatalouden rakennekehitys on mallinnettu endogeenisesti niin, että lypsylehmien lukumäärän havaittu kasvu suurimmissa tilakokoluokissa ja tärkeimmillä tuotantoalueilla Suomessa toteutuu ja otetaan pellonkäytössä huomioon. Malli on validoitu siten, että vuosien 1995–2018 toteutunut kehitys kotieläintuotannon kokonaismäärissä ja pellonkäytössä likimain toteutuu. Samalla huomioidaan Suomessa tuotettujen maataloustuotteiden kulutus kotimaassa yhtä aikaa tuonnin ja viennin muutosten kanssa. Kotimainen kulutus voidaan tyydyttää kotimaisella tuotannolla tai kilpailevilla tuontituotteilla. Kulutus noudattaa vuosina 1995–2018 toteutunutta kehitystä ja vuoden 2018 kulutusta vuosina 2019–2050, ellei erillisissä skenaarioissa toisin määritellä, kuten tehdään jäljempänä.

Suomi on oletettu mallissa täysin riippuvaiseksi EU- ja globaalilla tasolla muodostuvista panos- ja tuotehinnoista. Kotimaisten maataloustuotteiden hintataso voi kuitenkin vähäisessä määrin poiketa EU:n keskihinnoista. Tuotekohtaiset hintapoikkeamat esimerkiksi maidon ja lihan tuottajahinnoissa toteutuvat mallissa siten, että kotimaiset ja ulkomaiset tuotteet ovat epätäydellisiä substituutteja. Ne voivat siten korvata toisiaan varsin pitkälle, mutta kuitenkin rajallisesti ollen laadullisesti erilaisia. Esimerkiksi Suomeen tuodaan ja Suomesta viedään osin erilaista lihaa (eri ruhonosia) ja eri maitotuotteita (joita mallissa mukana yhteensä 18 erilaista).

Eläinten rehunkulutus voi muuttua hintasuhteiden ohjaamana ruokintasuositusten antamissa puitteissa eri tuotostasoille. Eläintuotanto vaikuttaa vahvasti rehun tuotantoon ja pellonkäyttöön. Eri kasvien pinta-alojen kehitykseen vaikuttavat myös lannoitteiden ja maataloustuotteiden hinnat sekä maataloustuet. Näin ollen DREMFIA-malli toistaa pääpiirteissään 1995–2018 kehityksen Suomen maatalouden tuotannossa ja maankäytössä ja sisältää keskeiset tarvittavat muuttujat arvioitaessa maatalouden kehitysuria ja maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä vuoteen 2050.

Maatalouden kehitysura sisältää vuosittaisen kehityksen vuoteen 2050. Malli on alun perin suunniteltu ja toteutettu siten, että sen avulla on mahdollista arvioida erityisesti CAP:in (Common Agricultural Policy) mukaiset maataloustuet tukiehtoineen ja Suomen kansallisten maatalouspoliittisten toimenpiteiden vaikutusta maataloustuotannon määrään, sijoittumiseen ja maataloustuloon Suomessa. Viimeisin tähän liittyvä julkaistu tutkimus on Lehtonen & Niemi (2018) julkaisema. DREMFIA-mallia on sovellettu myös arvioitaessa markkinamuutosten, ympäristötukijärjestelmän (Lehtonen & Rankinen 2015) ja muuttuvan ilmaston vaikutuksia maatalouden tuotantoon, pellonkäyttöön ja tuloihin (Lehtonen 2015). Tilastokeskuksen väkilukuennusteet (Tilastokeskus 2015) ja energian ennustettu hintakehitys vuosisadan puoliväliin asti huomioidaan DREMFIA-mallinnuksessa, joka tuottaa tarvittavan syötteen kasvihuonekaasulaskentaan, jossa huomioidaan myös porojen, lampaiden ja hevosten sekä turkiseläinten lukumäärät.

DREMFIA-sektorimalliin on mahdollista sisällyttää eri skenaarioissa määriteltyjä muutoksia kasvien sadoissa, maatalouden tuottavuudessa, panoskäytössä ja maataloustuissa sekä maatalouden lopputuotteiden ja panoshintojen EU-hinnoissa. Esimerkiksi lannoitevero, jota nykyisin ei ole asetettu, mutta voidaan määrittää erillisissä skenaarioissa, vaikuttaa mallissa suoraan kasvin lannoitusta ja satotasoa vähentävästi. Lannoitevero ja mahdolliset uudet tai muita tukia korvaavat maataloustuet matalan lannoitustason nurmille kannustavat typpeä sitovien apilanurmiseosten käyttöön. Tämä toteutuu mallissa siten, että voimakkaaseen epäorgaaniseen typpilannoitukseen perustuvan säilörehunurmen tuotanto vähenee ja korvautuu osittain matalamman lannoituksen ja satotason nurmituotannolla (Lehtonen & Niskanen 2016). Biokaasutuotannon vaikutukset kotieläintuotantoon voidaan ottaa huomi-

oon olettamalla pieni energiakustannusten väheneminen kotieläintaloudessa, mutta tarkempi panoskäytön muutos jää toistaiseksi huomioimatta, koska malliin ei ole määritelty biokaasutuotantoa yksityiskohtineen.

