

Tiina Koljonen, Sampo Soimakallio, Antti Lehtilä, Lassi Similä, Juha Honkatukia, Mikael Hildén, Antti Rehunen, Laura Saikku, Marja Salo, Mikko Savolahti, Pekka Tuominen, Terttu Vainio

Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys

Helmikuu 2019

Valtioneuvoston selvitys-
ja tutkimustoiminnan
julkaisusarja 24/2019

KUVAILULEHTI

Julkaisija ja julkaisuaika	Valtioneuvoston kanslia, 28.02.2019		
Tekijät	Tiina Koljonen, Sampo Soimakallio, Antti Lehtilä, Lassi Similä, Juha Honkatukia, Mikael Hildén, Antti Rehunen, Laura Saikku, Marja Salo, Mikko Savolahti, Pekka Tuominen, Terttu Vainio		
Julkaisun nimi	Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24/2019		
Asiasanat	Vähäpäästö, strategia, skenaario, päästövähennys		
Julkaisun osat/ muut tuotetut versiot			
Julkaisuaika	Helmikuu, 2019	Sivuja 162	Kieli , Suomi

Tiivistelmä

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n ja Suomen ympäristökeskus SYKE:n Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (PITKO) -selvityksen keskeinen tavoite oli arvioida, mikä on Suomelle sopiva kasvihuonekaasujen päästövähennystavoite vuodelle 2050 ja mitkä ovat keskeiset toimialakohtaiset etenemismahdollisuudet tavoitteen saavuttamiseksi. Arvioiden lähtökohdaksi asetettiin biotalouden ja puhtaiden ratkaisujen ministeriöryhmän linjausten mukaisesti, että Suomi vähentää vuoteen 2050 mennessä kasvihuonekaasupäästöjään 85–90 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. Maankäyttösektorille (ns. LULUCF) ei sen sijaan asetettu erillistä tavoitetta, vaan päästöistä ja nieluista (poistumista) koostuva kokonaispäästökehitys arvioitiin laskelmien tuloksena.

Tulosten mukaan Suomi voi saavuttaa 85–90 %:n päästövähennystavoitteen vuonna 2050 erilaisia polkuja pitkin. Kriittisiä tekijöitä ovat energian käytön tehostuminen yhteiskunnan kaikilla osa-alueilla, uusiutuvan energian merkittävä lisäys, energiajärjestelmän sähköistyminen sekä hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS) käytettävyys bioenergian ja teollisuuden prosessien yhteydessä. Kaikissa poluissa BKT:llä mitatun taloudellisen hyvinvoinnin arvioitiin kasvavan, ja teknologisen kehityksen vaikutus oli kasvun tärkein ajuri. Suomi voi saavuttaa hiilineutraaliuden tarkastellusta polusta ja metsänielun epävarmuuksista riippuen joko ennen vuotta 2040 tai vasta sen jälkeen. Päästöjen vähentämisen lisäksi metsien hiilinielujen ylläpitäminen ja vahvistaminen ovat tärkeässä roolissa ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi.

Liite 1 Kansalaiskyselyn kyselylomake

Liite 2 SOVA-taulukot

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2018 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokaytoon.fi).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare & utgivningsdatum	Statsrådets kansli, 28.02.2019		
Författare	Tiina Koljonen, Sampo Soimakallio, Antti Lehtilä, Lassi Similä, Juha Honkatukia, Mikael Hildén, Antti Rehunen, Laura Saikku, Marja Salo, Mikko Savolahti, Pekka Tuominen, Terttu Vainio		
Publikationens namn	Totalutsläppens långsiktiga utveckling		
Publikationsseriens namn och nummer	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 24/2019		
Nyckelord	Låga utsläpp, strategi, scenarier, utsläppsminskning		
Publikationens delar /andra producerade versioner			
Utgivningsdatum	Februari, 2019	Sidantal 162	Språk , Finska

Sammandrag

Teknologiska forskningscentralen VTT Ab och Finlands miljöcentral SYKE genomförde projektet PITKO (långsiktig utveckling av totalutsläppen) för att bedöma lämpliga mål för utsläppsminskningen år 2050 samt identifiera centrala åtgärder inom olika sektorer. Utgångspunkten var, i enlighet med den linjedragning ministerarbetsgruppen för bioekonomi och ren energi gjort, att Finland minskar sina utsläpp av växthusgaser med 85–90 % jämfört med utsläppen 1990. För markanvändning (LULUCF –sektorn) uppställdes inga särskilda mål, utan de totala utsläppen beräknades på basen av uppskattningar av utsläppens och kolsänkornas utveckling.

Enligt resultaten kan Finland uppnå målet på 85–90 % utsläppsminskning 2050 längs olika utvecklingsvägar. Kritiska faktorer är effektiveringen av energianvändning inom alla samhällsområden, en betydande ökning av förnyelsebar energi, elektrifieringen av energisystemet samt möjligheterna att ta tillvara och lagra koldioxid (CCS) i samband med bioenergiproduktion och industriprocesser. Alla analyserade utvecklingsvägar ger ökad ekonomisk välfärd mätt med BNP. Teknologisk utveckling är den viktigaste enskilda faktorn bakom tillväxten. Finland kan uppnå kolneutralitet 2040 eller senare beroende på utvecklingsväg och osäkerheten beträffande kolsänkornas utveckling. För att uppnå målet är det viktigt att Finland satsar både på att minska utsläppen och att upprätthålla och stärka kolsänkorna.

Bilaga 1 Frågeformulär för medborgarenkät

Bilaga 2 Tabeller över miljökonsekvenser

Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2018 (tietokayttoon.fi/sv).

De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt

DESCRIPTION

Publisher and release date	Prime Minister's Office, 28.02.2019		
Authors	Tiina Koljonen, Sampo Soimakallio, Antti Lehtilä, Lassi Similä, Juha Honkatukia, Mikael Hildén, Antti Rehunen, Laura Saikku, Marja Salo, Mikko Savolahti, Pekka Tuominen, Terttu Vainio		
Title of publication	Long-term development of total emissions		
Name of series and number of publication	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 24/2019		
Keywords	Low emission, strategy, scenarios, emission reduction		
Other parts of publication/ other produced versions			
Release date	February, 2019	Pages 162	Language , Finnish

Abstract

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd and the Finnish Environment Institute SYKE carried out the PITKO project (long-term development of total emissions) to examine suitable targets for the greenhouse gas emission reduction until 2050 and to identify key actions within different sectors. The starting point was given by the ministerial working group on bioeconomy and clean solutions, which had specified that Finland should reduce emissions by 85–90% relative to emissions in 1990. For the land-use sector (LULUCF) no specific targets were set. The total emissions were calculated based on projected emissions and changes in the development of removals by carbon sinks.

The results show that Finland can achieve the 85–95% emission reduction target by 2050 through different pathways. Critical factors are the increase in efficiency in energy use throughout society, a significant increase in the use of renewable energy, electrification of the energy system, and the possibility to use carbon capture and storage (CCS) in bioenergy production and industrial processes. All analysed pathways show that economic welfare measured by GDP will increase. Technological development is the most important driver behind the growth. Finland can achieve carbon neutrality by 2040 or later, depending on the pathway and uncertainties in the evolution of carbon sinks. To achieve the target it is important that Finland reduces emissions and maintains and strengthens carbon sinks.

Appendix 1 Questionnaire for public survey

Appendix 2 Tables of Strategic Environmental Impact Assessment

This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2018 (tietokayttoon.fi/en).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.




SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	9
1.1. Työn tausta ja tavoite	9
1.2. Tutkimusmenetelmät ja tausta-aineistot.....	11
1.3. TIMES-VTT energijärjestelmämalli.....	12
1.4. Rakennuskannan energialaskennan REMA-malli.....	14
1.5. Kansantalouden FINAGE-malli	15
2. VERTAILUSKENAARION (WEM) JA VÄHÄPÄÄSTÖSKENAARIOIDEN LÄHTÖKOHTIEN JA KESKEISTEN OLETUSTEN MÄÄRITTELYT.....	16
2.1. Vertailuskenaario (WEM).....	16
2.2. Vähäpäästöskenaario EU-80%.....	18
3. SUOMEN HIILINEUTRAALISUUSTAVOITE JA VAIHTOEHTOISET MÄÄRITTELYT.....	21
3.1. Pariisin sopimuksen ilmastotavoitteet	21
3.2. Hiilineutraaliusmääritelmä.....	21
3.3. Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiden saavuttaminen	23
3.4. Mikä olisi EU:lle ja Suomelle oikeudenmukainen päästövähennystavoite vuonna 2050?.....	24
4. VAIHTOEHTOISTEN VÄHÄPÄÄSTÖPOLKUJEN MUODOSTAMINEN JA MÄÄRITTELYT.....	26
4.1. Työpajaproessin kuvaus	26
4.2. Vaihtoehtoisten vähäpäästöpolkujen numeeriset määrittelyt mallinnusta varten .	31
Energiantuotanto.....	32
Teollisuus	32
Asuin- ja palvelurakennukset.....	36
Liikenne	40
Maatalous	42
5. MUUTOSPOLKUJEN VAIKUTUSARVIOT SUOMEN ENERGIATALOUTEEN JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEEN	46
5.1. Tarkastelumenetelmä ja taserajaukset.....	46
5.2. Vaikutukset päästöihin.....	47
Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaistaseet.....	47

CCS ja negatiiviset päästöt	52
5.3. Energiajärjestelmävaikutukset	54
Primaarienergian kokonaiskulutus	54
Sähköenergian hankinta ja kulutus	56
Energian loppukulutus	60
Polttoaineiden jalostus	64
5.4. Vaikutukset puun hankintaan ja käyttöön	66
5.5. Energiataloudelliset vaikutukset	69
Ilmastopolitiikan kustannusvaikutukset	69
Energian hankinnan omavaraisuus ja uusiutuvan energian osuus	70
6. VAIKUTUKSET KANSANTALOUTEEN	73
6.1. Kansantalousskenaariot	73
6.2. Laskentamalli	74
6.3. WEM-skenaario	76
6.4. Jatkuva kasvu -skenaario	77
6.5. Muutos-skenaario	78
6.6. Säästö-skenaario	79
6.7. Pysähdys-skenaario	80
6.8. Skenaarioiden vertailua	81
7. KOKONAISARVIO SUOMEN MAHDOLLISISTA VÄHÄPÄÄSTÖPOLUISTA VUOTEEN 2050	85
7.1. Maankäyttösektorin päästöt	85
Metsämaa ja puutuotteet	86
Muu maankäyttösektori	89
7.2. Kokonaisarvio Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä	90
7.3. Energia- ja päästöintensiteettien kehitykset	93
8. KANSALAISTEN NÄKEMYKSET ILMASTONMUUTOKSEN HILLINNÄSTÄ – KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET	96
8.1. Yleiset taustat ja tavoite	96
8.2. Kyselyn toteutus, rakenne ja sisältö	97
8.3. Tulokset	98
Päätöksenteon perusteet ja ohjauskeinot	98
Henkilökohtaiset päästövähennyskeinot	100
Valmius toteuttaa uusia henkilökohtaisia toimia päästöjen vähentämiseksi	101

Kustannusten kohdentuminen	102
8.4. Pohdintaa PITKO-hankkeen pääkertomuksen ja vähäpäästöskenaarioiden näkökulmasta	103
9. YMPÄRISTÖVAIKUTUSARVIOT (SOVA).....	105
9.1. Ilmastovaikutukset.....	106
Energiantuotanto ja -kulutus.....	107
Teollisuusprosessit.....	109
Maatalous ja maankäyttösektori	109
9.2. Vaikutukset resurssitehokkuuteen	112
Materiaalitehokkuus	112
Mineraalivarantojen köyhtyminen	112
Elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt	113
9.3. Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen.....	114
Metsäluonnon monimuotoisuus	114
Maatalousluonnon monimuotoisuus.....	117
9.4. Vaikutukset vesistöihin	117
Metsätalouden vesistövaikutukset	117
Maatalouden vesistövaikutukset.....	118
9.5. Vaikutukset ilmanlaatuun.....	119
9.6. Vaikutukset ihmisten hyvinvointiin ja elinoloihin.....	120
Yhdyskuntarakenteen muutosten vaikutukset	120
Liikunnan ja ravinnon terveystvaikutukset.....	121
Muut vaikutukset ihmisten hyvinvointiin	121
10. SKENAARIOIDEN TOTEUTUMISEEN LIITTYVIÄ NÄKÖKOHTIA	123
10.1.Riskit.....	123
10.2.Toimenpide-ehdotukset ja keskeisimmät toimijat	125
11. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	127
Suomen hiilineutraalisuustavoite on saavutettavissa ennen vuotta 2050.....	127
On useita mahdollisia polkuja edetä kohti hiilineutraalisuutta	127
Mallitarkastelut antavat määrällisiä arvioita polkujen välisistä eroista	128
Hiilineutraalius on saavutettavissa ilman suuria kansantaloudellisia uhrauksia.....	129
Energiajärjestelmän sähköistyminen ja energian käytön tehostuminen vähäpäästöisyyden edellytyksenä.....	130
Kotimaisen puuraaka-aineen käyttö eroaa skenaarioiden välillä.....	130



Skenaarioiden kokonaispäästöarvioissa merkittävää epävarmuutta	131
Skenaariot eroavat toisistaan useiden ympäristövaikutusten suhteen	131
Kansalaiset pitävät vähäpäästöisyyden saavuttamista tärkeänä	132
Vahvan ohjauksen kehittäminen edellyttää syvällisiä yhdennettyjä tarkasteluja.....	132
12. LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA.....	134
LIITE 1. KANSALAISKYSELYN KYSELYLOMAKE	143
LIITE 2. SOVA-TAULUKOT.....	149

1. JOHDANTO

Tiina Koljonen, Antti Lehtilä, Pekka Tuominen, Terttu Vainio, VTT, Juha Honkatukia, Merit Economics

1.1. Työn tausta ja tavoite

Euroopan Unionin (EU) puhtaan energian pakettiin kuuluvan hallintomalliasetuksen¹ mukaan kunkin jäsenvaltion oli viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2018 annettava komissiolle tiedoksi yhdennetty (eli integroitu) kansallinen energia- ja ilmastosuunnitelma ja lisäksi jäsenvaltion on toimitettava komissiolle viimeistään 1 päivänä tammikuuta 2020 vähintään 30 vuotta kattava pitkän aikavälin strategiansa. Ensimmäinen integroitu suunnitelma kattaa vuodet 2021–2030 ja pitkän aikavälin strategia ulottuu vuoteen 2050 asti. Ministeriöiden yhteistyössä laatima integroitu kansallinen energia- ja ilmastosuunnitelman luonnos² toimitettiin Euroopan komissiolle joulukuussa 2018.

Euroopan komissiolle 30 vuoden päähän ulottuvaan pitkän aikavälin vähäpäästöisyysstrategiaan kirjataan ne toimet, joilla saavutetaan Yhdistyneiden kansakuntien ilmastopimuksen (UNFCCC), Pariisin sopimuksen ja EU:n asettamat ilmastotavoitteet¹. Näistä keskeisiä ovat kasvihuonekaasu (KHK) -päästöjen rajoittaminen ja hiilidioksidia ilmakehästä poistavien nielujen vahvistaminen maapallon keskilämpötilan nousun hillitsemiseksi selvästi alle kahteen celsiusasteeseen, pyrkien 1,5 celsiusasteeseen.

Hallintomalliasetuksen mukaan vähäpäästöisyyttä koskevien pitkän aikavälin strategioiden on katettava seuraavat osatekijät:

- kasvihuonekaasupäästöjen kokonaisvähennykset ja nielujen aikaansaamien poistumien kokonaislisäykset;
- päästövähennykset ja poistumien tehostaminen yksittäisillä sektoreilla, mukaan lukien sähköala, teollisuus, liikenne, lämmitys- ja jäähdytys- ja rakennusala (kotitaloudet ja palvelusektori), maatalous, jätteet sekä maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous (LULUCF eli land use, land use change and forestry);
- odotettu edistyminen siirtymisessä vähäisten kasvihuonekaasupäästöjen talouteen, mukaan lukien kasvihuonekaasuintensiteetti, bruttokansantuotteen hiilidioksidi-intensiteetti, arviot niihin liittyvistä pitkän aikavälin investoinneista sekä tutkimus-, kehittämis- ja innovointistrategiat;
- siinä määrin kuin se on toteutettavissa hiilestä irtautumista koskevien toimenpiteiden odotettu sosioekonominen vaikutus, mukaan lukien muun muassa makroekonomiseen ja sosiaaliseen kehitykseen, terveysriskeihin ja -hyötyihin sekä ympäristönsuojeluun liittyvät näkökohdat;
- yhteydet muihin kansallisiin pitkän aikavälin tavoitteisiin, suunnitelmiin ja muihin politiikkoihin ja toimenpiteisiin ja investointeihin.

¹ EU 2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/1999, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FT/XT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>

² Ministry of Economic Affairs and Employment 2018. Finland's Integrated National Energy and Climate Plan. Draft version submitted to the European Commission. 20 December 2018 (Unofficial translation). <https://tem.fi/documents/1410877/2132096/Suomen+NECP-luonnos+20.12.2018/318af23e-ad07-a984-71cf-c439966306b7/Suomen+NECP-luonnos+20.12.2018.pdf>

Tässä hankkeessa, Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (PITKO), laadittiin vaihtoehtoisia vähäpäästöpolkuja vuoteen 2050 asti ja laadittiin kullekin polulle laskennalliset ja laadulliset vaikutusarviot. PITKO-hanke toteutettiin osana valtioneuvoston vuoden 2018 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi) yhteistyössä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n, Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Merit Economics:n kanssa. Lisäksi PITKO-hanke on tehnyt yhteistyötä rinnakkaisen MALULU (Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050) -hankkeen kanssa. PITKO-hankkeen kokonaisuudesta vastasi VTT ja MALULU-hankkeesta Luonnonvarakeskus (Luke). Tässä raportissa on esitetty yhteenveto PITKO-hankkeen laskennallisista ja laadullisista tuloksista. Kokonaispäästökehitysarvioissa hyödynnettiin MALULU-hankkeen tuloksia³ erityisesti liittyen maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsänielujen kehitykseen. Sekä PITKO- että MALULU-hankkeet käynnistyivät heinäkuussa 2018 ja työ toteutettiin pääosin elo-joulukuun 2018 aikana.

PITKO-hankkeen keskeinen tavoite oli arvioida, mikä on Suomelle sopiva päästövähennystavoite vuodelle 2050 ja mitkä ovat keskeiset toimialakohtaiset etenemisvaihtoehdot tavoitteen saavuttamiseksi. Tätä varten biotalouden ja puhtaiden ratkaisujen ministerityöryhmä asetti syyskuussa 2018 PITKO-hankkeen laskelmien lähtökohdaksi, että Suomi vähentää vuoteen 2050 mennessä kasvihuonekaasupäästöjään 85–90 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. LULUCF-sektorille ei sen sijaan asetettu laskelmissa erillistä tavoitetta, vaan kokonaispäästökehitys arvioitiin laskelmien tuloksena.

Lokakuussa 2018 hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC) julkaisi raportin⁴, jonka tavoitteena oli selvittää, mitä Pariisin ilmastopöytäkirjaan kirjattu 1,5 asteen tavoite käytännössä tarkoittaa. Raportin keskeinen viesti oli, että nykyiset EU:n saati globaalit lupaukset KHK-päästöjen vähentämisestä eivät ole riittäviä, jotta Pariisin sopimuksen tavoitteet voitaisiin saavuttaa. PITKO-hankkeen laskelmien lähtökohdat oli kuitenkin määritetty ennen raportin julkistusta, joten laskelmien lähtökohtia ei ole määritetty siten, että Suomi ja EU toteuttaisivat 1,5 asteen tavoitteen osana globaalia 1,5 asteen hillintätavoitetta. Eroavuudet ilmenevät lähinnä aikajakson 2030–2040 kunnianhimon tasossa ja mahdollisesti myös vuotta 2050 koskevan tavoitteen tasossa. Esimerkiksi Suomen ilmastopaneelin arvion⁵ mukaan KHK-päästöjä tulisi vähentää huomattavasti enemmän ja nopeammin kuin mitä hallituksen energia- ja ilmastostrategiassa sekä KAISU:ssa on linjattu. PITKO-hankkeessa tätä ei huomioitu, vaan lähtökohtaisesti vaihtoehtoiset vähäpäästöskenaariot toteuttivat EU-alueen vuodelle 2050 asetetun 80–95 %:n päästövähennystavoitteen (vuoden 1990 tasoon verrattuna) kustannustehokkaan polun mukaisesti.

Hallintomalliasetuksen lisäksi kansallisessa ilmastolaissa⁶ säädetään ilmastopolitiikan suunnitelmien laatimisesta sekä niiden täytäntöönpanon varmistamisesta. Sekä hallintomalliasetus että ilmastolaki edellyttävät, että yleisöllä tulee olla mahdollisuus tutustua ja esittää mielipiteensä suunnitelmaluonnoksista. PITKO-hankkeessa vaihtoehtoisten vähäpäästöskenaarioiden laadinta perustui laajan asiantuntijajoukon kuulemiseen ja yhteistyöhön. Syys-joulukuun 2018 aikana järjestettiin kolme työpajaa ja lisäksi hankkeen alustavia tuloksia on esitetty internetissä (<https://www.vtt.fi/sites/pitko/>). Kansalaisten näkemyksiä haarukoitiin myös laajalla kuluttajakyselyllä.