DREMFIA tuottaa tässä tutkimuksessa kasvihuonekaasulaskennan lähtötiedoiksi väkilannoituksen typpimäärän, pellonkäytön ja eläinmäärät tärkeimmille eläinluokille. Eläinten paino, typeneritys ja maidontuotanto kehittyvät kasvihuonekaasuinventaariossa raportoidun kehityksen mukaan myös tulevaisuudessa.

Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorin laskenta
Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous (LULUCF) -sektorin skenaariot muodostuvat kullekin maankäyttöluokalle ja puutuotteille erikseen lasketuista skenaarioista. Skenaarioiden laadinta jakautuu neljään osaan. Ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan maankäyttöluokkien ja maankäytön muutosluokkien pinta-alojen kehitysskenaariot; pinta-alat ovat LULUCF-laskennan keskeinen lähtötieto. Metsien kehitysskenaariot, ja niissä lähinnä puuston kehitys, muodostivat oman kokonaisuutensa. Puutuotteiden tuotantoskenaariot muodostettiin TIMES-VTT-mallilla, ja mallin tuloksia käytettiin lähtötietona puutuotteiden hiilivaraston muutosten laskennassa. Neljännen kokonaisuuden muodostivat muut maankäyttöluokat kuin metsämaa ja maankäytön muutosluokat.

Maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alojen määrittäminen
LULUCF-sektorin päästöt ja poistumat laskettiin kuudessa maankäyttöluokassa, jotka kattavat Suomen maa-alan ja sisävedet. Merivedet jäävät tarkastelun ulkopuolelle. Maankäytön muutospinta-alat estimoitiin Haakanan et al. (2015) esittämällä menetelmällä kuhunkin skenaarioon liittyvät taustaoletukset huomioiden esimerkiksi tuulivoimapuistojen rakentamisesta tai pellon metsityksestä (Kärkkäinen et al. 2019). Maankäytön muutosskenaarioiden taustalla ovat tapahtuneista maankäytön muutoksista lasketut trendit ja keskiarvot vuotuisista muutospinta-aloista. Näitä on täydennetty kunkin skenaarion päivitetyillä oletuksilla. Historiatieto on sama, jota käytettiin MALULU-hankkeessa (Aakkula et al. 2019). Lisäksi päästölaskennoissa käytettiin viimeisimmän Suomen kasvihuonekaasuinventaarion pinta-alatietoja (Tilastokeskus 2019). Suomen maa-alan ja sisävesien yhteenlasketun pinta-alan oletettiin pysyvän vakiona 33,8 miljoonassa hehtaarissa vuoteen 2050. Vakioitua kokonaispinta-alaa käytetään myös KHK-inventaariossa, vaikka tiedetään, että muutosta tapahtuu merivedestä maaksi. Vakiopinta-alan käytöllä ei ole skenaarioissa suurta merkitystä.