³ Aakkula, J, Asikainen, A, Kohl, J, Lehtonen, A, Lehtonen, H, Ollila, P, Regina, K, Salinen, O, Sievänen, R & Tuomainen, T (2019). Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 20/2019.

⁴ IPCC (2018). Global Warming of 1.5 °C. Special Report. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

⁵ Suomen Ilmastopaneeli (2018). Ilmastopaneelin näkemykset pitkän aikavälin päästövähennystavoitteen asettamisessa huomioon otettavista seikoista. Ilmastopaneelin muistio asunto-, energia ja ympäristöministeri Kimmo Tiilikaisen pyyntöön. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/Ilmastopaneelin-muistio_hyvaksvty_4.6.2018.pdf

⁶ FINLEX (2015). Ilmastolaki. 609/2015 <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>

1.2. Tutkimusmenetelmät ja tausta-aineistot

Kansallinen integroitu energia- ja ilmastosuunnitelma perustuu kansalliseen energia- ja ilmastostrategiaan vuodelta 2016⁷ ja keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaan (KAISU) vuodelta 2017⁸. Hallintomalliasetuksen mukaan vähäpäästöisyyttä koskevien pitkän aikavälin strategioiden sekä integroitujen kansallisten energia- ja ilmastosuunnitelmien on oltava keskenään johdonmukaiset. Näin ollen PITKO-hankkeen vähäpäästöskenaarioiden lähtökohtana olivat energia- ja ilmastostrategiassa sekä KAISU:ssa laaditut linjaukset ja toimet vuoteen 2030 asti. Osana valtioneuvoston vuoden 2016 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa laadittiin sekä energia- ja ilmastostrategialle että KAISU:lle vaikutusarviot yhteistyössä VTT:n, SYKE:n Luken, Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksen sekä Helsingin yliopiston kanssa^{9,10}. Kyseisissä vaikutusarvioissa analyysit pohjautuivat kahden skenaarion vertailuun, eli perusskenaariota nimeltään WEM (With Existing Measures), jota verrattiin politiikkaskenaarioon WAM (With Additional Measures). WEM-skenaario oli lähtökohtana myös PITKO-hankkeen perus (l. referenssi) -skenaarion laadinnassa. Varsinaista politiikkaskenaariota ei laadittu, vaan viisi vähäpäästöskenaariota, joiden määrittelyt on esitetty luvuissa 2 ja 4. Yksi vähäpäästöskenaarioista (EU-80%) laadittiin kuitenkin siten, että se on vertailukelpoinen WEM-skenaarioon nähdessä (ks. luku 2.2).

Vuonna 2013 pääministeri Kataisen hallitus asetti parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean (PEIKKO) laatimaan Suomelle energia- ja ilmastotiekartan 2050. PEIKKO-komitean työtä tuki VTT:n koordinoima Tekes-rahoitteinen (nyk. Business Finland) Low Carbon Finland 2050 platform -hanke (LCFinPlat, ks. <http://www.lowcarbonplatform.fi/>), jonka tuottamia skenaariolaskelmia ja muita analyysejä hyödynnettiin energia- ja ilmastotiekartan taustaselvityksenä^{11,12}. LCFinPlat-hankkeen kokemuksia ja tuloksia hyödynnettiin PITKO-hankkeen tausta-aineistoina.

LCFinPlat-hankkeessa muodostettiin ns. yhteistoimintamalli, jonka avulla voidaan monitieteellisesti tuottaa vaihtoehtoisia skenaarioita ja arvioida Suomen polkuja saavuttaa vähäpäästötavoite vuoteen 2050 mennessä. Yhteistoimintamallin osa-alueita hankkeessa olivat työpaikkojen sarja, asiantuntijoille ja kuluttajille suunnatut kyselyt sekä eri toimijatahoille pidetyt esittely- ja keskustelutilaisuudet. LCFinPlat-hankkeessa vähäisemmälle huomiolle jäivät erityisesti maatalouden ja alueellisen kehityksen (ml. kaupungit) arvioinnit. Hankkeessa ei myöskään arvioitu maankäyttösektorin ilmastotavoitteita eikä vaihtoehtoisten vähäpäästöpolkujen vaikutuksia ympäristöön eikä ihmisten terveyteen tai hyvinvointiin.

LCFinPlat-projektin kesto oli noin 2,5 vuotta, jonka aikana järjestettiin kolme työpajaa, jonne kutsuttiin laajalti sidosryhmiä, asiantuntijoita ja hankkeen ulkopuolisia tutkijoita. Hankkeen verrattain pitkä kesto ja suurehko resurssit mahdollistivat erityisesti laskennallisen skenaariotyön iteratiivisen lähestymistavan. Vähähiiliskenaariorien välituloksia esiteltiin työpajoissa,

⁷ Työ- ja elinkeinoministeriö (2017). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja – Energia – 4/2017. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁸ Ympäristöministeriö (2017). Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. Kohti ilmastoviisasta arkea. Ympäristöministeriön raportteja 21/2017. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra_21_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁹ Koljonen ym. (2017). Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017 http://vnk.fi/documents/10616/3866814/21_Energia-ja-ilmastostrategian-vaikutusarviot+Yhteenvetoraportti/40df1f5f-c99c-47d1-a929-a4c825f71547?version=1.0

¹⁰ Koljonen ym. (2017). Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman vaikutusarviot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 57/2017. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80284/57_Keskipitkan%20aikavalin%20ilmastopolitiikan%20suunnitelman%20vaikutusarviot.pdf?sequence=1&isAllowed=y

¹¹ Koljonen, T., Similä, L., Lehtilä, A. ym. (2014). Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät. Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä. VTT TECHNOLOGY 167.

¹² 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.

ohjausryhmän kokouksissa ja muissa tilaisuuksissa. Saadun palautteen perusteella vähähiiliskenaarioiden lähtöoletuksia ja reunaehtoja muokattiin useita kertoja, joten myös mallinnuksen laskentakierroksia oli useita. PITKO-hankkeen kesto oli ainoastaan reilu puoli vuotta, minkä vuoksi päädyttiin hyödyntämään mahdollisimman pitkälti LCFinPlat-hankkeen tuloksia. PITKO-hankkeen skenaariot pohjautuivat siten LCFinPlat-hankkeessa luotuun skenaariomatriisiin, jossa skenaariot luotiin pohjautuen Datorin¹³ esittämään neljään ”perusskenaarioon”:

- Jatkuva kasvu (Continued growth)
- Romahdus (Societal collapse)
- Säästö (Conserve society)
- Muutos (Transformation society).

LCFinPlat-hankkeessa todettiin, että Romahdus-skenaario ei ole johdonmukainen vähähiiliskenaarion ”tarina”, joten tämä niin sanottu riskiskenaario muutettiin lopulta Pysähdys-skenaarioksi. PITKO-skenaariomatriisi muodostettiin Jatkuvan kasvun, Pysähdyn, Säästön ja Muutoksen ”hengessä”, mutta PITKO-työpajoissa skenaariotarinoille luotiin uutta sisältöä, joka kuvastaa paremmin nykytietoa tulevaisuuden mahdollisuuksista ja haasteista (ks. luku 4).

PITKO:n vähäpäästöskenaarioiden muodostamisessa ja analysoinnissa käytettiin sekä laadullisia että laskennallisia menetelmiä. Laadullisia menetelmiä on kuvattu luvuissa 4.1 ja 9, joissa on kuvattu työpajaprosessi ja käytetyt ennakointimenetelmät sekä SOVA, eli vaikutukset ympäristöön. Lisäksi PITKO:ssa toteutettiin kansalaisille kohdennettu kyselytutkimus, jonka menetelmäkuvaus on esitetty luvussa 8. Laskennalliset analyysit perustuivat energiajärjestelmän osittaistasapainomallinnukseen ja kansantalouden tasapainomallinnukseen. Lisäksi rakennuskannan kehityksen mallinnukseen käytettiin VTT:n REMA-mallia. Laskennallisista malleista on esitetty lyhyt kuvaus alla, ja tarkemmat tiedot löytyvät tieteellisistä artikkeleista ja muista julkisista raporteista, joiden viitteet on esitetty mallikuvausten ja lähtötietoja taustoittavien lukujen yhteydessä.

1.3. TIMES-VTT energiajärjestelmämalli

PITKO-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^{14,15}, joka pohjautuu IEA TIMES-mallinnusjärjestelmään¹⁶. 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 investointivaihtoehtojen teknologioista.

¹³ Dator, J. (1981). Judging the future. University of Hawaii.

¹⁴ Loulou R (2008). ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part II: Mathematical formulation. Computational Management Science, 5(1–2):41–66.

¹⁵ Loulou R, Labriet M (2008). ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure. Computational Management Science 5(1–2): 7–40.

¹⁶ Loulou R, Remme U, Kanudia A, Lehtilä A, Goldstein G (2016). Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP). http://iea-etsap.org/docs/Documentation_for_the_TIMES_Model-Part-I_July-2016.pdf

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, energiantensiivisten 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. Malli sisältää myös laajan tietokannan ja kuvauksen tulevaisuuden investointivaihtoehtojen teknologioista mukaan lukien arviot kustannusten sekä teknisestä kehityksistä (mm. energiantuotannon hyötysuhteet, käyttöikä, käytettävyyttä). 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^{17,18,19}.

Energiajärjestelmämallin tuloksena saadaan sellaisen hankinta- ja loppukäyttöjärjestelmän kehitys, jolla hyötyenergian kysyntä voidaan tyydyttää mahdollisimman kustannustehokkaasti, ottaen huomioon muun muassa 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.

TIMES-VTT-mallissa on kuvattuna kaikki Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähennysteknologiat ja/tai menetelmät. Näin ollen skenaariotarkasteluissa päästöjen vähennykset toteutetaan kaikilla KHK-päästösektoreilla (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;
- energiantensiivisen 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.

¹⁷ 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.

¹⁸ 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.

¹⁹ Lehtilä, A & Koljonen, T (2018). Pathways to Post-fossil Economy in a Well Below 2°C World. In: *Lect. Notes Energy*, Vol. 64, George Giannakidis et al. (Eds): *Limiting Global Warming to Well Below 2°C: Energy System Modelling and Policy Development*.

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. Ne perustuvat Tilastokeskuksen IEA:lle toimittamiin tilastoihin, mutta ovat laskentatavaltaan hieman kansallisesta energiatilastoinnista poikkeavia.

1.4. Rakennuskannan energialaskennan 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 tulevaa kehitystä arvioidaan perustuen uudisrakentamisen, korjausrakentamisen ja vuosittaisen poistuman arvioituille määrille. Rakennuskanta on jaoteltu mallissa seuraaviin käyttötarkoituksiin:

- omakotitalot
- rivi- ja asuinkerrostalot
- palvelurakennukset
- kesämökit

Näistä palvelurakennukset sisältää seuraavat Tilastokeskuksen käyttämät rakennustyyppit: lii-kerakennukset, toimistorakennukset, liikenteen rakennukset, hoitoalan rakennukset, kokoon-
tumisrakennukset ja opetusrakennukset. Rakennukset on edelleen jaettu ikäluokkiin rakenta-
misajan mukaan:

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

REMA-mallissa tyyppirakennusten energiankulutukset voidaan johtaa tilastotiedoista, arvioida tai saada simuloituista rakennuksista. Tässä tapauksessa nojaututtiin olemassa olevan rakennuskannan osalta Tilastokeskuksen (2018)²⁰ sekä aiempien tutkimusten (mm. Tuominen ym. 2012²¹ ja Tuominen ym. 2013²²) tietoihin ja uusien rakennusten osalta Suomen ympäristökeskuksen julkaisemaan rakennusten energiankulutuksen perusskenaarioon (Matti-
nen ym. 2016²³). Näin muodostetusta perusskenaariosta on saatu muut skenaariot muunte-
lemalla niitä skenaarion taustatarinaan sopivaksi. Tarkempi kuvaus REMA-mallista on julki-
sesti saatavilla (Tuominen ym. 2014²⁴).

²⁰ Tilastokeskus (2018): Energian hankinta ja kulutus. <https://www.stat.fi/til/ehk/index.html>

²¹ Tuominen, P., Klobut, K., Tolman, A., Adjei, A., De Best-Walder, M. (2012): Energy savings potential in buildings and overcoming market barriers in member states of the European Union. *Energy and Buildings* 51, pp. 48-55.

²² Tuominen, P., Forsström, J., Honkatukia, J. (2013): Economic effects of energy efficiency improvements in the Finnish building stock. *Energy Policy* 52, pp. 181-189.

²³ Mattinen, M.; Heljo, J.; Savolahti, M (2016): Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2016.

²⁴ 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.

1.5. Kansantalouden FINAGE-malli

Energia- ja ilmastopoliittisten toimien vaikutuksia Suomen kansantalouteen arvioitiin kansantaloutta kuvaavan laskennallisen tasapainomallin avulla. Tasapainomalli kuvaa taloutta lähtökohtanaan kotitalouksien, yritysten ja julkisten sektoreiden päätökset. Kotitalouksien keskeisiä päätöksiä ovat kulutus ja säästämisspätökset sekä työn tarjonta. Yritykset päättävät tuotantopanosten – työn, pääoman ja välituotteiden – käytöstä sekä investoinneista. Julkisten sektoreiden toimintaa kuvaavat ennen kaikkea erilaiset verotuksen rakenteet sekä tulonsiirrot kotitalouksille ja toisille julkisille toimijoille. Ulkomaita tarkastellaan lähinnä viennin ja tuonnin näkökulmasta, mutta lisäksi mallissa seurataan kansantalouden ulkoisen velan ja varallisuuden kehittymistä. Pitkän aikavälin tarkastelussa ulkoinen tasapaino nousee jopa määrääväksi. Kysynnän ja tarjonnan tasapaino toteutuu hintamekanismien kautta.

Tasapainomallein tehtävä vaikutusarviointi vertaa politiikkatoimenpiteiden vaikutuksia talouden kehityksen perusskenaarioon, jossa tulevaisuutta peilataan nykykäsitykseen maailmanmarkkinoiden ja kotimaisen talouden kehityksestä. Kehitykseen vaikuttavasta politiikasta tehdään yleensä ”business-as-usual”-oletus eli jo tehdyt politiikkapäätökset otetaan huomioon. Usein tämäkin vaatii tulevaisuudessa toteutettavan politiikan vaikutuksien huomioimista. Suomen talouden kehityksen kannalta tekeillä on useita uudistuksia, jotka vaikuttavat merkittävästi talouden kasvupotentiaaliin lähivuosina.

Luvussa 6 on esitetty FINAGE-mallin lähestymistapaa kansantalouden skenaarioiden laskennassa sekä taustoitettu mallin käyttämää tietopohjaa ja lähtötietoja PITKO-skenaarioiden vaikutusarvioinneissa.

2. VERTAILUSKENAARION (WEM) JA VÄHÄPÄÄSTÖSKENAARIOIDEN LÄHTÖKOHTIEN JA KESKEISTEN OLETUSTEN MÄÄRITTELYT

Tiina Koljonen, Antti Lehtilä, VTT

Keskeinen lähtökohta energia- ja ilmastopolitiikkatoimien ja/tai strategioiden vaikutusten arvioinnissa on vertailuskenaarion, eli ns. referenssiskenaarion tai perusuran määrittely. Vertailuskenaarioon sisällytetään analyysien tekohetkellä voimassa olevat politiikat sekä tiedossa olevat päätetyt toimet (esim. verot, tuet, rajoitukset ja kiellot).

Alla on esitetty PITKO-työssä laaditun vertailuskenaarion lähtökohdat. Lisäksi on esitetty vähäpäästöskenaarion oletukset, jossa on huomioitu Suomen ja EU:n päätetyt KHK-päästötavoitteet vuoteen 2050 asti. Vertailuskenaario perustuu energia- ja ilmastostrategian sekä keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (KAISU) puitteissa laaditun vertailuskenaarion lähtökohtiin ja se on nimetty WEM (With Existing Measures) -skenaarioksi. Vuoteen 2050 ulottuvan politiikkaskenaarion lähtökohtana on myös energia- ja ilmastostrategiassa sekä KAISU:ssa määritellyt toimet vuoteen 2030 asti ja vuodelle 2050 asetettu vähintään 80 %:n KHK-päästöjen vähennys vuoden 1990 päästöihin verrattuna. Tämä skenaario on nimetty PITKO:ssa EU-80% -skenaarioksi.

WEM- ja EU-80%-skenaarioiden lisäksi PITKO-hankkeessa laadittiin neljä vaihtoehtoista vähäpäästöpolkua, joiden lähtökohdat on esitetty luvussa 4. Tässä yhteydessä tulee kuitenkin huomata, että näissä neljässä polussa oletetaan merkittäviä muutoksia Suomen yhdyskunta- ja elinkeinorakenteeseen sekä koko talouden rakenteeseen, minkä vuoksi niiden kuvaama yhteiskuntakehitys poikkeaa olennaisesti siitä, joka toteutuu WEM-skenaariossa.

2.1. Vertailuskenaario (WEM)

WEM-skenaarion oletuksia vuoteen 2030 asti on kuvattu energia- ja ilmastostrategian²⁵ ja KAISU:n²⁶ selontekoraporteissa sekä vaikutusarvioiden yhteenvetoraporteissa^{27,28}. WEM-skenaariossa oletetaan, että Suomi saavuttaa kansalliset energia- ja ilmastopolitiittiset vuodelle 2020 asetetut tavoitteet, jotka pysyvät muuttumattomina voimassa myös vuoden 2020 jälkeen. Taakanjakosektorin päästöjä vähennetään 16 % vuoden 2005 päästöistä, mikä vastaa päästöissä 28,4 Mt CO₂-ekv. vuonna 2020. WEM-skenaariossa muun EU:n oletetaan saavuttavan vuodelle 2030 asetetut KHK-päästötavoitteet. Näin ollen WEM-skenaariossa EU-tason KHK-päästötavoite vuonna 2030 on -40 % vuoden 1990 päästöihin verrattuna.

²⁵ Työ- ja elinkeinoministeriö (2017). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja – Energia – 4/2017. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y

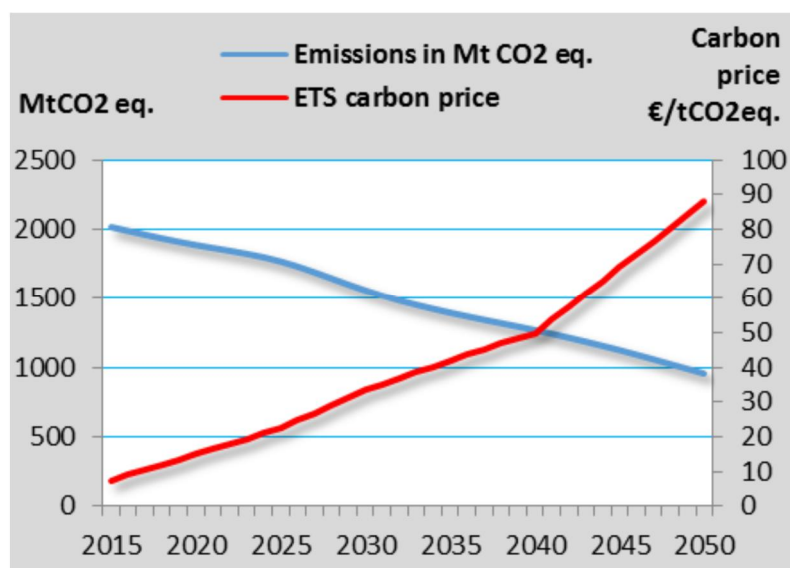
²⁶ Ympäristöministeriö (2017). Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. Kohti ilmastoviisasta arkea. Ympäristöministeriön raportteja 21/2017. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra_21_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

²⁷ Koljonen ym. (2017). Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017 http://vnk.fi/documents/10616/3866814/21_Energia-ja-ilmastostrategian-vaikutusarviot+Yhteenvetoraportti/40df1f5f-c99c-47d1-a929-a4c825f71547?version=1.0

²⁸ Koljonen ym. (2017). Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman vaikutusarviot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 57/2017. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80284/57_Keskipitkan%20aikavalin%20ilmastopolitiikan%20suunnitelman%20vaikutusarviot.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Päästökaupasektorille ei oleteta erillistä kansallista tavoitetta, vaan ohjaus tapahtuu päästöoikeuden hinnan kautta. Keskeinen WEM-skenaarion oletus on päästöoikeuden hintaura vuoteen 2050 asti, joka noudattaa komission ohjeistusta. Komission ohjeistuksen²⁹ mukaan päästöoikeuden hinnan oletetaan kiristyvän vuoden 2020 jälkeen. Päästöoikeuden hinnaksi on oletettu 15 €/t CO₂ vuonna 2020 ja 30 €/t CO₂ 2030. Vuonna 2050 päästöoikeuden hinnan on oletettu nousevan 90 €/t CO₂ -tasolle. Alla on esitetty päästöoikeuden hintaura, joka perustuu ns. PRIMES-referenssiskenaarioon vuodelta 2016³⁰. EU:n päästökaupassa päästöoikeuden hinta pysyi pitkään hyvin alhaisena, mutta vuodesta 2017 lähtien päästöoikeuden hinta on noussut ja vuoden 2019 alusta lähtien päästöoikeuden hinta on ollut yli 20 €/t CO₂³¹. Näin ollen WEM-skenaariossa päästökaupasektorin KHK-päästöt voivat kääntyä hieman nopeampaan laskuun vuosina 2020–2030 kuin mitä PITKO-laskelmien mukaan esitetään. Toisaalta vuoden 2040 jälkeen PRIMES-referenssiskenaarion päästöoikeuden hinnat lähtevät jyrkkään nousuun, joten vuoteen 2050 ulottuviin skenaariotuloksiin jakson 2020–2030 alhaiset CO₂-hintaoletukset eivät juurikaan vaikuta.