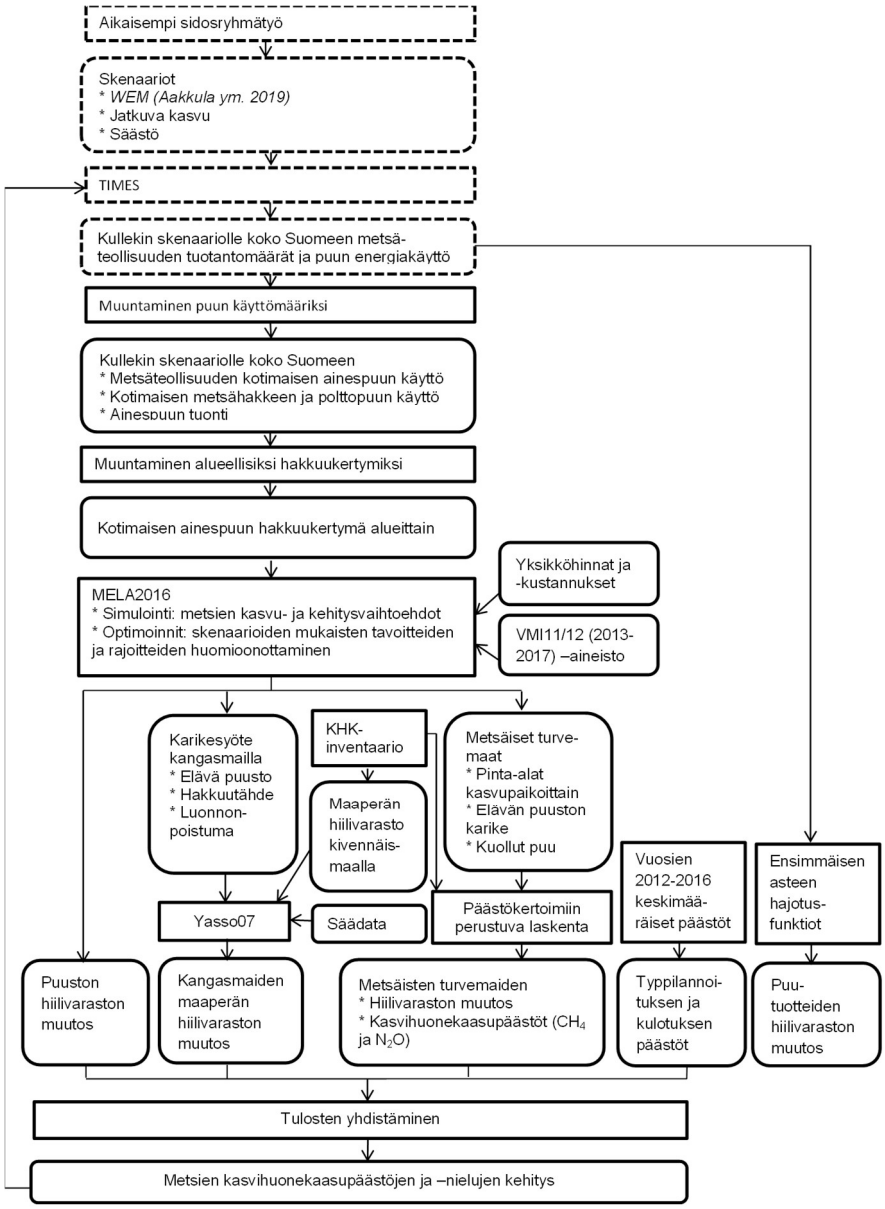
Historiatiedon ja lasketun trendin lisäksi rakennetun maan kehitystä eri skenaarioissa ohjasivat TIMES-VTT -mallin laskennalliset arviot aurinkovoiman ja tuulivoiman kehittymisestä eri skenaarioissa sekä liikenneväylien osalta jo päätetyt rautatiehankkeet. Yhden tuulivoimalan vaatimaksi alaksi arvioitiin 2 hehtaaria keskimääräisellä 2–5 MW:n voimalakoolla (Niemi 2019, Mikkonen 2019). Yhden maalle rakennettavan TWh:n aurinkovoimalan vaatimaksi pinta-alaksi arvioitiin 1 000 ha, jolla tuotantoluvut muunnettiin hehtaareiksi (Lehtilä 2019).

Energiaturpeen tuotannon oletettiin kehittyvän TIMES-VTT -mallin tuottaman turpeen energiatuotannon (PJ/v) mukaisesti eri skenaariovaihtoehdoissa. Energiantuotantoa vastaava tuotantoala saatiin skaalaamalla tunnetut pinta-alat ja energiankäyttö. Ympäristöturpeen tuotannon oletettiin pysyvän nykyisellä tasolla.

LULUCF:n Jatkuva kasvu- ja Säästö -skenaariot sisältävät oletukset bioenergiakasvien viljelyalan kasvusta ja toisaalta viljelysmaan pinta-alan voimakkaan pienenemisen. Tästä johtuen viljelysmaita siirtyy WEM-skenaariota enemmän metsämaaksi tai ruohikkoalueiksi.

Metsävarojen kehityksen mallinnus MELA-ohjelmistolla

Eri skenaarioiden kotimaisen ainespuun, metsähakkeen ja polttopuun käyttöä vastaavat hakkuuprojektiot sekä niille ehdollinen metsävarojen kehitys (puuston tilavuus, biomassa, kasvu) ja poistuma (hakkuu- ja luonnonpoistuma) laskettiin Luken MELA2016-ohjelmistolla (Hirvelä et al. 2017). MELA-laskelmien tuloksia käytettiin kangasmaiden maaperän ja metsäisten turvemaiden hiilivaraston muutoksen arvioinnissa. WEM-skenaariossa aines- ja energiapuunkäyttöä vastaavat alueelliset hakkuukertymätavoitteet määritettiin Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 -raporttia (Aakkula et al. 2019) varten laaditun LULUCF-WEM-skenaarion mukaisesti. Jatkuva kasvu- ja Säästö -skenaarioiden TIMES-VTT-mallilla lasketut metsäteollisuuden tuotantomäärät muutettiin kertoimien avulla metsäteollisuuden puunkäyttömääriksi. Käyttömääriä arvioitaessa otettiin huomioon ainespuun tuonti. Nämä Jatkuva kasvu- ja Säästö -skenaarioiden mukaiset kotimaisen aines- ja energiapuun käyttömäärät muunnettiin edelleen alueellisiksi hakkuukertymiksi, joita käytettiin MELA-hakkuuprojektioiden laskennassa.