Kuva 1. WEM-skenaarion päästöoikeuden hintaura vuoteen 2050 (punainen viiva) ja EU-alueen kasvihuonekaasupäästöt (sininen viiva)³⁰.



Keskeisimpiä muita WEM-skenaarion lähtökohtia vuosien 2015–2030 aikavälille ovat oletukset bruttokansatuotteen kasvusta ja väestönkehityksestä. Suomen talouden oletetaan kasvavan 2–3 % vuodessa ja talouden rakenteen muuttuvan palveluvaltaisemmaksi. Oletukset eri teollisuudenalojen kasvuvauhdista vaihtelevat tyypillisesti 1,5 ja 3 %:n välillä ja ne on raportoitu yksityiskohtaisesti VATT:n raportissa politiikkatoimien vaikutuksista Suomen talouteen³².

WEM-skenaarioissa Suomen väestön oletettiin kasvavan noin 5,8 miljoonaan vuoteen 2030 mennessä. Tuoreimman Tilastokeskuksen ennusteen mukaan kasvu oletetaan maltillisemmaksi³³, mutta tätä ei pystytty huomioimaan PITKO-hankkeen laskelmissa, koska WEM-skenaarion lähtöoletukset määritettiin ennen uuden ennusteen ilmestymistä.

²⁹ EU (2018). Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusta (EU) 2018/1999, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnasta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>

³⁰ European Commission (2016). EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf

³¹ Ks. <https://markets.businessinsider.com/commodities/historical-prices/co2-emissionsrechte/euro>

³² Honkatukia, J. & Lehmus, M. (2016). Suomen talous 2015-2030: Laskelmia politiikkatoimien vaikutuksista. VATT tutkimukset 183.

³³ Tilastokeskus, väestöennuste. <https://www.stat.fi/til/vaenn/index.html>

Väestön ikääntyminen ja kaupungistuminen jatkuvat. Uudisrakentaminen on noin kolme kertaa suurempaa kuin rakennuskannan poistuma. Yhteisvaikutus rakennuskantaan on noin 0,6 %:n vuosittainen lisäys.

Uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta oletetaan olevan vähintään 38 prosenttia vuosina 2030–2050. Uusiutuvan energian lisääminen jakautuu useille eri energiamuodoille: vesivoimassa tehdään pieniä tehonkorotuksia huomioiden suojelulait. Tuulivoiman tuotanto kasvaa yli 5 TWh:n vuoteen 2020 mennessä ja yli 6 TWh:n vuoteen 2030 mennessä. Aurinkosähkön ja -lämmön nykytuotet säilyvät, mutta investoinnit muuttuvat kustannustehokkaammiksi teknologian halventuessa. Uudesta ydinvoimasta on oletettu, että Olkiluoto 3 toimii täydellä kapasiteetilla vuonna 2020 ja Hanhikivi 1 toimii täydellä kapasiteetilla ennen vuotta 2030. Sähkön siirtoyhteydet naapurimaihin paranevat nykyisten investointisuunnitelmien mukaan. Energiatehokkuustavoitteelle ei ole oletettu sitovaa tavoiteprosenttia, vaan teollisuudessa energiatehokkuuden oletetaan paranevan 0,4–0,5 % vuodessa ja muilla sektoreilla toteutetaan erilaisia energiatehokkuustoimenpiteitä.

Liikenteen suoritteiden, ajoneuvokannan ja energiatehokkuuden on oletettu kehittyvän VTT:n LIPASTO-laskentatyökalun perusuran mukaisesti. Nykyinen biopolttonesteiden jakeluvelvoite säilyy vuoden 2020 jälkeen samalla tasolla kuin vuonna 2020. Sähköautoille ja biokaasuautoille ei myönnetä WEM-skenaariossa uusia tukia, mutta niiden määrä kasvaa markkinaehtoisesti siten, että vuonna 2030 henkilöautokannassa on 120 000 sähköautoa ja 15 000 kaasuautoa.

2.2. Vähäpäästöskenaario EU-80%

WEM-skenaariolle verrannollinen vähäpäästöskenaario EU-80% toteuttaa vuodelle 2030 asetetut energia- ja ilmastopoliittiset toimet ja vuoteen 2050 KHK-päästötavoite kiristyy 80 prosenttiin sekä Suomessa että koko EU-alueella. Näin ollen vuoden 2030 jälkeen KHK-päästöjen vähennys toteutuu TIMES-VTT-mallin optimoiman keinovalikoiman mukaisesti kustannustehokkuusjärjestyksessä. Alla on esitetty yhteenveto vuoden 2030 oletuksista perustuen energia- ja ilmastostrategian ja KAISU:n linjauksiin.

EU-80%-skenaarion lähtökohtana on toisaalta edellä esitetty EU:n Suomelle asettama taakanjakosektorin tavoite ja lisäksi energia- ja ilmastostrategiassa esitetyt linjaukset. Alla on esitetty ne linjaukset, joita on käytetty EU-80%-skenaarion lähtötietona tai jotka ovat vaihtoehtoisesti kvantitatiivisissa mallitarkasteluissa optimoinnin perusta. EU-80%-skenaarion samoin kuin KAISU-raportissa esitettyjen taakanjakosektorin toimien lähtökohtia ja tuloksia on esitetty tarkemmin seuraavissa luvuissa. Alla esitetty jaottelu perustuu energia- ja ilmastostrategian luvun kolme "Energia- ja ilmastostrategian poliittiset linjaukset" -jaotteluun. Luvussa 2.3 on lisäksi esitetty KAISU:ssa tarkennetut taakanjakosektorin taustaoletukset.

- Uusiutuvan energian käytön lisääminen ja energian hankinnan omavaraisuus: Suomelle 38 %:n vähimmäisosuus energian loppukulutuksesta vuonna 2020, ei sitovaa tavoitetta vuodelle 2030. Hallitusohjelmassa sekä energia- ja ilmastostrategiassa linjattuja 50 %:n uusiutuvan energian tavoitetta sekä 55 %:n omavaraisuustavoitetta tarkastellaan siten laskelmien tulosten perusteella. Investoinnit uusiutuvaan energiaan tapahtuvat laskelmissa kustannusjärjestyksessä lukuun ottamatta alla esitettyjä linjauksia liittyen bio-osuuden sekoitevelvoitteeseen ja uusiutuvaan sähköntuotantoon.

- Tuontiöljyn energiankäytön puolittaminen: Tuontiöljyn kotimaan käyttö on laskelmissa määritetty samoin kuin energia- ja ilmastostrategiassa, eli sillä tarkoitetaan Suomessa kulutukseen luovutetun fossiilisen moottoribensiinin, dieselin, lentobensiinin, kerosiinin sekä kevyen ja raskaan polttoöljyn kokonaisenergiämäärää. Vaikutusarvioissa lähtötietoina ovat linjaukset liittyen biokomponenttien sekoitevelvoitteisiin liikenteessä, rakennusten öljylämmityksessä ja työkoneissa ja tuontiöljyn puolittamista tarkastelleen laskelmien tulosten perusteella.
- Kivihiilen energiakäytöstä luopuminen: Kivihiilen käyttö vähenee merkittävästi jo WEM-skenaariossa vanhojen laitosten poistuman myötä. Investointeja uusiin kivihiiltä käyttäviin laitoksiin ei sallita ja kivihiilen käyttöä rajoitetaan myös monipolttoainekattiloissa. Kivihiilen käyttö sallitaan EU-80%-skenaariossa kuitenkin talven huipukulutustunteina. Kivihiilen samoin kuin muidenkin polttoaineiden verojärjestelmä on sama kuin WEM-skenaariossa.
- Puupohjainen energia: Metsähakesähkön tuotantotukijärjestelmä on voimassa vuoteen 2020. Skenaariotarkasteluissa sallitaan myös vähäisessä määrin metsähakeen ja muun puuperäisen polttoaineen tuontia rannikon energialaitoksille.
- Biokaasun tuotanto ja käyttö: Vaikutusarvioissa ei ole sitovaa tavoitetta biokaasun tuotannolle. Liikenteen kaasua käyttäville ajoneuvoille on sitova tavoite (ks. liikenteen linjaukset).
- Uusiutuviin energialähteisiin perustuvan sähkön ja lämmön tuet: Uusiutuvan sähkön tuotantokapasiteetin lisäys on 1,4 TWh vuosien 2018–2020 kilpailutuksen tuloksena. Sähkön pientuotanto on vapautettu sähköverosta omassa tuotannossa.
- Suomen taakanjakosektorin velvoite vuonna 2030 on 39 % KHK-päästövähennys (vertailuvuosi 2005). Velvoite laskee käytännössä 37 %:iin, kun Suomi käyttää 2 %-yksikköä ns. one-off-joustopa, jossa siirretään yksiköitä päästökaupan puolelta taakanjakosektorille. EU toteuttaa sille asetetut päästöjen vähennystavoitteet, eli 43 % päästökaupasektorin ja 30 % taakanjakosektorin osalta (vertailuvuosi 2005). Päästöoikeuden hintakehitys: sama kuin WEM-skenaariossa, eli 15 €/tCO₂ vuonna 2020 ja 30 €/tCO₂ vuonna 2030. Lisäksi mallinnuksessa on huomioitu, että F-kaasujen päästöjen vähennys on 0,2 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030.
- Liikenteen energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset käyttövoimat: Liikennejärjestelmän energiatehokkuus paranee siten, että saavutetaan noin 1 Mt KHK-päästövähennys vuonna 2030. Sähkökäyttöisten autojen määrä on vähintään 250 000 (täyssähköautot, vetyautot, ladattavat hybridit) ja vastaavasti kaasukäyttöisten autojen määrä on vähintään 50 000 vuonna 2030.
- Tieliikenteen biopolttoaineiden jakeluveto ja tarjonta: Biopolttoaineiden osuus tieliikenteen energiankulutuksesta nostetaan vuoden 2020 13,5 %:n energiasisältöosuudesta lineaarisesti 30 %:n osuuteen vuoteen 2030 mennessä. Lähtökohtana lisäkysynnän kattamiselle on oletettujen kotimaisten biojalostamoinvestointien toteutuminen. Laskelmissa on oletettu, että uuden jalostamokapasiteetin myötä uutta tuotantoa syntyy 600 000 ktoe/v, josta puolet käyttäisi raaka-aineenaan puuperäistä syötettä (metsähake, sahanpuru, jne.) ja puolet erilaisia jätteitä, tähteitä, lignoselluloosaa ja muita metsäteollisuuden sivutuotteita. Mallinnuksessa on mukana myös biopolttoaineiden kauppa.

- Muu öljyn käyttö: Otetaan käyttöön 10 %:n bionesteen sekoitusvelvoite rakennusten erillislämmityksessä käytettävälle kevyelle polttoöljylle ja työkoneiden dieselöljylle lineaarisesti vuosina 2020–2030.
- Nielupolitiikka: Vaikutusarvioissa ei ole huomioitu asetusehdotusta liittyen LULUCF-sektorin liittämiseen osaksi EU:n ilmasto- ja energiapakettia (l. ei vaikutuksia taakanjakosektorin tavoitteen määrittämiseen).
- Sähkö- ja kaasumarkkinat: Vaikutusarvioissa lähtökohtana on ollut nykyisenkaltaiset sähkö- ja kaasumarkkinat ja myös kaikkien muiden energiahyödykkeiden kauppa. Mallinnuksessa on huomioitu nykyiset siirtoyhteydet sekä päätetyt investoinnit maiden rajojen välillä. Mallinnuksessa on myös mukana erityisesti muiden Pohjoismaiden energiajärjestelmien kehitys, mutta myös muun Euroopan ja Venäjän kehitykset.
- Energiatehokkuus: Vaikutusarvioissa ei ole asetettu sitovaa energiatehokkuustavoitetta, vaan laskennallinen loppuenergian kulutuksen pieneneminen EU-80%-skenaariossa verrattuna WEM-skenaarioon kertoo eri sektorikohtaisten linjausten (esim. liikennettä ja rakennuksia koskevat) vaikutukset energiatehokkuuden paranemiseen. Vaikutusarvioissa suuri osa energian käytön tehostamisen toimista kuitenkin toteutuu jo WEM-skenaariossa nykyisistä politiikoista johtuen.

3. SUOMEN HIILINEUTRAALISUUSTAVOITE JA VAIHTOEHTOSET MÄÄRITTELYT

Sampo Soimakallio, Laura Saikku, Jyri Seppälä, SYKE, Tomi J. Lindroos, VTT

3.1. Pariisin sopimuksen ilmastotavoitteet

Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteena on pyrkiä pitämään maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa celsiusasteessa pyrkien 1,5 celsiusasteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna³⁴. Tavoitteeseen pääsemiseksi sopimusosapuolten tulisi pyrkiä kääntämään globaalit kasvihuonekaasujen päästöt laskuun niin pian kuin mahdollista ja saavuttamaan tasapaino ihmisten aiheuttamien päästöjen ja nielujen välille kuluvan vuosisadan jälkipuoliskon aikana³⁵. Pariisin ilmastosopimuksen mukaan tavoitteeseen tulisi pyrkiä oikeudenmukaisella tavalla, jossa huomioidaan maiden yhteiset mutta eriytetyt vastuut ja mahdollisuudet. Sopimuksessa ei kuitenkaan määritellä tarkemmin yhdenkään valtion vastuita tasapainon saavuttamiseksi.

3.2. Hiilineutraaliusmääritelmä

Päästöjen ja nielujen tasapainolla tarkoitetaan sitä, että vuosittain ihmistoiminnan aikaansaamat nielut poistavat hiiltä tai muita kasvihuonekaasuja ilmakehästä yhtä paljon kuin niitä ihmistoiminnan lähteistä pääsee ilmakehään, jolloin globaalisti ihmisperäisten päästöjen ja nielujen erotus (nettopäästötase) on nolla. Tasapaino voidaan saavuttaa päästöjä vähentämällä ja nieluja suojelemalla ja vahvistamalla. Määritelmä on kuitenkin luonnontieteellisesti hankala.

Monissa yhteyksissä käytetty termi hiilineutraalius tarkoittaa sitä, että hiilidioksidia vapautuu ilmakehään yhtä paljon kuin sitä sieltä poistuu³⁶. Pariisin sopimuksen tasapaino päästöjen ja nielujen välillä tarkoittaa kuitenkin kaikkia kasvihuonekaasuja, joten sopivampi termi tasapainolle olisi kasvihuonekaasuneutraalius. Eri kasvihuonekaasuilla on erilainen elinikä ja ominaisäteilypakote ilmakehässä. Toistaiseksi ilmastopolitiikassa raportoitavien kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutus on suhteutettu hiilidioksidiin käyttämällä 100 vuoden kumulatiivista säteilypakotetta (ns. GWP-kertoimia)³⁷. Hiilineutraalius tai kasvihuonekaasuneutraalius voidaan määritellä tarkoittavan GWP-kertoimilla painotettua hiilidioksidiekvivalentteina mitattua päästöjen ja nielujen vuotuista nollatasetta. Joissakin yhteyksissä tästä käytetään termiä ilmastoneutraalius, joka kuitenkin luonnontieteellisesti viittaa siihen, että kasvihuonekaasupäästöjen ja muiden ilmastoa lämmittävien tai viilentävien tekijöiden, kuten albedon, aerosolien ja nielujen yhteenlaskettu säteilypakote on tietyssä aikavälillä nolla. Tyypillisesti termillä hiilineutraalius viitataan yllä määriteltyyn kasvihuonekaasuneutraaliuteen³⁸.

Euroopan komission ”Puhdas maapallo kaikille” -vision mukaan EU:n tulee olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä³⁸. Tavoitteeseen EU pyrkii vähentämällä kasvihuonekaasujen päästöjä noin 90 % vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta ja kasvattamalla nieluja

³⁴ UNFCCC 2015. The Paris Agreement. Article 3. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

³⁵ UNFCCC 2015. The Paris Agreement. Article 4. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

³⁶ van Soest, H., den Elzen, M., Forsell, N., Esmeyjer, K., van Vuuren, D. 2018. Global and regional greenhouse gas neutrality. Implications of 1.5 °C and 2 °C scenarios for reaching net zero greenhouse gas emissions. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

³⁷ IPCC. Frequently asked questions. Q1-2-11. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>

³⁸ Euroopan komissio – lehdistötiedote 28.11.2018. Komissio haluaa Euroopasta ilmastoneutraalin vuoteen 2050 mennessä. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6543_fi.htm

noin 1,5-kertaiseksi vuoden 2015 tasoon verrattuna. Ilmastoneutraalius on näin ollen määriteltä kasvihuonekaasuneutraaliutena eri sektoreiden yhteenlaskettujen päästöjen ja nielujen välillä³⁹.

Muutamit valtiot tavoittelevat hiilineutraaliutta. Ruotsi on kansallisella lailla sitoutunut olemaan hiilineutraali maa vuonna 2045. Tällöin Ruotsin alueellisten kasvihuonekaasupäästöjen on oltava 85 % vuoden 1990 tasoa alhaisemmat. Loput 15 % voi Ruotsin kansallisen lain mukaan kattaa lisääntyneillä nieluilla, kansainvälisillä kompensatiotoimenpiteillä tai bioenergian kytketyllä hiilidioksidin talteenotolla ja varastoinnilla (bio-CCS I. BECCS⁴⁰).

Myös monet kaupungit ja kunnat Suomessa ja ympäri maailmaa ovat ilmoittaneet tavoittelevansa hiilineutraaliutta. Suomessa esimerkiksi Helsinki pyrkii hiilineutraaliksi vuonna 2035 ja Turku vuonna 2029. Suurin osa ulkomaisista kaupungeista pyrkii hiilineutraaliksi vuoteen 2050 mennessä, mutta jotkut aiemmin, kuten esimerkiksi Kööpenhamina (2025) ja Oslo (2030). Berliini tavoittelee ilmastoneutraaliutta vuoteen 2050 mennessä. Hiilineutraalius määrittää kaupunkien tavoitteissa lähes poikkeuksetta siten, että kaupunkien alueelliset kasvihuonekaasujen ja kompensatiolla tuotettujen päästövähennysten nettopäästöt ovat nolla. Kompensatioiden päästövähennykset voidaan toteuttaa alueen ulkopuolella. Suomen kaupunkien tavoitteissa on tyypillistä, että hiilineutraalisuuden tavoitteluun lasketaan alueen metsien hiilinielu sellaisenaan. Joidenkin kaupunkien tavoitteissa hiilineutraaliutta ei ole erikseen määriteltä, mutta termin käyttö viittaa edellä mainittuun tulkintaan.

Yksikään kaupunki ei pyri vähentämään omia päästöjään täysin nolnaan, vaan hiilineutraaliustavoitteisiin liittyy aina jonkinasteista päästöjen kompensointia. Kompensointitapoja on useita. Kompensointikeinoiksi on esitetty hiilen sidontaa, esimerkiksi kasvillisuuden nielun kautta. Tukholma mainitsee myös biohiilen. Adelaide mainitsee tarkemmin vielä metsityksen ja toimenpiteet hiilen sitomiseksi maaperään. Myös CCS mainitaan mahdollisuutena saada päästöjä kompensoitua. Tarkastelluista kaupungeista New York ja Austin mainitsevat päästökiintiöiden hankinnan (offset) kompensointikeinona. Mikään ulkomainen kaupunki ei mainitse kompensoivansa päästöjä jo olemassa olevilla nieluilla, mikä olisikin kyseenalaista (ks. tämän luvun viimeinen kappale). Ainakin Suomen kunnat ja ulkomaisista kaupungeista Kööpenhamina, Linköping ja Seattle aikovat kompensoida päästöjään tuottamalla uusiutuvaa energiaa yli oman tarpeensa. Päästöjen kompensointikäytännöt ovat monissa kaupungeissa vielä selvitysasteella.

Under2 koalition⁴¹ kuuluu yli 200 valtio- ja aluehallintoa, jotka tavoittelevat globaalin lämpötilan nousun rajoittamista kahteen asteeseen. Käytännössä kasvihuonekaasupäästöjä pyritään vähentämään 80–95 % vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta (tai 2 t CO₂ per henkilö / v). EU on vuonna 2009 ilmaissut vastaavan tavoitteen vuodelle 2050 ja se oli myös IPCC:n neljännen arviointiraportin tavoitehaarukka Annex I -maille⁴².

Jäljelle jäävien kasvihuonekaasupäästöjen kompensoiminen metsien hiilinieluilla tai alueen ulkopuolella tehtävillä päästövähennyksillä ei välttämättä täytä globaalissa tarkastelussa tavoiteltavaa hiilineutraaliuden määritelmää. Olemassa olevien metsien hiilinielujen hyväksi lukemisessa haasteeksi muodostuu se, että merkittävä osa metsien hiilinielusta on seurausta

³⁹ COM(2018) 773 final. A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.

⁴⁰ BECCS = bioenergy with carbon capture and storage

⁴¹ <https://www.theclimategroup.org/project/under2-coalition>

⁴² Gupta, S., D. A. Tirpak, N. Burger, J. Gupta, N. Höhne, A. I. Boncheva, G. M. Kanoan, C. Kolstad, J. A. Kruger, A. Michaelowa, S. Murase, J. Pershing, T. Saijo, A. Sari, 2007: Policies, Instruments and Co-operative Arrangements. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ilmakehän CO₂-pitoisuuden kasvusta, typpilannoituksesta ja kasvuolosuhteiden parantumisesta lauhkeilla ja boreaalisella vyöhykkeellä⁴³. Tämä osa hiilinielusta on IPCC:n skenaarioissa luettu kuuluvaksi ei-ihmistoimin aikaansaaduksi osaksi luonnollisia nieluja⁴⁴. Näin ollen metsänielujen käyttö päästöjen kompensaatiossa tulisi perustua vain ihmistoimin aikaansaatun osuuteen nieluista⁴⁵. Lisäksi metsien hiilinielujen pysyvyyteen liittyy epävarmuuksia. Hiilineutraaliuden tavoittelemisen alueen ulkopuolella tapahtuvia päästövähennyksiä hyväksi lukien ei puolestaan välttämättä johda globaalisti riittävän suuriin päästövähennyksiin.

3.3. Pariisin ilmastositimukseen tavoitteiden saavuttaminen

Pariisin ilmastositimuksessa ei sovittu tarkoista täsmällisistä tavoitteista, vaan kehityssuunnasta, johon pyritään. Tieteellisesti tarkasteltuna Pariisin ilmastositimukseen kirjatun selvästi alle kahden asteen tavoitteen saavuttamiseksi vaadittavaan päästökehitykseen sisältyy erilaisia epävarmuuksia. Tällaisia aiheutuu erityisesti siitä, tavoitellaanko pysymistä alle 1,5 asteen vai 2 asteen lämpenemisen rajoissa, ilmaston herkkyydestä kasvihuonekaasupitoisuuksille ja keskilämpötilan määrittämisestä.^{4, 46} Maapallon keskilämpötila nousee ilmastomallien mukaan tiettyyn rajaan saakka verrattain lineaarisesti kumulatiivisten hiilidioksidipäästöjen kanssa⁴⁷. Globaalien päästöjen vaadittavaa kehitystä tietyn lämpötilatavoitteen saavuttamisen suhteen voidaan tarkastella suuntaa-antavasti niin sanottujen hiilibudjettien avulla. Hiilibudjetti kertoo sen, kuinka paljon ihmiskunta voi vielä päästää hiilidioksidia ilmakehään, jotta lämpeneminen ei ylitä tiettyä rajaa. Hiilibudjetit ovat kuitenkin huomattavan epävarmoja. Esimerkiksi 1,5 asteen tavoitteen todennäköiseksi (66 prosentin todennäköisyydellä) saavuttamiseksi jäljellä oleva hiilibudjetti vaihtelee epävarmuuksineen eri tutkimuksissa noin -200 miljardista hiilidioksiditonista (eli gigatonnista) noin 800 miljardiin hiilidioksiditonniin. Alaraja-arvion mukaan budjetti on siis jo täyttynyt ja yläraja-arvion mukaan hiilibudjetti täyttyy vuoden 2017 päästötasolla vuonna 2038. IPCC:n koostaman parhaan arvion mukaan jäljellä oleva hiilibudjetti 1,5 asteen tavoitteessa pysymiseksi 66 %:n todennäköisyydellä olisi 420–570 miljardia hiilidioksiditonnia⁴⁷.

Hiilibudjettien määrittämiseen liittyvän epävarmuuden ja herkkyyden vuoksi niiden käyttökelpoisuutta on viime aikoina kyseenalaistettu. Tilalle on suositeltu globaalien nettonollapäästöjen tasapainoa (nielut yhtä suuret kuin päästöt) vuosien 2050–2100 välillä ja siihen johtavaa maakohtaista päästöpolkua⁴⁸. Rockström ym.⁴⁹ esittivät globaalin päästöpolun, jolla Pariisin sopimuksen tavoitteet voitaisiin saavuttaa. Jos fossiilisten polttoaineiden polttamisesta aiheutuvat päästöt vähentyisivät tämän polun mukaisesti, olisivat ne vuonna 2050 noin 6 miljardia hiilidioksiditonnia, eli noin 85 prosenttia vuoden 2017 tasoa alhaisemmat. Tämä on linjassa IPCC:n 1,5 asteen erikoisraportin⁴⁷ päästöpolkujen kanssa (pl. päästöpolku P4, jossa 1,5 asteen lämpeneminen ylitetään selvästi). Tällöin kumulatiiviset päästöt 2017–2100 olisivat noin

⁴³ Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, R. DeFries, J. Gallo-way, M. Heimann, C. Jones, C. Le Quéré, R.B. Myneni, S. Piao and P. Thornton, 2013: Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

⁴⁴ Grassi, G., House, J., Kurz, W.A., Cescatti, A., Houghton, R.A., Peters, G.P., Sanz, M.J., Viñas, R.A., Alkama, R., Arneeth, A. and Bondeau, A., 2018. Reconciling global-model estimates and country reporting of anthropogenic forest CO₂ sinks. *Nature Climate Change*, 8(10), pp.914-920.

⁴⁵ Mengis, N., Partanen, A.-I., Jalbert, J., Matthews, H. D.: 1.5 °C carbon budget dependent on carbon cycle uncertainty and future non-CO₂ forcing, *Sci. Rep.*, 8, 5381, doi:10.1038/s41598-018-24241-1, 2018.

⁴⁶ IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

⁴⁷ IPCC 2018. *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*.

⁴⁸ Peters, G.P., 2018. Beyond carbon budgets. *Nature Geoscience*, 11(6), p.378.

⁴⁹ Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N. and Schellnhuber, H.J., 2017. A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, 355(6331), pp.1269-1271.

850 miljardia hiilidioksiditonnia. 1,5 asteen tavoitteen saavuttamiseksi tarvittaisiin lisäksi vuosien 2017–2100 aikana nieluja noin 700 miljardia hiilidioksiditonnia⁴⁷. Päästöjen ja nielujen tasapaino saavutettaisiin noin vuonna 2050⁴⁷.

3.4. Mikä olisi EU:lle ja Suomelle oikeudenmukainen päästövähennystavoite vuonna 2050?

Kysymys siitä, minkälaista päästövähennystavoitetta voidaan pitää Suomelle sopivana tai riittävänä, riippuu siitä, minkälainen globaali tavoite asetetaan ja mitä pidetään oikeudenmukaisena kontribuutiona. Seuraavassa tarkastellaan sitä, mikä voisi olla suuruusluokaltaan oikeudenmukainen päästövähennystavoite EU:lle ja Suomelle vuonna 2050.

Suomen ilmastopaneeli⁵⁰ havainnollisti Suomelle oikeudenmukaista vuoden 2050 päästövähennystavoitetta globaalien hiilibudjettien, kolmen eri oikeudenmukaisuuskriteerin ja neljän erikokoisen kansallisen hiilinielun perusteella. Havainnollistuksessa hiilibudjetit määritettiin 1,5 asteen (0, 162, 300, 500 Gt CO₂) ja 2 asteen (762, 1000 Gt CO₂) tavoitteen perusteella ja oikeudenmukaisuuskriteereinä käytettiin tasajaon, maksukyvyn ja historiallisen vastuun periaatetta. Lisäksi Suomen nettoshiilinielujen arvioitiin olevan 13, 20, 27 tai 34 Mt CO₂. Hiilinielun arvioitiin olevan vaihdannainen päästöjen kanssa siten, että mitä suurempi hiilinielu on, sitä vähemmän päästöjä täytyy vähentää. Havainnollistuksessa Suomelle oikeudenmukainen päästövähennystavoite vuodelle 2050 vaihteli välillä 31 % ja 200 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. Selvityksessään Suomen ilmastopaneeli päätyi suosittamaan, että Suomen vuoden 2050 päästövähennystavoitteeksi asetettaisiin 85–100 % vuoden 1990 tasosta ja tavoitetta tukemaan asetettaisiin vaihteluväliä vastaava maankäyttösektorin nettonielu.

Myöhemmin vuonna 2018 Suomen ilmastopaneeli⁵¹ tarkensi aiempia hiilibudjettilaskelmiaan ottamalla IPCC:n uusimman arviointiraportin 1,5 asteen hiilibudjetin odotusarvon 570 Gt CO₂ (66 %:n saavuttamisen todennäköisyydellä) ja varioimalla laskelmissa vaihtokelpoista hiilinielua. Vaihtokelpoisella hiilinielulla tarkoitetaan luonnontieteellisen nielun ja poliittisesti sovitun vertailunielun välistä erotusta. Ottamalla lähtökohdaksi lineaarinen päästöjen vähennys, 13 Mt CO₂ vaihtokelpoinen nielu sekä -tasajako henkilöä kohden ja maksukyky päästövähennysten oikeudenmukaisuusperiaatteiksi, sai Suomen ilmastopaneeli Suomen päästövähennystavoitteeksi 110–130 %vuonna 2050 vuoden 1990 tasoon verrattuna. Tämä merkitsee 7–21 Mt CO₂ negatiivisia päästöjä (hiilidioksidin poistoa) vaihtokelpoisen nielun (13 Mt CO₂) lisäksi vuonna 2050. Suomen tulisi tällöin tuottaa nieluilla negatiivisiksi päästöyksiköiksi hyväksyttäviä poistumia noin 20–35 Mt CO₂ vuonna 2050.

Hiilibudjeteista johdetuille päästövähennystavoitteille vaihtoehtoinen tapa olisi johtaa päästövähennystavoitteet globaaleista poluista päästövähennyksille ja nielujenlisäyksille. Esimerkiksi soveltamalla tasajakoa henkilöä kohden Rockström ym. (2017)⁴⁹ hahmottelemiin päästöpolkuihin ja olettamalla vuoden 2050 väkiluvuksi maailmassa 10 miljardia, EU:ssa 490 miljoonaa ja Suomessa 6 miljoonaa, saadaan henkeä kohden lasketuksi päästötasoksi vuonna 2050 noin 600 kilogrammaa, mikä tarkoittaa EU:lle 294 ja Suomelle noin 4 miljardia hiilidioksiditonnia. Tämä tarkoittaa noin 95 %:n päästövähennystä vuoden 1990 tasosta.

Keskustelua siitä, kenen vastuulla ja millä keinoilla nieluja tulisi lisätä siten, että Pariisin sopimuksen ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa, ei ole Pariisin sopimuksen puitteissa aloitettu.

⁵⁰ Suomen ilmastopaneeli 2018a. Ilmastopaneelin näkemykset pitkän aikavälin päästövähennystavoitteen asettamisessa huomioon otettavista seikoista. Ilmastopaneelin muistio asunto-, energia- ja ympäristöministeri Kimmo Tiilikaisen pyyntöön, 4.6.2018.

⁵¹ Suomen ilmastopaneeli 2018b. Ilmastopaneelin näkemykset pitkän aikavälin päästövähennystavoitteen asettamisessa huomioon otettavista seikoista. Ilmastopaneelin muistio asunto-, energia- ja ympäristöministeri Kimmo Tiilikaisen pyyntöön, XX.12.2018.

Nielujen lisäysvaatimusten oikeudenmukainen jakaminen on vielä hankalampaa kuin päästö-
vähennysten oikeudenmukainen jakaminen. Nieluja voidaan tuottaa luonnollisin keinoin lisää-
mällä metsien ja maaperän hiilensidontaa. Lisäksi nieluja voidaan tuottaa teknisin keinoin esi-
merkiksi ottamalla hiilidioksidia talteen ilmakehästä tai biomassan polton savukaasuista ja
varastoimalla se pysyvästi pois ilmakehästä. Toistaiseksi ei ole kansainvälisesti sovittu,
kuinka paljon eri maiden metsien tai maaperän hiilensidonnasta katsotaan olevan ilmastopo-
liittisesti hyväksi luettavaa ilmastovelvoitteita täytettäessä tai luetaanko teknisin keinoin ai-
kaansaatua nielu hiilidioksidin talteen ottavan vai varastoivan valtion hyväksi.

Tarvittavien ihmistoimin lisättyjen nielujen määrää eri valtioille voidaan kuitenkin havainnollis-
taa johtamalla määrät globaalisti tarvittavista määristä. Olettamalla tarvittavien nielujen mää-
rän olevan 700 miljardia hiilidioksidintonna vuosina 2017–2100 ja jakamalla määrä tasan kai-
kille ihmisille (keskimäärin 9 miljardia), tulisi EU:n nielujen lisäysmääräksi (490 miljoonalla
hengellä) 38 miljardia tonnia, mikä on keskimäärin noin 450 miljoonaa hiilidioksidintonna vuo-
dessa. Määrä on noin 1,5-kertainen EU:n nykyiseen maankäyttösektorin nettonieluun verrat-
tuna. Suomelle nielujen tasajako tuottaisi noin 6 miljoonan tonnin vuosinieluvaatimuksen,
mikä on huomattavasti pienempi kuin Suomen nykyinen maankäyttösektorin nettonielu (hie-
man vajaa 30 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttintonna). Epäselvää on kuitenkin se, missä
määrin esimerkiksi EU tai Suomi voisivat kattaa nielujen lisäystarvetta maankäyttösektorinsa
toteutuvalla nettonielulla. Haasteena on erityisesti se, minkä osan maankäyttösektorin nie-
lusta voidaan katsoa olevan ilmastopoliittisin toimin aikaansaatua, minkälaiset mahdollisuudet
eri mailla on maankäyttösektorin nielun kasvattamiseksi ja miten nielun todentamiseen ja säi-
lyvyyteen liittyvät epävarmuudet hallitaan. Suomen nykyisestä metsänielusta merkittävä osa
johtuu todennäköisesti ilmastomuutoksesta, sillä vuosina 1970–2010 havaitusta puuston
kasvun lisästä arviolta 37 % johtuu ympäristömuutoksesta⁵², eikä nielun kasvattamiseen pyr-
kiviä ohjauskeinoja ole ollut käytössä.

⁵² Henttonen, H.M., Nöjd, P. and Mäkinen, H., 2017. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010—An analysis based on National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management*, 386, pp.22–36.

4. VAIHTOEHTOISTEN VÄHÄPÄÄSTÖPOLKUJEN MUODOSTAMINEN JA MÄÄRITTELYT

4.1. Työpajaprosessin kuvaus

Minna Halonen, Jouko Myllyoja, Anu Tuominen, Heidi Auvinen, Lassi Similä, Tiina Koljonen, VTT

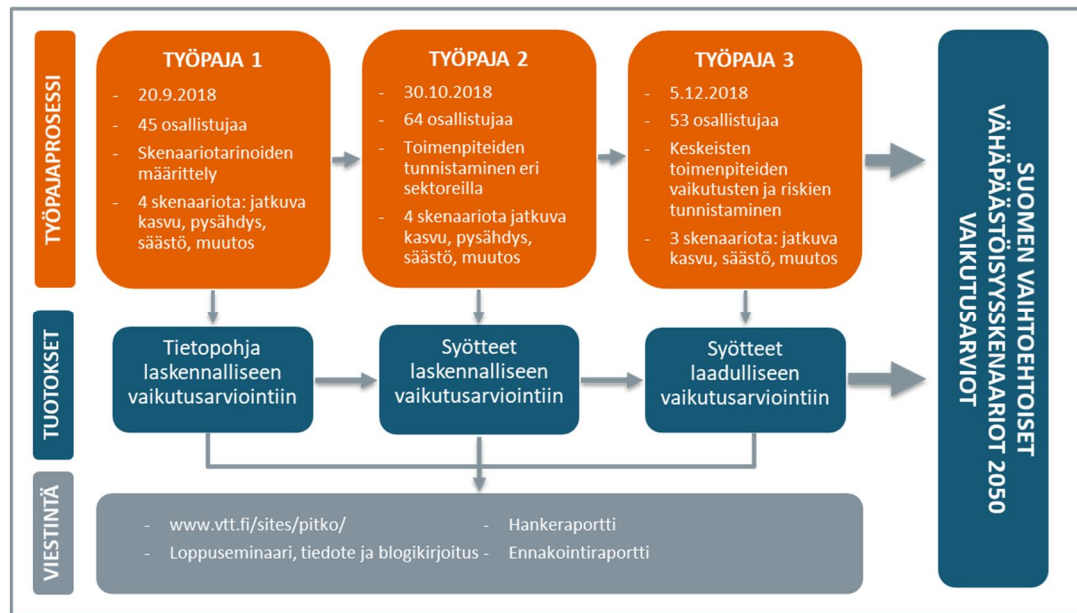
PITKO-hankkeessa tuotettujen selvitysten pohjaksi muodostettiin vaihtoehtoisia vähäpäästöskenaarioita, jotka kuvaavat erilaisia polkuja toteuttaa Suomen ja EU:n asettama vähäpäästötavoite vuoteen 2050 mennessä. Skenaarioiden laatimisessa hyödynnettiin menetelmäkonaisuutta, johon kuuluivat työpajoissa sovelletut osallistavan ennakkoinnin menetelmät sekä projektiin tutkijoiden toimesta tehty laskennalliset mallinnukset ja laadulliset analyysit. Tässä luvussa kuvataan PITKO-hankkeessa toteutettu kolmen työpajan sarja, jossa tuotettiin sisältöä vaihtoehtoisin vähäpäästöskenaarioihin⁵³. Työpajat palvelivat myös tavoitetta osallistaa laajasti eri sidosryhmiä hankkeeseen liittyvissä keskeisissä valinnoissa, mikä on skenaariotyöskentelyn keskeinen elementti paitsi keskeisen tietopohjan ja ymmärryksen lisäämiseksi myös keinona lisätä hyväksyttävyyttä esimerkiksi tässä tapauksessa vähäpäästötavoitteen asetannan näkökulmasta.

Työpajat järjestettiin syys-joulukuussa 2018 siten, että ensimmäinen työpaja järjestettiin 20.9.2018 VTT:llä Espoossa, toinen työpaja 30.10.2018 Paasitornissa Helsingissä ja kolmas työpaja 5.12.2018 Paasitornissa Helsingissä. Kaikki työpajat olivat kestoaltaan viiden tunnin tilaisuuksia. Työpajoihin kutsuttiin yhteensä noin 230 henkilöä lähes 90 organisaatiosta. Ensimmäiseen työpajaan kutsuttiin pääasiassa alan tutkijoita sekä energia- ja ilmastopolitiikan valmisteluun osallistuvia ministeriöiden edustajia. Toiseen ja kolmanteen työpajaan kutsuttiin edellisten lisäksi hankkeen aihepiiriin liittyvien järjestöjen (mm. ympäristöjärjestöt, toimiala- ja teollisuusjärjestöt, energian kulutus- ja tuotantosektorin järjestöt, alueelliset järjestöt) sekä yritysten edustajia. Työpajoihin osallistui yhteensä noin 90 eri henkilöä edustaen yhteensä yli 40 organisaatiota. Usea osallistuja osallistui 2–3 työpajaan.

Alla (Kuva 2) on esitetty kaaviokuva työpajaprosessista mukaan lukien työpajojen tuotokset ja viestintä eri vaiheissa. Kaaviokuvasta nähdään, että skenaarioiden muodostaminen sekä laskennalliset ja laadulliset analyysit toteutuivat osittain iteratiivisesti. Esimerkiksi laskennallisia arvioita päivitettiin koko hankkeen keston ajan, kun työpajoista saatiin uutta informaatiota.

⁵³ Kattavampi kuvaus ennakkointiprosessista on julkaistu ennakkointiraportissa PITKO-hankkeen kotisivuilla <https://www.vtt.fi/sites/pitko/aineistot>

Kuva 2. Työpajaproessin kuvaus.



PITKO-hankkeen ensimmäisen työpajan tavoitteena oli tunnistaa vaihtoehtoisten vähäpäästöskenaarioiden keskeisimmät elementit ja määrittellä ”skenaariotarinat”, eli polut, joilla Suomi voisi saavuttaa vuodelle 2050 asetetun ilmastotavoitteen. Käytetty lähtökohta perustui Datorin⁵⁴ esittämään teoriaan ja Low Carbon Finland 2050 -platform-hankkeessa muodostettuihin neljään vaihtoehtoiseen vähäpäästöskenaarioon. Ensimmäisen työpajan tulokset taustoittivat skenaarioiden yleisiä lähtökohtia vaihtoehtoisten poliittisten, teknologisten, taloudellisten sekä asumiseen, liikkumiseen, kulutustottumuksiin ja arvoihin liittyvien kehityskulkujen valitessa. Työpajan tuloksia täsmennettiin PITKO-hankkeen tutkijoiden toimesta, jotta laadullisista skenaarioista voitiin muodostaa laskennalliset analyysit. PITKO-hankkeen neljän vähäpäästöskenaariota: Jatkuva kasvu, Muutos, Säästö ja Pysähdys keskeiset elementit ovat:

- **Jatkuva kasvu:** Vähäpäästötavoitteet saavutetaan uuden teknologian kiihdytetyllä käyttöönotolla, ml. voimakas sähköistyminen, digitalisaatio ja teollisuuden uudistuminen. Viennin vauhdittamana Suomi saavuttaa taloudellisen menestyksen.
- **Muutos:** Ihmisten arvot ja ympäristötietoisuus mahdollistavat radikaalit muutokset. Vähäpäästötavoitteet saavutetaan yhteiskunnan merkittävän palveluvaltaistumisen, uusien teknologioiden käyttöönoton, ruokavaliomuutosten ja teollisuuden rakennemuutoksen avulla.
- **Säästö:** Kiertotalous, jakamistalous ja merkittävä energian käytön tehostuminen toimivat keskeisinä elementteinä vähäpäästötavoitteen saavuttamisessa. Maa- ja metsätalous toimivat kiertotalouden edistäjinä, kuten myös mineraaliöljypohjaisten tuotteiden korvaaminen uusilla biotuotteilla.
- **Pysähdys:** Epävakaa globaali kehitys hankaloittaa ja hidastaa kehitystä. Sosiaalinen eriarvoistuminen ja talouskasvu ovat heikkoa niin Suomessa kuin globaalistikin. Nykymuotoinen EU hajoaa ja Aasian asema vahvistuu. Suomi toteuttaa vähäpäästötavoitteensa, mutta vasta ”viime tipassa”.