Kuva 20. *Laskennan vaiheet metsien KHK-päästöjen ja -poistumien kehityksen ennustamiseksi.*

Projektioiden lähtötilanteen metsävaratietona oli valtakunnan metsien 11. ja 12. inventoinnin maastoaineisto mittausvuosilta 2013–2017 (poikkeuksena Ylä-Lapissa VMI11-aineistossa mittausvuodet

2012–2013) (Valtakunnan metsien… 2013 ja 2017). Metsä- ja kitumaan koealoihin perustuvia laskentakuvioita oli yhteensä 58 074. Laskentakuviot jaettiin kolmeen käsittelyluokkaan: ensisijaisesti puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella oleviin. Laskentakuvion käsittelyluokka rajaa kohteelle sallitut metsikkökohtaiset hakkuu- ja metsänhoitotoimenpiteet. Metsävaroja koskevat tulokset kattavat kaikki kolme luokkaa yhteensä, vaikka puuntuotannon ulkopuolisille alueille ei kohdistettu toimenpiteitä.

MELA-metsikkösimulaattori tuotti jokaiselle laskentakuviolle automaattisesti joukon vaihtoehtoisia kehityspolkuja, jotka koostuivat luonnonprosesseista (puiden synty, kasvu ja kuoleminen), hakkuista ja metsänhoitotöistä. Metsien käsittely noudatti kaikissa skenaarioissa Tapion metsänhoidon suosituksia (Äijälä et al. 2014, Koistinen et al. 2016).

Hakkuuprojektiot määritettiin alueittaisissa optimointilaskelmissa, joissa tavoitemuuttujana oli puuntuotannon taloudellisen tuloksen maksimointi neljän prosentin tuottovaatimuksella ja rajoitteena kullekin skenaariolle määritetyt puutavaralajikohtaiset hakkuukertymätavoitteet. Puuntuotannon taloudellinen tulos laskettiin ainespuulle tienvarsihintoihin perustuen ja energiapuulle sovellettiin käyttöpisteessä hakkeelle maksettua hintaa. Tienvarsihinnat saatiin lisäämällä tilastoituihin kantohintoihin keskimääräiset toteutuneet korjuukustannukset. Metsähakkeen käyttöpistehinnat noudattivat tilastoituja keskihintoja. Kustannusten laskenta perustui työlajien tilastoituihin yksikköhintoihin ja tuottavuusmallien mukaisiin ajanmenekkeihin, jotka ottivat huomioon esim. korjuussa olosuhteiden vaikutuksen (poistettavien puiden järeys, hehtaarikohtainen poistuma ja jätettävän puuston määrä ja maaperä).

MELA-ohjelmistossa puun pohjapinta-alan kasvumalli on kalibroitu VMI11-aineiston läpimitan kasvunmittausten perusteella, jotka ennen kalibrointia oli indeksikorjattu vuosien 1984–2013 keskimääräiseen kasvun tasoon. Lisäksi MELA-ohjelmiston tuottamaa tilavuuskasvun arviota tarkennettiin skenaarioissa ottamalla huomioon kalibrointijakson keskivuodesta 1999 vuoteen 2017 tapahtunut keskilämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus puuston kasvuun. Tilavuuskasvuarvion laadinnassa käytettiin samaa menetelmää kuin Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 -raportissa (Aakkula et al. 2019).

Tämän raportin WEM-skenaarion oletukset metsätalouden ja sen toimintaympäristön kehityksestä olivat samat kuin Aakkulan et al. (2019) LULUCF-WEM-skenaariossa. Tässä esitetyt MALUSEPO-laskelmat poikkesivat kuitenkin Aakkula et al. (2019) raportissa kuvatuista MALULU-laskelmista mm. laskenta-aineiston sekä hinta- ja kustannustietojen ajantasaisuuden, metsikkötason käsittelyiden simuloinnin ja hakkuutähteen laskennan osalta.