⁵⁴ Dator, J. (1981). Judging the future. University of Hawaii.

Toisen työpajan tavoitteena oli tunnistaa toimenpiteitä ja keinoja vähäpäästötavoitteeseen pääsemiseksi. Lähtökohtina toimivat ensimmäisen työpajan tuottamat vaihtoehtoiset, laadulliset skenaariopolut sekä alustavat skenaariolaskelmat vertailuskenaariolle (WEM) ja vähäpäästöskenaariolle (EU-80%). Laskennallisten analyysien havainnollistamiseksi toisessa työpajassa esiteltiin lisäksi kaksi esimerkinomaista, luonteeltaan erilaista laskennallista vähäpäästöskenaariota ("LC-Bio" ja "LC-Tech"). LC-Bio kuvasti polkua, jossa panostus biotalouden on keskeinen elementti ja LC-Tech puolestaan korosti uuden teknologian nopeutettua käyttöönottoa ml. digitalisaatio. Keskeinen ero näiden kahden skenaarion välillä liittyi lisäksi hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin (CCS) ml. mahdollisuus hyödyntää negatiivisia päästövähennystoimia (l. bio-CCS). Ensimmäisen työpajan tulosten perusteella huomattiin, että työpajassa laaditut polut muistuttivat merkittävästi toisiaan, eli CCS:n käyttöönottoon ennen vuotta 2050 ei juurikaan uskottu ja toisaalta lähes kaikissa poluissa toistuivat biotalouden ja älykkään teknologian merkitykset. Jotta vaihtoehtoihin vähäpäästötarinoinhin saatiin riittävät erot, PITKO-hankkeen tutkijat työstivät tarinoita eteenpäin. Työpajan osallistujille jaettiin vaihtoehtoisten polkujen (Jatkuva kasvu, Muutos, Säästö ja Pysähdys) keskeisiä elementtejä kuvaava matriisi ja työpajassa ideoitiin taustamateriaalin avulla sektorikohtaisia toimenpiteitä ja keinoja, joilla vähäpäästötavoitteeseen voitaisiin päästä kunkin skenaarion reunaehdot huomioiden. Käsitellyt sektorit jaettiin neljään kokonaisuuteen, jotka olivat 1) maa- ja metsätalous, 2) asuminen ja liikenne, 3) teollisuus ja 4) energian tuotanto. Ensimmäisen ja toisen työpajan tulosten yhteenveto on esitetty alla (Taulukko 1).

Taulukko 1. Yhteenvedo vähäpäästöpolkujen määrittelyistä ensimmäisen ja toisen työpajan tulosten perusteella.

Teema	Jatkuva kasvu	Muutos	Säästö	Pysähdys
Ilmastopolitiikka, ilmastomuutos (globaali, EU)	1,5–2 °C -KHK-päästöuran mukainen globaali regulaatio, globaali metsitys; EU -80 % KHK-vähennys 1990-tasoon verrattuna	1,5–2 °C -KHK-päästöuran mukainen globaali regulaatio; EU -80 % KHK-vähennys 1990-tasoon verrattuna	2 °C -KHK-päästöuran mukainen globaali regulaatio; EU -80 % KHK-vähennys 1990-tasoon verrattuna	2–3 °C -KHK-päästöuran mukainen alueellinen regulaatio; EU -80 % KHK-vähennys 1990-tasoon verrattuna
Suomen ilmastopolitiikka, metsänielut/metsien käyttö, negatiiviset KHK-päästövähennyskeinot (1. työpajan tulokset)	KHK-päästövähennys -87,5 %, metsänielujen rooli korostuu => tiukka nielupolitiikka, CCS ei sallittu ml. BECCS	KHK-päästövähennys -87,5 %, metsänielujen rooli korostuu, CCS sallittu rajoitetusti ml. BECCS	KHK-päästövähennys -90%, CCS käytössä laajasti ml. BECCS	KHK-päästövähennys -85%, mutta toimet vasta "viime ti-passa", CCS sallittu teoll. prosesseissa v. 2040 jälkeen, BECCS kallista ja rajoitettua
Talous (1. työpajan tulokset)	Taloudellinen menestys, voimakas digitalisaatio ja palveluvaltaistuminen	Suomi globaali edelläkävijä, palvelutalous, yrittäjyys korostuu	Kierto- ja materiaalitalous, jake-mistalous, "raskas" teollisuus merkittävässä roolissa	Taloukasvu heikko, julkisen sektorin osuus BKT:sta kasvaa, elinkeinorakenne ei uudistu, talouden kestävyysongelmat
Arvot ja käyttäytyminen (1. työpajan tulokset)	Ympäristötietoisuus vahvaa, esim. oman energian tuotanto arkipäivää	Ympäristötietoisuus korkealla ja kuluttajien käytöksessä iso arvo-pohjamuutos (esim. päästöjen kompensointi)	Säästäminen, itse tekeminen ja vähähiilisyyden trendikistä, kuluttamalla vaikuttaminen	Selviytymistarina, sosiaalinen eriarvoistuminen merkittävää, asenteet kovenevat
Maa- ja metsätalous yleisesti (1. työpajan tulokset)	Tuotannon tehostuminen digitalisaation, rakennemuutoksen ja teknologian intensiivisen hyödyntämisen kautta. Maataloustuotteiden erikoistuminen, pidemmällä aikavälillä synteettinen ruuantuotanto. Vahva T&K&I -panostus ja julkisen sektorin ohjaus. Tukia tarvitaan 2030–40, mutta 2050 järjestelmä toimii jo markkinaehtoisesti.	Maa- ja metsätalous monipuolistuu, yrittäjyys monimuotoistuu. Hiilen sidontaan aivan uusia näkökulmia. Pellon viljely, vertikaalinen tuotanto kasvihuoneissa laskee viljelyn päästöjä. Vapautuva ala voidaan metsittää.	Maa- ja metsätalous kiertotalouden edistäjänä. Neitseellisten raaka-aineiden käytöstä verotetaan. Ruuan tuotannossa korostuu omavaraisuus.	Ei varsinaista ilmastopolitiikkaa, vaan sopeutumispolitiikka ja sääntelytalous. Julkisen sektorin rooli korostuu ohjauksessa. Voimakas T&K-panostus siihen, että Suomesta tulee "selviytymissaa-reke". Innovaatiot kansalliselta tasolta. Ruuan lähituotanto tärkeä myös huoltovarmuuden vuoksi.
Metsätalous, toimenpiteet (2. työpajan tulokset)	<ul style="list-style-type: none"> Metsäteollisuuden rakenne-muutos edistää korkean jalostusasteen tuotantoa, kuten uudet puupohjaiset tuotteet, biopolttoaineet, puurakentaminen Intensiivinen metsien käyttö ja hoito (metsän kasvua lisäävät toimet) kansallisen metsästrategian mukaisesti Maankäytön muutoksen ohjaus ja metsittämisen tuki Vaiheittain eroon turvemaista 	<ul style="list-style-type: none"> Innovaatiotuki korkean lisäarvon biomassatuotteille (muovin korvaus, komposiittituotteiden kehitys, puurakentaminen) Informaatio-ohjaus, tuet, verotus (muovivero), julkiset hankinnat Hiilinielujen lisääminen ja hiilen sidonta: metsityksen tuki, turvepeltojen tukien poistaminen, jne. Uudet puulajit ennakoivasti käyttöön 	<ul style="list-style-type: none"> Kaskadiajattelu Metsäbiomassan määrän lisääminen metsänhoidolla ja viiranomaisvalvonnalla, tasapaino suhteessa hiilinielun kehitykseen Biopohjaisten tuotteiden käytön edistäminen julkisten hankintojen avulla Metsänraivausmaksu (erityisesti kohdennus turvemailla) ehkäisee turvepeltojen lisääntymistä Säättösalaoitus pakolliseksi turvemailla/ojittamattoman pel-lon vero 	<ul style="list-style-type: none"> Vahva metsäsektori ja –teollisuus, mutta tuottaa lähinnä bulkkituotteita ja biopolttoai-neita Tuotantoa ohjataan voimakkaasti. Heikon taloustilanteen vuoksi vähemmän painetta metsien käyttöön, jota voi seu-rata tahaton metsien kasvu.
Maatalous, toimenpiteet (2. työpajan tulokset)	<ul style="list-style-type: none"> Biokaasun tuotanto ja käyttö ylös tukijärjestelmän ja teknologian avulla. Lannasta energiaa, teollisuuden biomassoista maanparannusaineita. Karjankasvatuksen päästöt alas tutkimuksen ja neuvonnan myötä Kuluttajien ruokailutottumusten hintaohjaus Täsmäviljely: tuottavuus kasvaa lannoituksen kokonaismäärää kasvattamatta 	<ul style="list-style-type: none"> Tehokarjatalous supistuu ohjauksella, investointituilla ja kuluttajavalintojen myötä Vaihtoehtoisen proteiini-tuotannon tukeminen (sirkka-, sien- jne. yrittäjyys), synteettiset proteiinit, lihansyöntikielto/rajoite Ympäristökorvausjärjestelmään hiilensidontaa edistäviä toimenpiteitä, maatalouden hiilivero Uudet kasvilajit ennakoivasti käyttöön 	<ul style="list-style-type: none"> Kasvisruuan ja kaupunki-maa-talouden/tilamyynnin edistäminen digitalouden avulla Kasvissyönnin edistäminen: eläinproteiinivero, elintarvikkeiden sertifiointi, kasvissyönnin terveellisyysydestä ja ilmasto-myötäisyydestä valistaminen Ruokahävikki pois biojäteve-rolle Maatalouden hiilivero Lannasta ja nurmesta biokaasua 	<ul style="list-style-type: none"> Maatalouden tukijärjestelmät uusiksi => tuet sidotaan tuotantoon, osa maa-alasta metsitetään Maataloudessa saa tuottaa vain vähäpäästöisiä välttämätömyystuotteita Maat uusjakoon. Maankäytössä ohjausta muista kuin il-mastostyistä.
Kaupungistuminen ja keskimääräinen asumistiiveys (1. työpajan tulokset)	Keskinopea kaupungistuminen ja levittäytyminen enemmän pientaloalueille. Asumistiiveys jatkaa väljenemistä, omakotitalomainen asuminen suosittua.	Voimakas kaupungistuminen. Asuminen tiivistyy paljon, keskusta-asuminen suhteellisen suosittua.	Kaupungistuminen hitaampaa (mm. etätyö vaikuttaa). Asuminen tiivistyy hieman mutta keskimäärin pysyy vakaana.	Keskinopea kaupungistuminen, jota ajaa taloudellinen pakko. Asuminen myös tiivistyy taloudellisista syistä.
Asuminen (2. työpajan tulokset)	<ul style="list-style-type: none"> Joustava regulaatio + ekologisen kompensaatio => kansallinen päästökauppa-järjestelmä kaupallisille toimijoille. Verovähennys energiansäästöinvestoinneista Kaupunkipientaloasumisen kehittäminen/tukeminen hyvin sijainteihin yhdyskuntarakenteessa. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen + vähäpäästöinen lämmitys + tilankäytön tehostaminen 	<ul style="list-style-type: none"> Panostetaan nopealla aikataululla T&K:hon ja investointien tukemiseen Joustavuutta kaavoituksessa ja muissakin ratkaisuissa Kaupungit aktiivisessa roolissa vähähiilisyyden toimenpiteissä (yhteistyössä valtion, yritysten, T&K:n ym. kanssa), ml. fossiilisten "alasajotoimet". Myös kokeilevan ja aktiivisen kuluttajan voimaannuttaminen keskeistä: mindset ja informaatio (esim. henkilökohtainen hiilibudjetti) 	<ul style="list-style-type: none"> Lainsäädännön ja norminpu-run keinoin asumisen tehokkaita, tiivistäviä ja muunneltavia ratkaisuja. Kannusteet ja mahdollistaminen kirittävät kiinteistörajat ylittäviä energia-yhteisöjä ja yhteistilojen ja yhteisasumista Ohjauskeinojen painopisteinä ovat päästöperusteinen verotus, fossiilisen rajoitukset sekä kiellot ja investointiporkkanat Informaatio-ohjaus, kasvatus ja media valjastetaan tavoitteiden tueksi 	<ul style="list-style-type: none"> Henkilökohtainen hiilibudjetti + päästökauppa kansalaisten kesken Muuttojen helpottaminen poistamalla varainsiirtovero ja nostamalla kiinteistövero Korjausavustukset tai verovähennysoikeus energiaremonttiin

Liikenne ja liikkuminen (1. työpajan tulokset)	Liikenteen voimakas sähköistymisen (henkilö- ja joukkoliikenne), joukkoliikenne korostuu isoissa kaupungeissa	MaaS, pienet ja ketterät sähköiset kulkuvälineet, VR & AR –matkustaminen (loma- ja työmatkat), tavaraliikenteen kysyntä pienee	Kestävät biojalosteet erit. meri- ja lentoliikenteessä sekä raskaassa tieliikenteessä, joukkoliikenne kaupungeissa, luonto- ja lähimatkailu	Yksityisautoilu kallista => joukkoliikenne, kimpakkyydit, tavaraliikenne pitkälti fossiililla polttoaineilla, sähköistymisen vähäistä.
Liikenne (2. työpajan tulokset)	<ul style="list-style-type: none"> Autoilun verotuksen kokonaisuudistus, l. porrastus vahvemmin CO₂-perusteiseksi ml. työsuhteautoedut Sähkön ja kaasun jakeluverkokoston tuet ja minimivaatimukset Sähköautojen edistämiskampanjat ja kokeilut Rajattujen alueiden (esim. satamat) liikenteen sähköistäminen Kaupunkien autokaluston uudistaminen, kestävät hankinnat. Joukkoliikenteen palvelustason nosto Investointituki kuljetusyrityksille uuteen kalustoon 	<ul style="list-style-type: none"> MaaS:n kehitystyöhön ja käyttöönottoon panostetaan ja toisaalta yksityisautoilun palvelutasoa heikennetään Autokannan uusiutumista erityisesti sähkökäyttöiseen tuetaan monista eri kulmista, ja "väärrään suuntaan" ohjaavat toimet kitketään pois Kaupungit aktiivisessa roolissa vähähiilisuuden toimenpiteissä (yhteistyössä valtion, yritysten, T&K:n ym. kanssa) Kokeilevan ja aktiivisen kuluttajan voimaannuttaminen keskeistä: mindset ja informaatio (esim. henkilökohtainen hiilibudjetti) 	<ul style="list-style-type: none"> Biopohjaisia polttoaineita tuetaan jakeluvervoitein, ja eri alueille sopivia ratkaisuja kannustetaan alueiden fiksulla kaavoituksella Jakamistalouden ja etäratkaisujen käyttöä tuetaan kannustimilla, kokeiluilla ja muilla mahdollistavilla toimilla Kaasuautot ja automaattiautot tuodaan ohjatuksi ja kohdenneustiksi markkinoille Päästöperusteinen verotus, fossiilisen rajoitukset sekä kielot ja investointiporkkanat Informaatio-ohjaus, kasvatus ja media valjastetaan tavoitteiden tueksi 	<ul style="list-style-type: none"> Henkilökohtainen hiilibudjetti + päästökauppa kansalaisten kesken Investoinnit joukkoliikenteeseen kaupunkiseuduilla Investoinnit kestäviin kulkutapoihin ja niitä tukevaan yhdyskuntarakenteeseen Koulutus- ja valistustoimenpiteet joukkoliikenteen lisäämiseksi Yhteiskäyttöautokokeilut ja best practices käytäntöjen leviämiseksi
Energiantuotanto (1. työpajan tulokset)	Tuuli- ja aurinkoteknologioiden ylivoimainen kilpailukyky, energiavarastot "kaikkialla", "perinteisen" ydinvoiman kilpailukyky heikkenee, mutta SMR mahdollista kaupungeissa (korvaa fossiilista lämpöä)	Tuuli- ja aurinkoteknologioiden ylivoimainen kilpailukyky, uudet energiavarastointitekniikat ydinvoiman vähittäinen poistuminen kannattamattomana, luovutaan fossiilisista polttoaineista.	Energiaomavaraisuus korostuu => ydinvoimalla keskeinen rooli, uusiutuvien osuus (sähkö- ja lämpö) kasvaa, teolliset symbioosit edistävät energiatehokkuutta.	Teknologinen kehitys hidastuu, bioenergia ja –jalosteet sekä ydinvoima tärkeät, aurinko- ja tuulivoiman hinta laskenut mutta maltillisemmin ja lisäksi varastot kalliita
Energiantuotanto (2. työpajan tulokset)	<ul style="list-style-type: none"> Aurinkoenergian hyödyntämiseen liittyvien esteiden poisto. Aurinkoinvestoinnit maan eri osiin tasaisesti. Varastointi- ja konversioteknologioiden kehittämiseen panostetaan voimakkaasti T&K: Suuret panostukset erityisesti digitalisaatioon, älyenergiaan ja kysyntäjouktoon => energiasektori ei tule juuri tarvitsemaan polttoaineita 	<ul style="list-style-type: none"> Maankäytön periaatteet voimistuvat, kuntatason osaoptimoinnista maakunta-tason ja kaupunkisuunnitteluun T&K (valtio + elinkeinoelämä) Kehittäminen, kokeilu, "Ihmiset itse": asenneilmapiirin muutokset mahdollistavat toimet Kokonaiskestäväyyden varmistaminen Digitaalisuus, loppukäytön olosuhtemittaus, big data 	<ul style="list-style-type: none"> Valtion ohjaus vahvaa: metsä- ja energiapolitiikka, valtio kantamaan omavaraisuuden riskiä. Regulaatio korostuu, tuet säilyvät (ehkä myös bio). T&K-panokset CCS:ään ja energiatehokkuuteen ETS:ään kannuste CCS:lle (ml. bio-CCS), CCS:n demo, käyttöönoton rahoitus Biokaasu => maataloudella tärkeä rooli 	<ul style="list-style-type: none"> Panostetaan perinteiseen energiatutkimukseen. Satsaaminen energiantehokkuuteen ja kulutuksen minimointiin, ohjauskeinona vahva, pakottava regulaatio Vesivoimalle strateginen rooli. Päästöyksiköiden hankkiminen Afrikasta Valtion sopimukset KV-suuryritysten kanssa
Teollisuuden prosessit ja KHK-päästöjen vähentäminen (1. työpajan tulokset)	Teollinen tuotanto enenevässä määrin korkean arvonlisän tuotteisiin (metsäteollisuus, teräs), pääpaino edelleen suurissa keskitetyissä teollisuuslaitoksissa. Palveluvaltaistuminen. Energianvarastointi. Vetytalous.	Hajautettu teollinen tuotanto, uudet korkean arvonlisän tuotteet, fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen (ilmakehän hiili, biope- räinen hiili)	Raskaan teollisuuden volyymien kasvu (teräs, sellu, pakkaus, sementti) nykytasosta. Biotalous merkittävässä roolissa ml. korkean arvonlisän tuotteet, fossiilisten raaka-aineiden korvaus	Raskaan teollisuuden volyymit noin nykytasolla, nykyisenkaltaiset teollisuustuotteet ja –prosessit
Teollisuus (2. työpajan tulokset)	<ul style="list-style-type: none"> Voimakas panostus T&K:hon, osaamiseen ja koulutukseen: Yritysten T&K, valtion tuki, julkinen T&K Lyhyt aikaväli: tehostaminen ja pilotointi, pidempi aikaväli: panostus mm. vetytaluuteen erityisesti terästeollisuudessa Uudet tuotteet, "hyppäys uuteen prosessiin" Markkinaohjaus toimii => kaikki tekevät ja yritykset investoivat Ohjauksella hallittu rakenne- muutos => ennakoitavuus Sähkö halpaa ja puhdasta => teollisten prosessien sähköistäminen 	<ul style="list-style-type: none"> T&K&I-panostukset korkeat uusiin digipohjaisiin tuotteisiin Kaavoitus ja nykyisen kuntarakenteen purku ratkaisevia toimia Vienninedistämisen panostukset ylöspäin (palvelut ja osaa- minen) Sähkö vähähiilisen talouden "raaka-aine" => sähkövero alas Hyönteisten tuotannon kustannustehokkuuden parantaminen elintarviketeollisuudessa EU-päästökaupan "korjaaminen" ohjaamaan investointeja Työn verotuksesta enenevässä määrin kohti kulutuksen verotusta Yrittäjyyden helpottaminen (esim. verotus) erityisesti PK-puolella Direct air capture (DAC) vs. bio-CCU => hiiliaselaskenta & regulaatio selväksi 	<ul style="list-style-type: none"> Elinkaariajattelu & hiilijalanjälki kaikkiin tuotteisiin, päästö- maksujen painopisteen siirto kulutukseen Verotusratkaisut edistämään kiertotaloutta (neitseellisten luonnonvarojen käytön verotus) ja jakamistaloutta (digilustat ja siihen liittyvä verotus) Globaali kiertotalous ja globaali regulaatio materiaalikier- tojen sääntelyyn Jakeluvervoite meri- ja lentoliikenteeseen => EU-ICAO-IMO- sopimukset T&K&I-panokset => uudet sel- lupohjaiset tuotteet Kuluttajavalistus, mediakampanjat Ihmisperäisen biojätteen kiertä- myksen esteiden poisto Sähköistymisen tukeminen esim. verotuksella Etätyölle strateginen valtion linjaus (rahoitus) 	<ul style="list-style-type: none"> Aleneva kierre, sopeutuminen edessä, ilmastopolitiikka ei enää prioriteetti, protektionismi Omavaraisuus keskiössä, tehdään vain välttämättömät korvausinvestoinnit, ei investoin- teja uusiin tuotteisiin ja palveluihin => tuottavuus ja kilpailu- kyky heikkenevät Päästöt vähenevät, kun tuo- tanto vähenee Valtio ohjaa, mutta millä ra- halla? => kielot, rajoitukset, poukkoileva lainsäädäntö, osa- optimointi

Kolmannen ja viimeisen työpajan tavoitteena oli tunnistaa vähäpäästöskenaarioiden avulla riskejä ja vaikutuksia tuottaen aineistoa PITKO-hankkeen SOVA-osatehtävään (ks. luku 9). Työpajassa arvioitiin vaihtoehtoisten skenaarioiden toimenpiteiden vaikutuksia ympäristölle ja yhteiskunnalle sekä riskejä, joita vaihtoehtoiset polut voisivat toteutuessaan tuottaa tai jotka

voisivat jopa estää polun toteutumisen. Työpajan lähtömateriaalina oli laskennallisen työn ja aiempien työpajojen tuloksista koostettu yllä esitetty yhteenveto (Taulukko 1) keskeisimmistä Jatkuva kasvu, Muutos ja Säästö -vähäpäästöskenaarioiden keinoista ja niihin liittyvistä toimenpiteistä. Pysähdys-skenaario oli jo itsessään riskiskenaario, joten sen analysointi olisi todennäköisimmin osoittautunut hankalaksi. Näin ollen sitä ei otettu mukaan viimeiseen työpajaan, vaan sen työstäminen jätettiin PITKO-hankkeen tutkijoiden tehtäväksi.

Työpajaprosessin asiantuntija-arvioihin pohjautuvat tulokset (esim. Taulukko 1) kokonaisuudessaan palvelivat PITKO-hankkeen tavoitetta sekä mallilaskelmien lähtötietojen (luku 4.2) määrittämisessä että mallipohjaisia laskelmia täydentävänä menetelmänä. Esimerkiksi arvioihin liittyvissä kysymyksissä ja yksityiskohtaisten ohjauskeinojen haarukoinnissa nojaututtiin pitkälti työpajojen tuloksiin.

Työpajojen tuloksia tarkasteltaessa on syytä muistaa, että esitettyjen ajatusten ja kommenttien määrä oli erittäin runsas, ja kaikkia ajatuksia ei ole suoraan liitetty laskennallisiin analyysiin. Tapauksesta riippuen tämä voi johtua joko malliteknisistä syistä tai hankkeen yleisestä tavoitteesta, että laadittavien skenaarioiden tulee olla luonteeltaan riittävän erilaisia. Erityisesti tämä ilmeni 1. työpajan tuloksia käsiteltäessä. Koska työpajoissa toisistaan tietämättä työskennelleet ryhmät saattoivat esittää teknologioiden kehityksen suhteen hyvin samantyyppisiä kehityskulkuja, erilaisuustavoitteen saavuttaminen edellytti työpajojen tulosten jatkotyöstämistä joiltain osin. Työpajassa 1 esitetyt kehityskulut on kuitenkin pyritty sisällyttämään laskennallisiin arvioihin, ja mallilaskelmissa käytetyt lähtötiedot on pyritty mahdollisimman kattavasti ja kirjallisuuslähteisiin tukeutuen esittämään luvussa 4.2.

Työpajojen tuloksena saadut runsaat ajatukset tarjosivat kuitenkin täydentävää materiaalia laskennallisiin analyysiin, erityisesti skenaarioiden toteutumiseen liittyvien riskien, ja tarvittavien toimenpiteiden analysoimiseksi. Luvussa 10 käsitellään skenaarioiden toteutumiseen liittyviä riskejä ja toimenpidesuosituksia mm. työpajoissa syntyneiden ajatusten perusteella.

4.2. Vaihtoehtoisten vähäpäästöpolkujen numeeriset määrittelyt mallinnusta varten

Antti Lehtilä, Tiina Koljonen, Pekka Tuominen, Terttu Vainio, Esa Peltola, VTT

Laadullisten skenaariotarinoiden kvantifiointissa numeeriset lähtötiedot määriteltiin kaikille skenaarioille ja niiden kaikille sektoreille (energia-, päästö-, talous-, jne.), mukaan lukien teknologioiden ja infrastruktuurin kehitykset (l. yhdyskuntarakenne ja rakennuskanta, teollisuuden rakenne ml. uudet tuotteet), liikkumisen ja liikenteen tarve, käyttäytymisen muutosten vaikutukset (ruokailu- ja muut kulutustottumukset, ympäristötietoisuus ja halukkuus päästöjen vähentämiseen) sekä paitsi Suomen myös koko maailman kehityksen suuntaviivat työpajaprosessissa esitetyt lähtökohdat huomioiden. Alla on esitetty yhteenveto TIMES-VTT-energiajärjestelmämallinnuksen keskeisistä lähtöoletuksista. Näiden lisäksi mallinnuksessa on suuri joukko muita lähtötietoja, joiden yksityiskohtainen esittäminen tässä raportissa ei ollut mahdollista. Sen sijaan tekstissä on esitetty kirjallisuuslähteitä, joissa lähtöoletuksia on esitetty laajemmin.

Energiantuotanto

Energian tuotantoteknologioita koskevista oletuksista keskeisimmät liittyvät ydinvoimaan ja vaihtelevaan uusiutuvaan sähköntuotantoon sekä kivihiiltä käyttäviin laitoksiin. Kivihiilen käyttöä yhdyskuntien sähkön ja lämmön tuotantoon ei oletettu sallituksi vuoden 2025 jälkeen. Käytännössä kielto astuu voimaan vuonna 2029, mutta mallinnusteknisistä syistä (l. vuosi 2029 ei ole mallinnuksen laskentavuosi) kielto asetettiin laskelmissa jo vuodelle 2025.

Nykyisistä ydinvoimalaitoksista oletettiin kaikissa skenaarioissa Loviisan laitosten käyttöä pidentäminen nykyisistä luvista kymmenellä vuodella, eli 2040-luvun vaihteeseen, ja Olkiluodon nykyisten laitosten käyttöä pidennys 70 vuoteen, eli 2050-luvun vaihteeseen. Vuonna 2020 tuotantonsa aloittavan Olkiluoto 3:n käyttöä oletettiin ulottuvan ainakin vuoteen 2070. Fennovoiman suunnitteleman Hanhikivi 1 -laitoksen oletettiin toteutuvan Muutos-skenaariota lukuun ottamatta ja tulevan käyttöön noin vuonna 2028. Näiden lisäksi oletettiin uutta ydinvoimakapasiteettia voitavan rakentaa ainoastaan Jatkuvan kasvun skenaariossa, jossa ne ovat oletusten mukaan suurten kaupunkien modulaarisia ydin-CHP-laitoksia.

Tuulivoiman potentiaalit on arvioitu laskentamallissa sijoituspaikan perusteella onshore / tunturit / nearshore / offshore -jaottelun mukaisesti ja lisäksi tuulisuusluokittain. Potentiaalit on arvioitu realistisina toteutettavissa olevina potentiaaleina, jotka ovat teoreettisia potentiaaleja paljon pienempiä. Onshore-tuulivoiman realistiseksi potentiaaliksi on arvioitu vuonna 2050 noin 13 TWh, tuntureille noin 5 TWh, nearshore-potentiaaliksi 12 TWh ja offshore-potentiaaliksi noin 40 TWh, eli yhteensä noin 70 TWh. VTT:n tuulivoima-asiantuntijoiden arviot teknistä taloudellisesta potentiaalista vuodelle 2050 ovat sisämaassa ja rannikolla noin 11 TWh, tuntureilla 5 TWh ja merialueella noin 12 TWh, yhteensä noin 28 TWh. Onshore-tuulivoiman investointikustannusten on oletettu alenevan vuoteen 2050 mennessä 850 €/kW:n tasolle ja offshore-merituulivoiman 1600 €/kW:n tasolle. Kustannusten kehitysarviot perustuvat Tanskan energiaviranomaisen (Danish Energy Agency) teknologiatietokantaan vuodelta 2018⁵⁵ ja VTT:n tuulivoima-asiantuntijoiden arvioihin.

Aurinkovoiman potentiaalia rajoittavat kiinteistösovelluksissa kattopinta-alat. Katoille asennettavan tuotannon potentiaali oli arvioitu vuonna 2050 noin 12 GW:ksi, joka on lähellä Pöyryn esittämää laskennallista potentiaaliarviota.⁵⁶ Näiden lisäksi on hyvin suuri ison laitosteknisen potentiaali. Aurinkovoiman investointikustannusten on oletettu alenevan nopean teknisen kehityksen jatkuessa pienissä kiinteistösovelluksissa noin 600 €/kW:n tasolle ja isommissa laitoksissa 400 €/kW:n tasolle, samalla kun laitosten tekninen käyttöikä pitenee 40 vuoteen ja käyttökustannukset putoavat. WEM-, EU-80%- ja Pysähdys-skenaarioissa kustannuskehitys oletettiin hieman hitaammaksi (700 / 500 €/kW). Kehitysarviot ovat lähellä DEA:n teknologiatietokannan arvioita, siten että nopean kehityksen arviot ovat niitä hieman alempia ja hitaan kehityksen arviot hieman korkeampia.

Teollisuus

Metsäteollisuuden tuotannon keskeiset lähtöoletukset on esitetty Taulukossa 2 ja kuvassa 3. Metsäteollisuuden tuotannon kehitysarviot perustuvat vuoteen 2030 saakka suurelta osin Pöyryn vuonna 2016 tekemiin perusarvioihin⁵⁷. WEM-skenaariot tuotanto-oletukset pohjautuvat massa- ja paperiteollisuuden osalta varsin suoraan niihin. Vähäpäästöskenaarioista

⁵⁵ Data sheet for Electricity and district heat production. Aug 2016. (Update December 2018). Danish Energy Agency

⁵⁶ Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali ja potentiaalin toteutuminen markkinaehtoisesti. Pöry management consulting Oy, 2016.

⁵⁷ Suomen metsäteollisuus 2015–2035, Loppuraportti. Pöry Management Consulting, 2016.

Säästö-skenaario puolestaan pohjautuu pitkälti VTT:n aiemmin laatimaan biotalousskenaarioon⁵⁸, jossa tuotannossa siirrytään vähitellen uusiin, korkeamman jalostusasteen tuotteisiin niin kemiallisen kuin mekaanisen metsäteollisuuden piirissä. Sellunvalmistuksessa tämä merkitsee siirtymää uusiin kuitutuotteisiin ja biokemian tuotteiden valmistamista muun muassa nykyisin valtaosin vain energiaksi hyödynnetyistä jäteliemien ligniini- ja hemiselluloosajakeista. Mekaanisen jalostuksen osalta se tarkoittaa tavanomaista sahatavaraa huomattavasti pidemmälle jalostettujen puutuotteiden valmistusta (LVL I. laminated vaneer lumber, puukomposiitit, liimalamellit jne.). Tämä näkyy erityisesti Säästö- ja Muutos-skenaarioissa, joissa sahatavaran volyymit kääntyvät pitkällä aikavälillä laskuun ja vastaavasti jalostetun sahatavaran volyymit kääntyvät merkittävään nousuun. Paperituotteiden osalta oletetaan nykyisen laskevan trendin jatkuvan kaikissa PITKO-skenaarioissa. Sen sijaan kartonkituotteiden osalta oletetaan, että globaali kysyntä ja siten myös kotimainen tuotanto kasvavat lähivuosikymmeninä, mutta vuodesta 2030 alkaen trendi on joko nouseva tai laskeva skenaariosta riippuen.

Sekä Jatkuva kasvu että Muutos -skenaariossa metsäteollisuuden tuotannon volyymit ovat alhaisemmat kuin muissa skenaarioissa. Lähtökohtaisesti on kuitenkin oletettu, että metsäteollisuuden tuotannon arvo pysyy vähintäänkin nykytasolla (vrt. esim. sahatavaran vs. LVL ja puukomposiittien volyymit). Alhaisin metsäteollisuuden tuotannon volyymi on Muutos-skenaariossa, jossa oletetaan myös radikaalia käyttäytymisen muutosta, joka näkyy kaiken kulutuksen merkittävänä vähenemisenä. Esimerkiksi paperin ja kartongin alhaiset tuotannon määrät Muutos-skenaariossa selittyvät digitalisaatiolla, hajautetulla ja/tai lähituotannolla (l. pakkaus-tarve vähenee) ja ylipäättänsä käyttäytymisen muutoksella kohti alhaisempaa tavaroiden kulutusta. Suurin metsäteollisuuden tuotannon volyymi on Säästö-skenaariossa, jossa mm. oletetaan fossiilisten materiaalien merkittävä korvaaminen biotuotteilla. Massa- ja paperituotannon kehitysarvioiden osalta (Kuva 3) onkin esitetty paitsi massa- ja paperituotteet myös väli-tuotteet, eli mustalipeä sekä ligniini- ja hemiselluloosa. Mustalipeä hyödynnetään energian-tuotannossa, mutta ligniini ja hemiselluloosa ovat raaka-aineina mm. muovien, liimojen ja mui-nien muiden uusiutuvien materiaalien tuotannossa.

⁵⁸ Growth by integrating bioeconomy and low-carbon economy Scenarios for Finland until 2050. VTT Visions 13, 2018. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2018/V13.pdf>

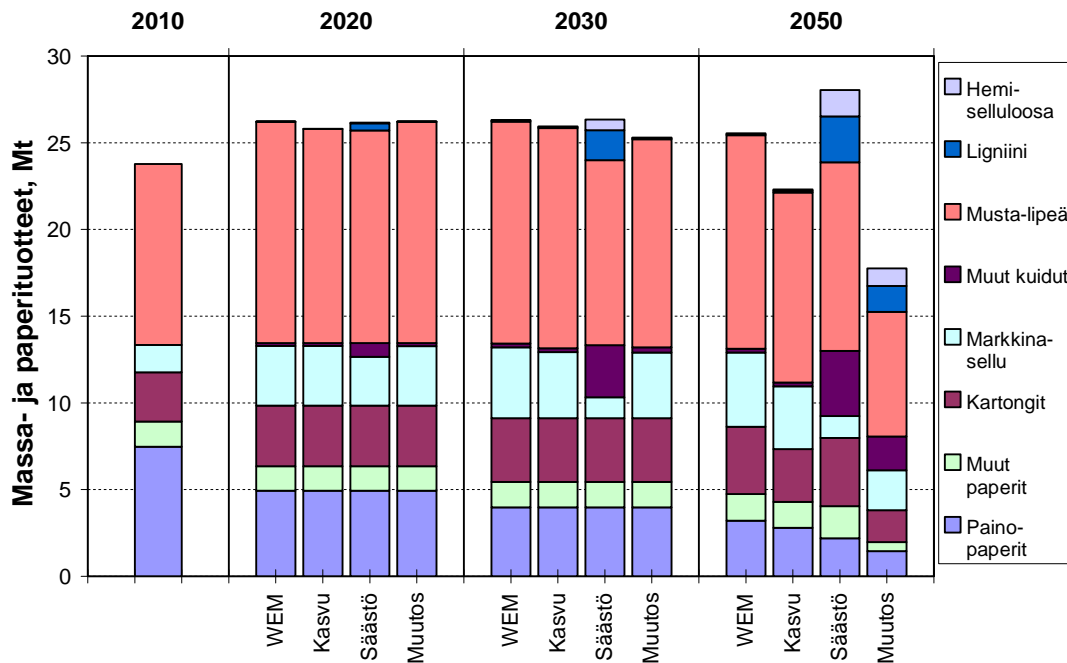
Taulukko 2. Metsäteollisuuden tuotannon keskeiset lähtöoletukset.

WEM	yks.	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Paperi	1000 t	8928	7178	6355	5445	4991	4749
Kartonki	1000 t	2831	3105	3495	3675	3792	3869
Paperi+kartonki	1000 t	11759	10283	9850	9120	8784	8619
Sellun nettovienti	1000 t	1909	2542	3537	4200	4300	4400
Sahatavara	1000 m³	9400	10600	11600	12260	13586	14898
Vaneri	1000 m³	980	1150	1170	1140	1170	1200
Levytuotteet	1000 m³	342	200	200	200	200	200
LVL, komposiitit ym.	1000 m³	90	110	200	300	400	500
Jatkuva kasvu	yks.	2015	2020	2030	2040	2050	
Paperi	1000 t	8928	7178	6355	5811	4924	4317
Kartonki	1000 t	2831	3105	3495	3119	3216	3020
Paperi+kartonki	1000 t	11759	10283	9850	8930	8140	7337
Sellun nettovienti	1000 t	1909	2542	3537	4213	3900	3835
Sahatavara	1000 m³	9400	10600	11600	12031	12748	13507
Vaneri	1000 m³	980	1150	1170	1100	1100	1100
Levytuotteet	1000 m³	342	200	200	200	200	200
LVL, komposiitit ym.	1000 m³	90	110	300	1046	1519	2206
Säästö	yks.	2015	2020	2030	2040	2050	
Paperi	1000 t	8928	7178	6355	5450	4828	4041
Kartonki	1000 t	2831	3105	3495	3675	3806	3941
Paperi+kartonki	1000 t	11759	10283	9850	9125	8634	7982
Sellun nettovienti	1000 t	1909	2542	3537	4204	4614	5024
Sahatavara	1000 m³	9400	10600	11600	11919	9630	7780
Vaneri	1000 m³	980	1150	1170	1100	1100	1100
Levytuotteet	1000 m³	342	200	200	200	200	200
LVL, komposiitit ym.	1000 m³	90	110	392	1395	4881	8067
Muutos	yks.	2015	2020	2030	2040	2050	
Paperi	1000 t	8928	7178	6355	5811	3310	1944
Kartonki	1000 t	2831	3105	3495	3119	2524	1867
Paperi+kartonki	1000 t	11759	10283	9850	8930	5834	3812
Sellun nettovienti	1000 t	1909	2542	3537	4193	3900	4200
Sahatavara	1000 m³	9400	10600	11600	10952	9146	7637
Vaneri	1000 m³	980	1150	1170	1140	1200	1250
Levytuotteet	1000 m³	342	200	200	200	200	200
LVL, komposiitit ym.	1000 m³	90	110	300	1347	3671	5881
Pysähdys	yks.	2015	2020	2030	2040	2050	
Paperi	1000 t	8928	7178	6355	5445	4991	4749
Kartonki	1000 t	2831	3105	3495	3675	3792	3869
Paperi+kartonki	1000 t	11759	10283	9850	9120	8784	8619
Sellun nettovienti	1000 t	1909	2542	3537	4200	4300	4400
Sahatavara	1000 m³	9400	10600	11600	12260	13586	14898
Vaneri	1000 m³	980	1150	1170	1140	1170	1200
Levytuotteet	1000 m³	342	200	200	200	200	200
LVL, komposiitit ym.	1000 m³	90	110	200	300	400	500

Perusmetallien tuotantoarvioissa WEM-skenaario noudattaa vuoden 2017 energia- ja ilmastostrategian kehitysarvioita, ja vähäpäästöskenaarioissa oletuksia varioitiin jonkin verran ske-

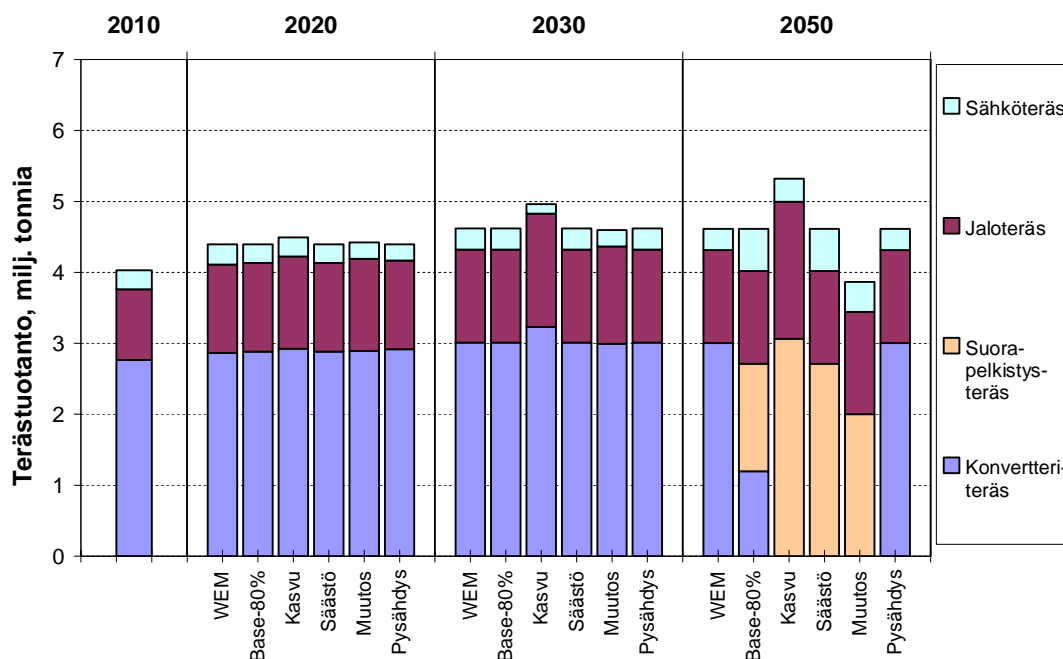
naariotarinoiden mukaisesti, mukaillen VTT:n aiempien Low Carbon Finland -platform-skenaarioiden oletuksia.⁵⁹ Tuotannon kokonaisvolyymien erot jäävät kohtuullisen pieniksi, mutta oletettu masuuniteräksen valmistuksen täydellinen syrjäytyminen vetypelkistykseen perustavalla teräksen valmistusprosessilla kolmessa vähäpäästöskenaariossa tuo huomattavia eroja skenaarioiden prosessipäästöihin. Perusmetallien tuotannon osalta lähtökohdat olivatkin merkittävästi muuttuneet verrattuna Low Carbon Finland -platform-skenaarioiden oletuksiin, joissa ainoastaan Muutos-skenaariossa oletettiin masuuniteräksen korvautuminen. Suurin teräksen kysyntä on oletettu Jatkuva kasvu -skenaariossa, jossa koko energiajärjestelmän sähköistyminen ja siirtyminen globaalisti puhtaaseen energiaan luovat kasvavaa kysyntää terästuotteille. Alhaisin teräksen tuotanto on oletettu Muutos-skenaariossa, jossa yleisesti oletetaan materiaalien kysynnän irtautuvan BKT-kasvusta käyttäytymisen muutoksen myötä.