LULUCF-sektorin päästöjen ja poistumien laskenta

Skenaarioiden kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat pyrittiin laskemaan mahdollisimman yhdenmukaisesti Suomen kasvihuonekaasuinventaarion (KHK-inventaario) luokitusten ja menetelmien kanssa (Tilastokeskus 2019). Inventaarion luokitukset ja menetelmät perustuvat YK:n ilmastosopimuksen ja IPCC:n laatimiin raportointiohjeisiin. LULUCF-sektorilla laskennat noudattavat 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories -ohjeita (IPCC 2006). Skenaarioiden päästöt ja poistumat muodostuvat hiilivarastojen elävä biomassa, kuollut puuaines, karike ja maaperä muutoksista (CO2) sekä metaani- (CH4) ja dityppioksidipäästöistä (N2O). Skenaarioissa ei oleteta tai ole otettu huomioon ilmaston muutosta. Laskennoissa, joissa tarvitaan säädataa (kuten Yasso-mallinnuksessa), vuodesta 2017 vuoteen 2050 vuosittainen sää on vuosien 1980–2017 keskiarvo. Aineen, kuten biomassan, hiilisisältönä on käytetty 50 prosenttia. Hiili on muunnettu hiilidioksidiksi (CO2) kertoimella (-44/12). Kaasut on yhteismitallistettu hiilidioksidiekvivalenteiksi KHK-inventaariossa käytetyillä IPCC:n neljännen maaraportin GWP (Global Warming Potential) -kertoimilla, jotka

ovat CO2:lle 1, CH4:lle 25 ja N2O:lle 298. Skenaarioissa käytetty maankäytön luokitus vastaa Suomen kasvihuonekaasuinventaarion luokitusta (Tilastokeskus 2019) ja on kuvattu raportissa Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 (Aakkula et al. 2019).

LULUCF-sektori muodostuu kuudesta maankäyttöluokasta: metsämaa, viljelysmaa, ruohikkoalueet, kosteikot, rakennettu maa ja muu maa, sekä puutuotteista. Kukin maankäyttöluokka jakautui skenaariolaskennassa kahteen osaan siten, että tietyn vuoden päästöihin/poistumiin sisältyvät: 1) kyseisenä vuonna tapahtuvista maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt sekä tätä vuotta edeltävien 19 vuoden aikana tapahtuneiden muutosalueiden päästöt ja poistumat, 2) alueiden päästöt/poistumat, joilla ei ole tapahtunut maankäytön muutoksia tai muutoksesta on yli 20 vuotta.

Skenaarioissa maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alat jatkavat raportoitua aikasarjaa, joten kohdan (1) maankäytön muutosalueiden päästöihin ja poistumiin voi sisältyä vuonna 2017 tapahtuneilta muutosaloilta aiheutuvia päästöjä/poistumia vuoteen 2036 saakka. Tämä koskee etenkin WEM-skenaariota.

Metsämaan (ollut metsämaata yli 20 vuotta) puuston hiilivaraston muutokset laskettiin MELA-mallinnuksen tuottamien 10-vuotiskausittaisten puuston biomassavarastojen erotuksena. Elävästä ja luonnonpoistumapuustosta syntyvän karikkeen ja hakkuissa metsään jäävän karikkeen syötteet maaperälaskentaan ovat myös MELA-tuloksia. Metsitetyille alueille (ollut metsämaata korkeintaan 20 vuotta) puuston hiilivaraston muutos laskettiin kuten KHK-inventaariossa Valtakunnan metsien inventoinnin aineistoihin perustuvilla metsitysalueiden keskimääräisillä puuston kasvu- ja poistumaarvioilla (Tilastokeskus 2019). Kivennäismaiden maaperän hiilivaraston muutokset estimoitiin Yasso07-maamallilla ja ojitettujen turvemaiden CO2-, CH4- ja N2O-päästöt laskettiin kasvihuonekaasuinventaarion päästökertoimilla (Tilastokeskus 2019). Typpilannoituksen N2O-päästöt ja kulotuksen CH4- ja N2O-päästöt laskettiin vuosina 2012–2016 toteutuneiden päästöjen keskiarvona, kuten on raportoitu, ja metsitysalueille laskettiin myös typen mineralisaatiosta aiheutuva N2O-päästö (Tilastokeskus 2019). Erilaisten metsäisten turvemaiden pinta-alatiedot saatiin MELA-laskennan tuloksena.

Viljelysmaan kivennäismaiden hiilivaraston muutos estimoitiin Yasso07-maamallilla. Ruohikkoalueilla sen sijaan oletettiin, ettei kivennäismaan hiilivarastossa tapahdu muutosta. Sekä viljelysmaan että ruohikkoalueiden turvemaille käytettiin KHK-inventaarion päästökertoimia. Kasvien biomassat ja kasvilajikohtainen karikesyöte laskettiin KHK-inventaarion mukaisesti kuten myös biomassan ja kuolleen puuaineksen hiilivarastojen muutokset sekä typen mineralisaatiosta ja typen huuhtoumasta aiheutuvat N2O-päästöt (Tilastokeskus 2019).