Kuva 3. Massa- ja paperiteollisuuden tuotannon kehitysarviot. Mustalipeä, ligniini ja hemiselluloosa ovat välituotteita, joita hyödynnetään uusiutuvan energian ja materiaalien tuotannossa (muovit, liimat, jne.)



⁵⁹ Lehtilä, A., Koljonen, T. et al. Low Carbon Finland 2050 -platform. Energy system pathways towards a low carbon society. Espoo 2014. VTT Technology 165. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T165.pdf>

Kuva 4. Terästeollisuuden tuotannon kehitysarviot.



Asuin- ja palvelurakennukset

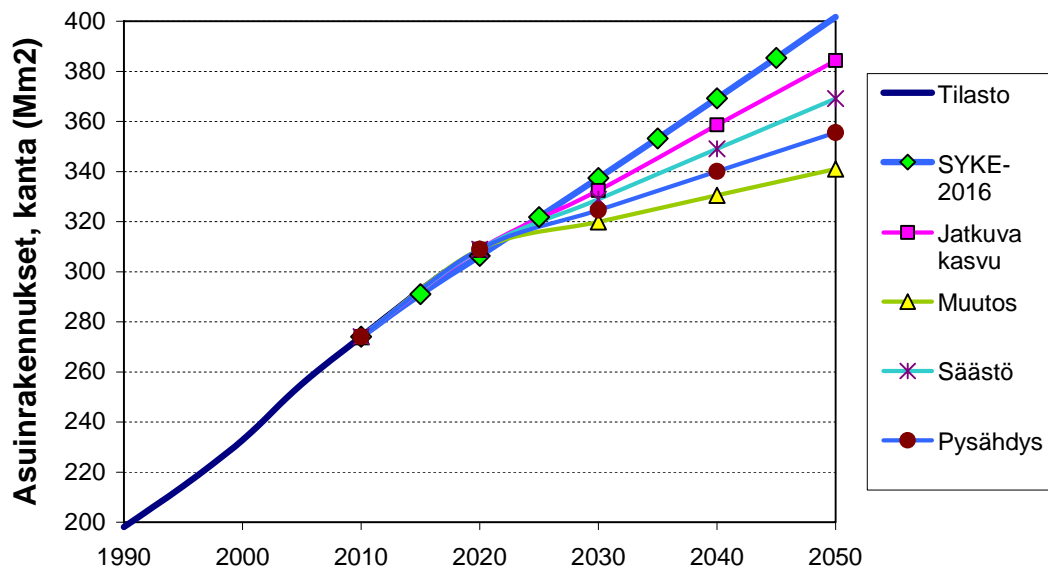
Rakennuskannan energiankulutuksen arvioimisen pohjana on skenaario, joka perustuu virallisiin tilastoihin ja Suomen ympäristökeskuksen julkaisemaan rakennusten energiankulutuksen perusskenaarioon⁶⁰. Muuntelemalla tätä perusuraa on laadittu neljä erilaista skenaariopolkua rakennuskannalle. Ennakoidut uudisrakentamisen määrät ja vanhojen rakennusten korjaukset ja poistuma vaihtelevat laskelmissa sekä rakennustyypeittäin että ajanjaksoittain. Rakennusskenaarioiden laskennassa on käytetty apuna VTT:llä kehitettyä REMA-laskentamallia⁶¹, joka on kuvattu luvussa 1.4.

Kuva 5 esittää asuinrakennuskannan kehityksen kussakin skenaariossa. Jatkuva kasvu -skenaariossa kaupungistuminen voimistuu, mikä vaikuttaa asumistiiveyttä kasvattaen SYKE:n laatimaan perusskenaarioon verrattuna. Skenaariossa kuitenkin oletetaan, että hakeutuminen kaupunkeihin tapahtuu merkittävässä määrin pientaloalueille, joten tiivistyminen ei ole kovin voimakasta. Muutos-skenaariossa tapahtuu merkittäviä muutoksia joidenkin väestönosien asumistavoissa: yhteisöllinen asuminen lisääntyy samoin kuin erilaiset miniyksiöt ja muut vastaavat innovatiiviset kaupunkiasumisen muodot. Kaupungistuminen on voimakasta ja lopputuloksena on SYKE:n perusskenaarioon verrattuna keskimäärin huomattavasti tiiviimpi asuminen. Säästö-skenaariossa kaupungistuminen hidastuu perusskenaarioon verrattuna, mutta vaikka asuminen on hajaantuneempaa, ihmiset ovat valmiita tinkimään asuinneliöistä verrattuna perusuraan. Säästö-skenaariossa kaupungistuminen ja tiiviimpi asuminen yleistyvät taloudellisen pakon vuoksi. Esimerkiksi pariskunnat muuttavat keskimäärin aiemmin yhteiseen asuntoon ja nuoret elävät pidempään vanhempiensa kodissa. Pysähdys-skenaariossa väestö asuu tiiviisti taloudellisista syistä ja kaupungistuminen on keskinopeaa.

⁶⁰ Mattinen, M.; Heljo, J.; Savolahti, M. (2016): Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2016.

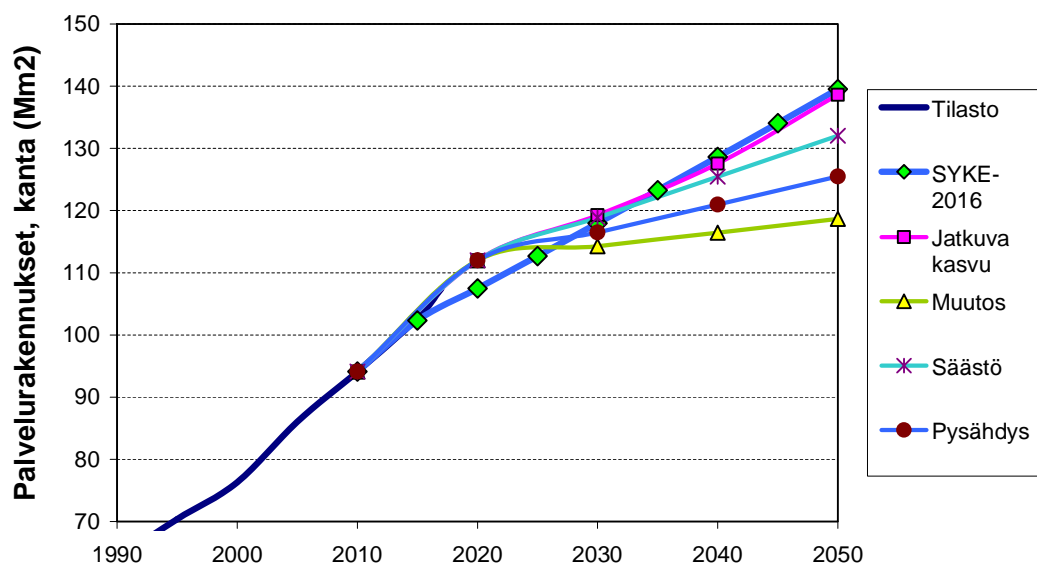
⁶¹ Tuominen, P., Holopainen, R., Eskola, L., Jokisalo, J., Airaksinen, M. (2014): Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock. Building and Environment 75, pp. 153-160.

Kuva 5. Asuinrakennuskannan skenaariokohtainen kehitys.



Kuva 6 esittää palvelurakennuskannan kehityksen eri skenaarioissa. Palvelurakennukset sisältävät Tilastokeskuksen termejä käyttäen liikerakennukset, toimistorakennukset, liikenteen rakennukset, hoitoalan rakennukset, kokoontumisrakennukset ja opetusrakennukset. Jatkuva kasvu -skenaariossa edetään perusuran kaltaisesti, ajavana voimana palvelurakennusten määrän kasvulle ovat mm. palveluvaltaistuminen ja elintason kasvu. Muutos-skenaariossa innovatiiviset ratkaisut vähentävät tilantarvetta huomattavasti. Näitä ovat mm. etätyön mahdollistavat teknologiat ja työkuultuurin muutos, alustatalouden ja pienten palveluyritysten määrän raju kasvu (vrt. uberisaatio), nettikaupan lisääntyminen sekä sähköiset palvelut. Säästö-skenaariossa tilankäytön tehostumista on jonkin verran lähinnä kunnianhimoisempien tilatehokkuus- ja ympäristötavoitteiden vuoksi. Pysähdys-skenaariossa tilojen määrä vähenee perusuraan verrattuna lähinnä heikon talouskasvun ja heikentyneen kuluttajien ostovoiman vuoksi.

Kuva 6. Palvelurakennuskannan skenaariokohtainen kehitys.



Rakennuskannan muutosten lisäksi skenaarioissa on oletettu muutoksia rakentamistapaan ja sen vaikutuksiin rakennusten energiankulutukseen. Taulukko 3 esittää uusien rakennusten keskimääräisen lämpöenergiankulutuksen eri skenaarioissa Suomessa pois lukien metropolialueen, jossa on oletettu hieman tätä taulukkoa alemmat kulutukset (n. 5 %) ilmastollisista syistä. SYKE:n Perusskenaariossa ajatellaan rakentamistavan säilyvän 2020 vuoden tasolla eikä uusia toimenpiteitä oteta käyttöön. Jatkuva kasvu -skenaariossa oletetaan säästöohjauksen ja teollisuuden tekemän kehitystoiminnan vievän kulutusta tulevaisuudessa alaspäin. Säästö-skenaariossa oletetaan energiankäytön tehostamistavoitteiden olevan vielä kunnianhimoisempia kuin Jatkuva kasvu -skenaariossa. Muutos-skenaariossa oletetaan lisäksi teknologisia muutoksia, kuten uusien eristeteknologioiden tai moduulirakentamisen yleistymistä, mitkä mahdollistavat skenaarioista kaikkein nopeimman muutoksen rakennuskannassa ja sen energiankulutuksessa. Pysähdys-skenaariossa on oletettu toimenpideskkenaarioista maltillisimmat muutokset, ja muissa skenaarioissa saavutettavien kunnianhimoisten tehostamistavoitteiden ajatellaan epäonnistuvan.

Taulukko 3. Uusien rakennusten keskimääräinen lämpöenergiankulutus (kWh/m²/a) sisältäen rakennusten lämmityksen ja lämpimän käyttöveden eri skenaarioissa.

	2010	2020	2030	2050
Pientalot				
Perusskenaario (SYKE 2016)	118	96	96	96
Jatkuva kasvu	118	84	66	47
Muutos	118	79	58	37
Säästö	118	81	62	42
Pysähdys	118	96	84	71
Kerros- ja rivitalot				
Perusskenaario (SYKE 2016)	82	80	80	80
Jatkuva kasvu	82	66	57	47
Muutos	82	61	49	37
Säästö	82	64	53	42
Pysähdys	82	74	69	64
Liike- ja palvelurakennukset				
Perusskenaario (SYKE 2016)	66	57	57	57
Jatkuva kasvu	66	57	52	47
Muutos	66	49	40	32
Säästö	66	53	46	39
Pysähdys	66	60	56	52

Vanhan rakennuskannan energiankulutus muuttuu myös ajan oloon poistuman ja korjausten kautta. Tässä vanhalla rakennuskannalla tarkoitetaan vuonna 2010 olemassa olleita rakennuksia. Taulukko 4 ja Taulukko 5 näyttävät skenaariokohtaisesti ennakoitua muutokset eri rakennustyyppien keskimääräisessä energiankulutuksessa. Perusskenaariossa poistuma ja korjaukset noudattelevat nykyistä pitkän aikavälin trendiä. Jatkuvassa kasvussa on oletettu korjausrakentamisen lisääntyvän nykyisestäään, mutta poistuman pysyvän ennallaan. Säästö-skenaariossa ajatellaan myös korjaamisen yleistyvän, mutta vanhojen rakennusten käyttöiän

kasvun vähentävän poistumaa. Muutos-skenaariossa uudisrakennuksissakin käytetyt uudet teknologiat tehostavat korjaamisen vaikuttavuutta ja lisäksi poistuma kasvaa voimakkaan kaupungistumisen sekä purkavan lisärakentamisen seurauksena. Pysähdys-skenaariossa korjaukset pysyvät nykyisellä tasolla, mutta poistuma pienenee, koska yleisesti rakennuskannan uudistuminen vähenee.

**Taulukko 4. Vanhan rakennuskannan lämpöenergiankulutus (kWh/m²/a) sisältäen rakennusten lämmityksen ja lämpimän käyttöveden Suomessa pois lu-
kien metropolialueen.**

	2010	2020	2030	2050
Pientalot				
Baseline	204	194	184	167
Jatkuva kasvu	204	194	158	120
Muutos	204	192	132	100
Säästö	204	194	171	143
Pysähdys	204	194	187	172
Kerros- ja rivitalot				
Baseline	171	164	158	145
Jatkuva kasvu	171	164	127	107
Muutos	171	162	95	70
Säästö	171	164	142	126
Pysähdys	171	164	159	149
Liike- ja palvelurakennukset				
Baseline	163	155	146	127
Jatkuva kasvu	163	155	125	100
Muutos	163	153	105	73
Säästö	163	155	136	114
Pysähdys	163	155	147	131

Taulukko 5. Vanhan rakennuskannan lämpöenergiankulutus (kWh/m²/a) sisältäen rakennusten lämmityksen ja lämpimän käyttöveden metropolialueella.

	2010	2020	2030	2050
Pientalot				
Perusskenaario (SYKE 2016)	186	176	162	152
Jatkuva kasvu	186	176	142	114
Muutos	186	176	122	97
Säästö	186	176	154	136
Pysähdys	186	176	164	156
Kerros- ja rivitalot				
Perusskenaario (SYKE 2016)	148	144	152	142
Jatkuva kasvu	148	144	122	105
Muutos	148	143	91	68
Säästö	148	144	137	124
Pysähdys	148	144	153	146
Liike- ja palvelurakennukset				
Perusskenaario (SYKE 2016)	163	159	142	125
Jatkuva kasvu	163	159	122	98
Muutos	163	158	101	71
Säästö	163	159	132	111
Pysähdys	163	159	143	129

Liikenne

Mallinnuksessa henkilö- ja tavaraliikenteen pitkän aikavälin kehitysarvioita koskevat oletukset voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin:

- yleiset henkilöiden ja tavaroiden liikkumistarvetta koskevat oletukset (henkilökilometrien ja tavaratonnikilometrien kysyntä)
- liikkumismuotojen markkinaosuuksien kehitystä koskevat oletukset (henkilö- ja tavaraliikenteen jakaantuminen liikennemuodoittain)
- liikkumismuotojen suoritetehtävyyttä koskevat oletukset (henkilö- ja tonnikilometrit liikennevälineiden kilometriä kohti)
- eri tekniikoiden markkinaosuuksia koskevat oletukset kussakin liikkumismuodossa
- liikennevälineiden energiatehokkuutta ja kustannuksia koskevat oletukset.

Mallitarkastelussa eri liikennevälineiden energiatehokkuuden ja kustannusten kehitysarvioita ei Pysähdys-skenaariota lukuun ottamatta (hitaampi tekninen kehitys) juurikaan varioitu skenaarioiden välillä, ja lähtöoletukset perustuvat teknologiajulkaisuihin.⁶² Muissa oletuksissa sen sijaan skenaarioiden välille pyrittiin saamaan selviä eroja skenaariotarinoitten mukaan, ja siinä käytettiin hyväksi liikenne- ja viestintäministeriön ILMO-skenaarioita siten, että BIO-

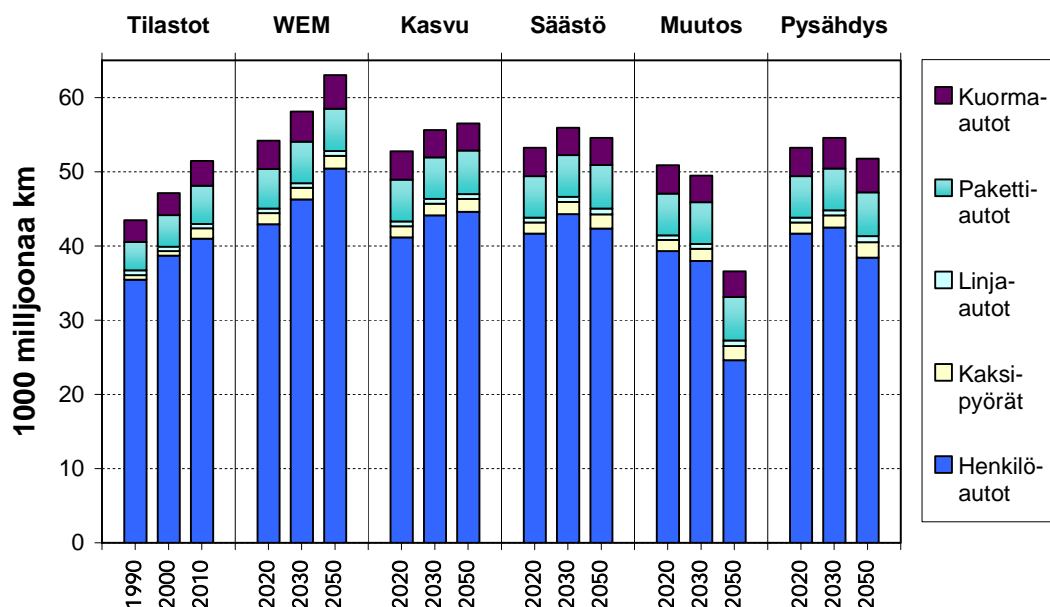
⁶² Teknologia-arvioissa hyödynnetty monia eri julkaisuja, esim. *Low-carbon cars in Europe: A socio-economic assessment*. European Climate Foundation, Cambridge Econometrics, 2018.

polku edustaa suunnilleen Säästö-skenaariota, TEKNO-polku suunnilleen Jatkuvan kasvun skenaariota ja PALVELU-polku suunnilleen Muutos-skenaariota.⁶³

Tieliikenteen ajoneuvosuoritteita koskevat oletukset perustuvat WEM-skenaarion osalta VTT:n LIPASTO-laskentajärjestelmän ennusteeseen.⁶⁴ Jatkuvan kasvun skenaariossa oletettiin henkilöautosuoritteiden kasvun jäävän vuoden 2017 energia- ja ilmastostrategian WAM-skenaarioiden tavoin hieman WEM-skenaariota pienemmäksi siten, että vuonna 2050 suoritukset ovat noin 12 % WEM-skenaariota pienemmät. Suorite on tällöin vuonna 2050 vain noin 10 % vuoden 2015 määrää suurempi. Säästö-skenaariossa oletettiin jonkin verran lisäsiirtymää kevyeen ja julkiseen liikenteeseen, jolloin vastaava kasvu jää 4,3 %:iin. Muutos-skenaariossa oletettiin ILMO-skenaarioita mukaillen voimakas liikennejärjestelmän tehostuminen, mikä johtaa vuonna 2050 henkilöautosuoritteiden vähenemiseen suunnilleen puoleen WEM-skenaarion tasosta. Myös Pysähdys-skenaariossa oletettiin henkilöautosuoritteissa 20 %:n vähennys WEM-skenaarioon nähden siirtymällä kevyeen ja julkiseen liikenteeseen. Tavara-liikenteen osalta mukailtiin myös ILMO-skenaariota, joissa ei esiintynyt merkittäviä eroja skenaarioiden välillä. PITKO:n Muutos-skenaariossa oletettiin kuitenkin tavaraliikenteen volyymin suurempi alenema kuin ILMO:n palveluskenaariossa. Ajoneuvosuoritteiden oletettua kehitystä on havainnollistettu kuvassa 7 ja liikennesuoritteiden kehitystä kuvissa 8 ja 9.