Kosteikot jakautuvat toisistaan poikkeaviin alaluokkiin: turvetuotantoalueet, vähäpuustoiset metsämaasta taantuneet suot ja rakennetut sisävedet, joille päästöt laskettiin KHK-inventaarion menetelmillä ja kertoimilla (Tilastokeskus 2019b).

Rakennettujen alueiden tulokset sisältävät ainoastaan maankäytön muutosalueilta aiheutuvat päästöt ja poistumat. Kun muutoksesta on kulunut 20 vuotta, alue siirtyy rakennettuna maana vähintään 20 vuotta pysyneiden alueiden luokkaan, joilla KHK-inventaarion mukaisesti ei oletettu tapahtuvan hiilivarastojen muutoksia (Tilastokeskus 2019).

Puutuotteiden vaikutus laskettiin käyttäen tuotantoon perustuvaa lähestymistapaa ja menetelmä oli ensimmäisen asteen hajoamisfunktio käyttäen tuotteiden puoliintumisaikoja ja tuoteryhmäkohtaisia muuntokertoimia. Puutuotteiden pääryhmät ovat sahatavara, puulevyt, paperi ja kartonki. Sahatavaralle käytettiin 35 vuoden puoliintumisaikaa, puulevyille 25 vuoden ja paperille ja kartongille 2 vuo-

den. Lähtöoletukset liittyen metsäteollisuuden tuotannon kehitykseen kussakin skenaariossa harmonisoitiin eri mallilaskelmiin, ja puun kysyntä perustuu TIMES-VTT-mallinnuksen tuloksiin. Vähäpäästöskenaarioissa metsäteollisuuden jalostusasteen oletettiin kasvavan ja skenaarioihin oletettiin mukaan myös uusia tuotteita. Mekaanisen metsäteollisuuden osalta nämä uudet tuotteet käsiteltiin laskennassa pitkäikäisinä niin, että puolet tuotannosta laskettiin sahatavaran ja puolet puulevyjen puoliintumisajoilla ja kertoimilla. Käytetty menetelmä perustuu IPCC 2006 -ohjeeseen ja on kuvattu Suomen inventaarioraportissa (IPCC 2006, Tilastokeskus 2019, Hamberg et al. 2016).

Kansantalouden tasapainomalli ja lähdeaineistot

Pitkän aikavälin energia- ja ilmastopoliittisten skenaarioita on arvioitu Suomen kansantaloutta kuvaavan laskennallisen mallin avulla. Kaikissa skenaarioissa talouden kuvaus perustuu arvioihin maailmanmarkkinoiden ja kotimaisen talouden keskeisten ajureiden kehityksestä.

Vaikutusten arvioinnin pohjana on käytetty dynaamista, yleisen tasapainon mallia FINAGE (ent. VATTAGE). Tällaista lähestymistapaa on käytetty jo pitkään kansantalouden pitkän aikavälin kehityksen arviointiin. Malli kuvaa talouden kehityksen taloudellisten toimijoiden päätöksistä seuraavina, taloudellisina toimina - kotitalouksien, yritysten ja julkisen sektorin päätöksistä käsin. FINAGE-mallin skenaariot ja niiden väliset kytkennät ulottuvat sekä vuosissa taaksepäin, että vuosissa eteenpäin. Historiaskenaarioissa käytetään kansantalouden toteutuneita tietoja tilastoista yms. talouden trendien tunnistamiseen ja laskentamallin kalibroimiseen historian kanssa konsistentiksi. Tulevien vuosien skenaarioiden pohjalla ovat osaltaan historialliset trendit – muun muassa tuottavuuskasvun tai maailmanmarkkinoiden muutosten reunaehtojen kehitystä koskevat oletukset sekä tietyt, ennustettavat politiikkatoimet. Talousteoria luo sen kehikon, jolla historiaa mallissa tulkitaan, kun taas historiasta kumpuavat taloudelliset trendit ja muun muassa ennakoitu väestönkasvu luovat ne raamit, joissa taloudelliset toimijat tekevät päätöksiään. Yleensä tarkasteluun liittyy myös makrotalouden kehitysennuste, jolla kiinnitetään lähimmiksi vuosiksi huoltotaseen kehitysarvio esimerkiksi ministeriöiden politiikan suunnittelussa käyttämää vastaavaksi. Kotimaisen talouspolitiikan osalta skenaarioissa huomioidaan myös sellaiset toimet, joiden vaikutus ulottuu seuraaville vuosikymmenille. Näistä tärkeimpiä ovat eläkeuudistus, joka helpottaa muuten näköpiirissä olevaa työvoimapulaa etenkin 2020-luvulla. Lisäksi arviossa on ennakoitu tekeillä olevan SOTE-uudistuksen vaikutuksia työvoiman tarpeeseen ja julkiseen talouteen.

FINAGE-mallilla tuotetuissa skenaarioissa talouden kehityksen taustatekijöiden oletetaan kehittyvän ”business-as-usual”, kun taas erilaisten talouspoliittisten tavoitteiden tai maailmantalouden tai teknologian reunaehtojen muutosten vaikutusta arvioidaan vaihtoehtoisissa skenaarioissa. Tällä tavoin saadaan eristettyä tarkasteltavien ilmiöiden vaikutus talouskasvun taustatekijöistä. Tässä tutkimuksessa käytetyt skenaariot nojaavat monilta osin Honkatukian, Kohlin ja Lehtomaan (2018) tutkimukseen, jossa on kartoitettu Suomen kansantalouden pitkän aikavälin kasvun ajureita.

Integroidut mallitarkastelut

Tässä raportissa esitetyt laskennalliset analyysit ovat toteutettu integroidusti, eli laskelmissa on pyritty yhdenmukaistamaan lähtöoletuksia mahdollisuuksien mukaan ja lisäksi osaa yhden mallitarkasteluiden tuloksista on käytetty toisen mallitarkasteluiden lähtötietoina. Kyseessä on siten varsin raskas mallinnusjärjestelmä, jota on käytetty hiilineutraalisuuspolkujen laskennallisiin analyyseihin ja lisäksi lähestymistapa on iteratiivinen. Alla on pyritty kuvaamaan karkealla tasolla mallinnusjärjestelmä kokonaisuutena.

Maatalouden DREMFIA-mallinnus tuottaa lähtötietoja sekä maatalouden KHK-päästölaskentaan että TIMES-VTT-mallinnukseen liittyen maatalouden tuotantomääriin (viljat, karjatalous, biokaasupotentiaali maatalouden sivuvirroista, tarvittava peltoala). TIMES-VTT mallinnus tuottaa puolestaan

lähtötietoja teollisuus- ja energiapuun kysyntään liittyen, joita käytetään MELA-mallinnuksen lähtöaineistona arvioitaessa kotimaisten hakkuiden kehitystä. TIMES-VTT-malli tuottaa lähtöaineistoa myös FINAGE-kansantalousmallinnukseen liittyen muun muassa energiahyödykkeiden kysyntään, hintaan ja energiajärjestelmään kohdistuvaan investointitarpeeseen. TIMES-VTT-mallin laskema KHK-päästövähennysten raja- eli marginaalikustannus on myös FINAGE-mallinnuksen yksi keskeinen lähtötieto. Sekä MELA- että TIMES-VTT-laskenta tuottavat lähtötietoja LULUCF-laskentaan. MELA tuottaa hakkuumäärät ja metsien kehitysarvion. TIMES-VTT-tuloksia hyödynnetään muun muassa arvioitaessa maankäytön kehitystä energiasektorin näkökulmasta (turpeen tuotanto, tuulivoima, jne.). LULUCF-laskennan tuloksena saatu maankäytön KHK-päästöjen ja -poistumien kehityksen nettotase toimii puolestaan TIMES-VTT-mallinnuksen lähtötietona, kun määritellään vuodelle 2035 asetettu KHK-päästötavoite ja kustannusoptimaalinen polku tähän päästötavoitteeseen pääsemiseksi.

Hankkeille asetetun aikataulun ja resurssien puitteissa ei ollut mahdollisuuksia syvälliseen iteratiiviseen tarkasteluun, jossa kaikki mallinnukset olisi toteutettu useaan kertaan. TIMES-VTT mallilaskenta toteutettiin kuitenkin kahteen kertaan, ja jälkimmäisellä laskentakierroksella pystyttiin vasta asettamaan KHK-päästötavoite siten, että Suomi saavuttaa hiilineutraalisuuden vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi FINAGE-tulokset on esitetty siten, että kansantalouden laskelmien lähtötietoina on käytetty molempia TIMES-VTT-laskentatuloksia siten, että FINEAGE-tuloksien osalta toinen laskentatapaus ei toteuttaisi hiilineutraalisuustavoitetta, mutta toinen toteuttaa (ns. nettonolla laskentatapaus). LULUCF-laskentaa ei sen sijaan päivitetty ns. lopullisilla TIMES-VTT-lähtötiedoilla ja -tuloksilla, mutta vaikutukset LULUCF-sektorin KHK-taseeseen ovat mitä todennäköisimmin vähäiset.

Lähdeviitteet

Aakkula, J., Asikainen, A., Kohl, J., Lehtonen, A, Lehtonen, A., Ollila, P., Regina, K., Salminen, O., Sievänen, R. & Tarja Tuomainen. 2019. Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 20/2019. 70 p. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-650-8

Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen: Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015.

Hamberg, L., Henttonen, H. & Tuomainen, T. 2016. Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaariossa – Menetelmäkehitys Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/537716/luke-luobio_73_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hirvelä, H., Härkönen, K., Lempinen, R. & Salminen, O. 2017. MELA2016 Reference Manual. Natural resources and bioeconomy studies 7/2017. 547 p. ISBN 978-952-326-1 (Online).

Honkatukia, J., Kohl, J. ja Lehtomaa, J. (2018). Uutta, vanhaa ja sinivalkoista – Suomi 2040. VTT Technology 327. https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2018/T327.pdf

IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Saatavissa: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html

Koistinen, A., Luiro, J-P. & Vanhatalo, K. (toim.). 2016. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. Saantitapa: https://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset_verkkojulkaisu2.pdf

Koljonen, T., Flyktman, M., Lehtilä, A., Pahkala, K., Peltola, E & Savolainen, I. (2009) The role of CCS and renewables in tackling climate change. Energy Procedia 1:4323–4330.

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.

Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhiainen, L., Laturi, J., Lehtonen, H., Lintunen, J., Niskanen, O., Ollila, P., Peltonen-Sainio, P., Regina, K., Salminen, O., Tuomainen, T., Uusivuori, J., Wall, A.& Packalen, T. 2019. Maankäyttösektorin toimien mahdollisuudet ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018. 75 s. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-618-8

Lehtilä, A. 2019. Asiantuntija-arvio. VTT. Sähköposti 28.10.2019

Lehtilä, Antti & Koljonen, Tiina 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.

Lehtonen, H. 2015. Evaluating adaptation and the production development of Finnish agriculture in climate and global change. Agricultural and Food Science 24: 219–234.

Lehtonen, H. & Rankinen, K. 2015. Impacts of agri-environmental policy on land use and nitrogen leaching in Finland. Environmental Science and Policy 50: 130–144. doi:10.1016/j.envsci.2015.02.001

Lehtonen, H. & Niskanen, O. 2016. Promoting clover-grass: Implications for agricultural land use in Finland. Land Use Policy 59: 310–319.

Lehtonen, H., & Niemi, J. 2018. Effects of reducing EU agricultural support payments on production and farm income in Finland. Agricultural and Food Science, 27(2), 124–137.

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). Documentation_for_the_TIMES_Model-Part-I_July-2016.pdf

Mattinen, M. Heljo, J. & Savolahti, M. 2016. Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015–2050. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2016.

Mikkonen, A. 2019. Suomen tuulivoimayhdistys. Sähköposti 30.10.2019

Niemi, P. 2019. Asiantuntija-arvio, tuulivoima-asiantuntija. Metsähallitus. Sähköposti 10.1.2019.

Tilastokeskus 2015. Väestöennuste 2015-2065. Suomen Virallinen Tilasto. 10 s. http://tilastokeskus.fi/til/vaenn/2015/vaenn_2015_2015-10-30_fi.pdf

Tilastokeskus 2018. Energian hankinta ja kulutus. https://www.stat.fi/til/ehk/index.html

Tilastokeskus 2019. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2017. National inventory report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 April 2019. Saatavissa: http://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_eu_nir_2017_2019-03-15.pdf

Tuominen, P., Klobut, K., Tolman, A., Adjei, A., De Best-Waldhober, M. 2012. Ener-gy savings potential in buildings and overcoming market barriers in mem-ber states of the European Union. Energy and Buildings 51, pp. 48–55.

Tuominen, P., Forsström, J., Honkatukia, J. 2013. Economic effects of energy effi-ciency improvements in the Finnish building stock. Energy Policy 52, pp. 181–189.

Tuominen, P., Holopainen, R., Eskola, L., Jokisalo, J., Airaksinen, M. 2014: Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock. Building and Environment 75, pp. 153–160.

Valtakunnan metsien 11. inventointi (VMI11). 2013. Maastotyön ohjeet 2013. Koko Suomi ml. Ahvenanmaa. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 191 s.

Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12). 2017. Maastotyön ohjeet 2017. Luonnonvarakeskus. Moniste. 164 s.

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K., & Väisänen, P. (toim.) 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/Metsanhoidon_suosituk-set_ver3_netti_1709141.pdf