Eri ajoneuvotekniikoiden markkinaosuuksien kehitystä koskevat oletukset asetettiin WEM-skenaariossa vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian vastaavien oletusten mukaan ja vähäpäästöskenaariossa ILMO-skenaarioita mukaillen, ja siitä on kerrottu enemmän skenaariotulosten esittelyn yhteydessä.

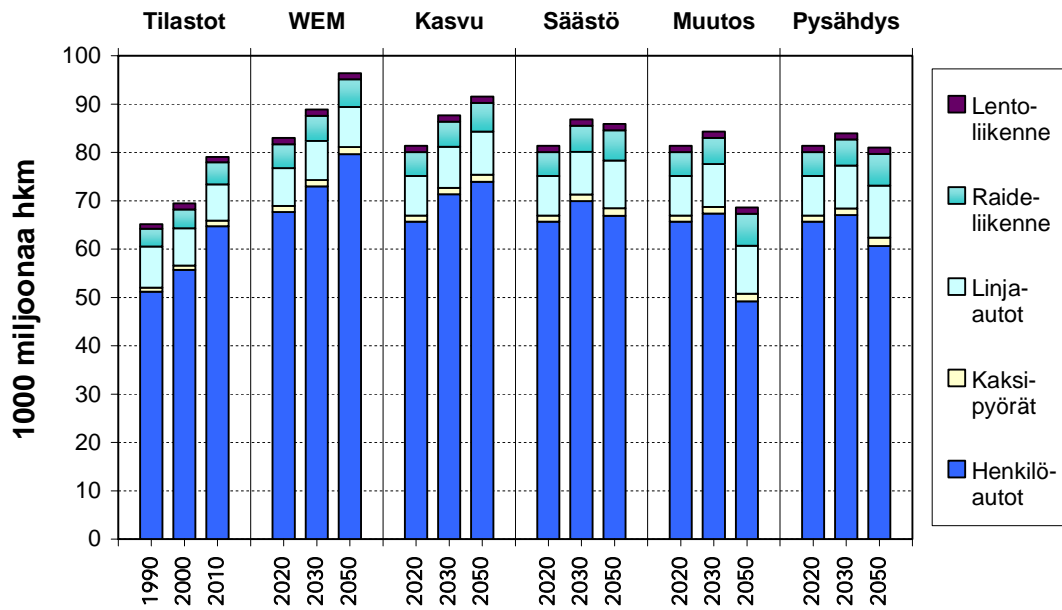
Kuva 7. Tieliikenteen ajoneuvosuoritteiden kehitys eri skenaarioissa.



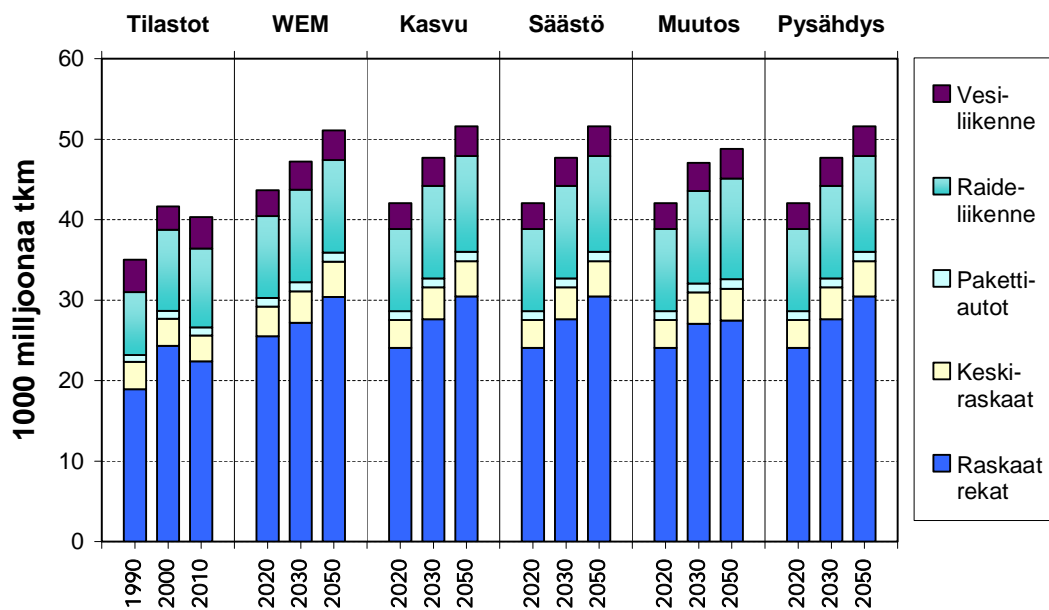
⁶³ Hiiletön liikenne 2045 – polkuja päästöttömään tulevaisuuteen. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän väliraportti. Liikenne- ja viestintäministeriö 2018.

⁶⁴ LIPASTO – calculation system for traffic exhaust emissions and energy use in Finland. <http://lipasto.vtt.fi/index.htm>

Kuva 8. Henkilöliikenteen volyymin kehitys eri skenaarioissa.



Kuva 9. Tavaraliikenteen volyymin kehitys eri skenaarioissa.



Maatalous

Maatalouden kehitystä arvioitiin sekä MALULU- että PITKO-hankkeissa. WEM:iä lukuun ottamatta PITKO:n ja MALULU:n maatalousskenaariot kuitenkin poikkesivat toisistaan. Toisin kuin MALULU:ssa, PITKO-skenaarioissa oli mukana oletuksia ruokavaliomuutoksista, joka vaikutti erityisesti oletuksiin kotieläinten määrästä. PITKO-hankkeessa kuitenkin hyödynnettiin Lukelta saatuja arvioita maataloussektorin päästövähennyspotentiaaleista.

Maatalousskenaarioiden keskeiset lähtöoletukset koskevat karjatalouden eläinmäärien, viljelyalan ja viljasadon sekä eloperäisten turpepeltojen alan ja päästöjen kehitystä. Energia- ja

ilmastostrategian vaikutusarvioiden taustalaskelmissa mallinnettiin erikseen toimet turvepeltojen päästöjen vähentämiseksi, mutta koska MALULU:n Maatalous-LT-skenaariossa oletetaan päästöjä voitavan vähentää huomattavasti enemmän, turvepeltojen päästöjen kehitykselle laadittiin skenaariotarinoiden mukaiset kehitysarviot, jolloin aiemmin arvioituja toimia ei voitu enää päällekkäisyyden takia ottaa mallinnukseen mukaan. Kaikissa vähäpäästöskenaarioissa eloperäisten maiden päästöt vähenevät siten oletusten mukaan voimakkaammin kuin aiemmin strategian taustalaskelmissa mallinnetuilla toimilla, ja Pysähdys-skenaariota lukuun ottamatta niin käy jo vuoteen 2030 mennessä.

Kotieläinten määrän oletetaan noudattavan laskevaa trendiä kaikissa skenaarioissa (Taulukko 6, kuvat 10 ja 11). Pysähdys-skenaariossa painotetaan omavaraisuutta, minkä vuoksi siinä oletetaan sama kotieläinten määrä kuin WEM-skenaariossa, joka siis vastaa MALULU:n Maatalous-WEM-skenaariota. Kaikissa muissa skenaariossa oletettu käyttäytymisen muutos enenevässä määrin kasvispainotteiseksi ajaa erityisesti nautakarjan määrää alaspäin. Merkittävin alenema on oletettu Muutos-skenaariossa, mutta myös Jatkuva kasvu -skenaariossa kotieläinten määrien on oletettu laskevan merkittävästi. Muutos-skenaariossa on lisäksi oletettu, että uudet proteiinilähteet, kuten hyönteiset, valtaavat markkinoita. Toisaalta, kuten jäljempänä esitetystä kuvasta nähdään (Kuva 14), Jatkuva kasvu -skenaariossa olisi mahdollonta päästä asetettuun 87,5 %:n päästövähennystavoitteeseen ilman merkittävää maatalouden päästöjen vähennystä, koska skenaariossa lähtökohtaisesti oletettiin, että negatiiviset päästövähennyskeinot (l. bio-CCS) eivät olisi mahdollisia. Näin ollen muun muassa maatalouden päästöjä ei olisi mahdollista kompensoida negatiivisilla päästöillä.

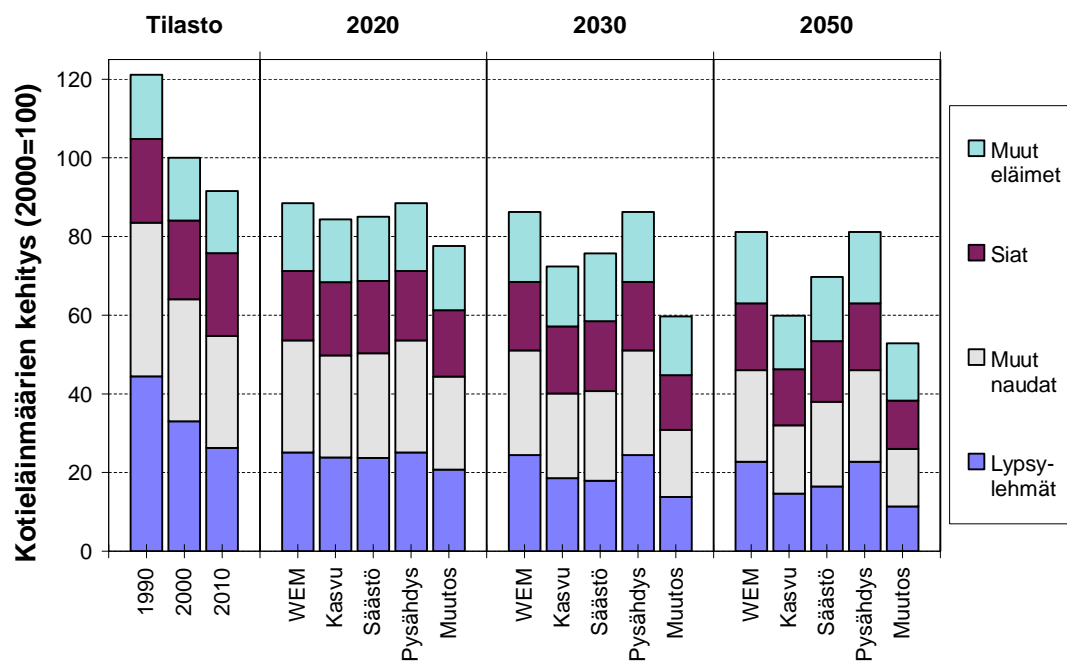
Viljelyalan osalta ei ole oletettu merkittäviä muutoksia skenaarioiden välillä. Vuonna 2015 viljelyala (vilja-ala, nurmiala ja muu viljelyala) oli tilastojen mukaan yhteensä 19 700 km².⁶⁵ Säästö-skenaariossa, joka edustaa ns. kiihdytettyä biotalousskenaariota, peltoala on suurin. Osaltaan tähän vaikuttaa myös suurempi luomuviljelyn määrä, jossa hieman alhaisemmat satomäärät/ha kompensoidaan kasvattamalla peltoalaa. Myös Pysähdys-skenaariossa on WEM-skenaariota suurempi peltoala omavaraisuuden turvaamiseksi. Muutos-skenaariossa on alhaisin peltoala, koska taustalla on paitsi alhaisempi rehun kysyntä, myös oletettu ruoantuotanto mm. vertikaaliviljelmillä ja synteettisesti esimerkiksi reaktoreissa.

⁶⁵ SVT: Luonnonvarakeskus, Käytössä oleva maatalousmaa. Luonnonvarakeskus, 2018.

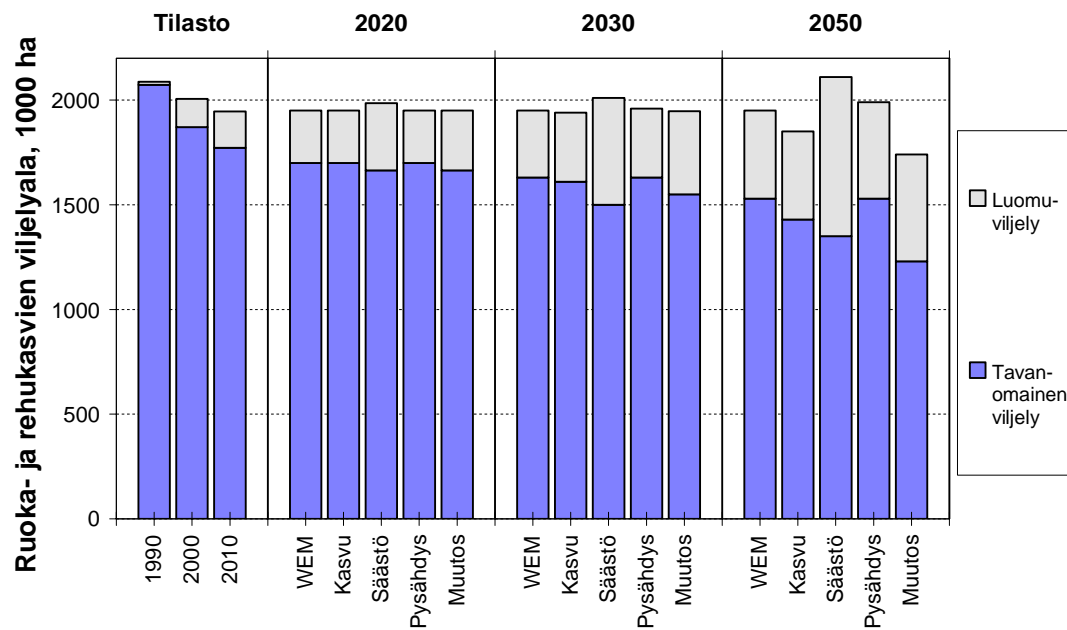
Taulukko 6. Maataloutta koskevat keskeiset lähtöoletukset.

WEM	yks.	2015	2020	2030	2040	2050
Lypsylehmät	1000 yks.	285	277	270	257	251
Muut naudat	1000 yks.	915	923	863	791	756
Siat	1000 yks.	1243	1145	1131	1116	1102
Siipikarja	1000 yks.	12927	13621	14051	14338	14338
Viljelyala	1000 ha	1970	1950	1950	1950	1950
Turvepellot	1000 ha	325	331	343	354	363
Turvepellot, N ₂ O	Gg	4.98	4.96	5.16	5.33	5.49
Jatkuva kasvu	yks.	2015	2020	2030	2040	2050
Lypsylehmät	1000 yks.	285	263	205	181	161
Muut naudat	1000 yks.	915	841	700	629	564
Siat	1000 yks.	1243	1210	1104	1020	927
Siipikarja	1000 yks.	12927	12617	12044	11327	10753
Viljelyala	1000 ha	1970	1950	1940	1890	1850
Turvepellot	1000 ha	325	317	259	133	72
Turvepellot, N ₂ O	Gg	4.98	3.97	3.24	2.09	1.16
Säästö	yks.	2015	2020	2030	2040	2050
Lypsylehmät	1000 yks.	285	261	198	189	181
Muut naudat	1000 yks.	915	864	739	717	699
Siat	1000 yks.	1243	1192	1154	1083	1002
Siipikarja	1000 yks.	12927	12904	13621	12927	12927
Viljelyala	1000 ha	1970	1984	2009	2059	2109
Turvepellot	1000 ha	325	317	269	194	137
Turvepellot, N ₂ O	Gg	4.98	4.74	4.01	3.22	2.37
Muutos	yks.	2015	2020	2030	2040	2050
Lypsylehmät	1000 yks.	285	229	152	139	125
Muut naudat	1000 yks.	915	767	553	514	474
Siat	1000 yks.	1243	1094	904	851	798
Siipikarja	1000 yks.	12927	12927	11813	11656	11498
Viljelyala	1000 ha	1970	1950	1947	1829	1740
Turvepellot	1000 ha	325	317	246	162	102
Turvepellot, N ₂ O	Gg	4.98	4.74	3.67	2.70	1.76
Pysähdys	yks.	2015	2020	2030	2040	2050
Lypsylehmät	1000 yks.	285	277	270	257	251
Muut naudat	1000 yks.	915	923	863	791	756
Siat	1000 yks.	1243	1145	1131	1116	1102
Siipikarja	1000 yks.	12927	13621	14051	14338	14338
Viljelyala	1000 ha	1970	1950	1960	1979	1989
Turvepellot	1000 ha	325	317	317	266	232
Turvepellot, N ₂ O	Gg	4.98	4.70	4.70	4.42	4.02

Kuva 10. Kotieläinmäärien määrän kehitys eri skenaarioissa.



Kuva 11. Viljelyalan kehitys eri skenaarioissa.



5. MUUTOSPOLKUJEN VAIKUTUSARVIOT SUOMEN ENERGIATALOUTEEN JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEEN

Antti Lehtilä, VTT

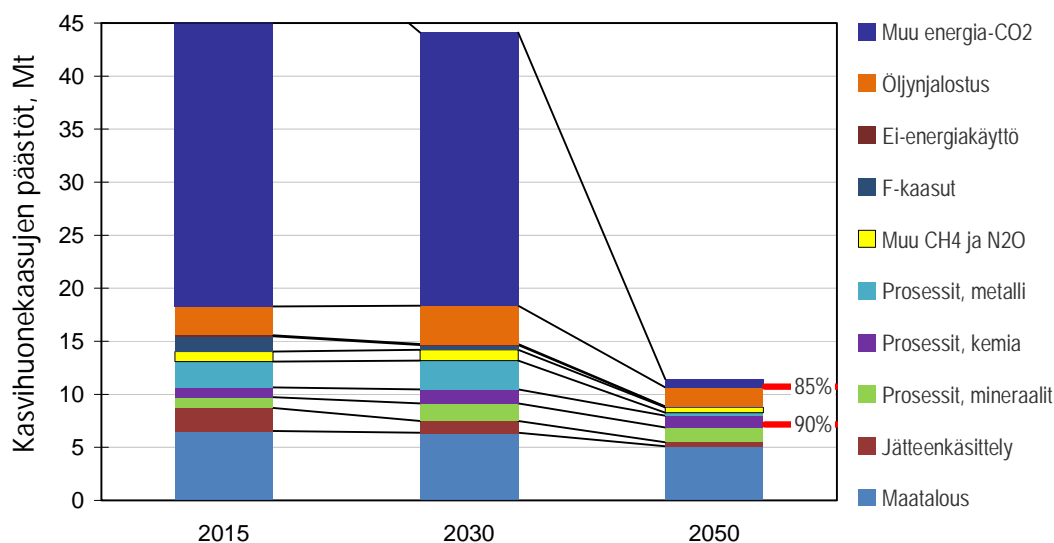
5.1. Tarkastelumenetelmä ja taserajaukset

Energiajärjestelmätarkasteluissa arvioitiin perusskenaarion (WEM) ja vaihtoehtoisten vähäpäästöskenaarioiden (EU-80%, Jatkuva kasvu, Muutos, Säästö ja Pysähdys) energianhankintaa, energiankäyttöä sektoreittain ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä vuoteen 2050 asti. Tarkastelut toteutettiin TIMES-VTT-energiajärjestelmämallilla, jonka kuvaus on esitetty luvussa 1.3.

Järjestelmämallitarkasteluun rajattiin kuuluvaksi kaikki Suomen kasvihuonekaasujen päästölähteet LULUCF-päästöluokkaa lukuun ottamatta. Näin ollen PITKO-hankkeen tarkasteluissa ei voitu käsitellä kokonaispäästötavoitteita siten, että maankäytön, metsien ja puutuotteiden hiilivarastojen muutokset olisivat mukana, vaan ainoastaan LULUCF-luokan ulkopuolelle jääviä päästöjä ja mahdollisia hiilinieluja. Mahdollisina nieluina tulevat tällöin kyseeseen ainoastaan hiilidioksidin tekninen talteenotto ja varastointi bioenergiaan sovellettuna (ks. kohta CCS ja negatiiviset päästöt luvussa 5.2), sillä bioenergian poltosta syntyvien päästöjen oletetaan olevan kansainvälisen inventointikäytännön mukaisesti hiilineutraaleja. LULUCF-luokan päästöjen ja nielujen kehitys kussakin skenaariossa arvioitiin karkeasti hyödyntämällä Luken MALULU-hankkeen skenaariotuloksia (ks. luku 7.1).

Kun pyritään hyvin suuriin vähennyksiin päästöissä, hiilinielujen eli niin sanottujen negatiivisten päästöjen hyödyntäminen voi tehdä tavoitteiden saavuttamisen oleellisesti helpommaksi. Näiden negatiivisten päästövähennystoimien avulla voidaan tyytyä vaikeimmissa kohteissa lievempiin suhteellisiin päästövähennyksiin, joita negatiiviset päästöt kompensoivat siten, että päästöjen ja nielujen erotuksena saatavat nettopäästöt toteuttavat tavoitteen. Vaikeimpia vähennyskohteita ovat muun muassa maatalouden ja monien teollisuusprosessien päästöt, jotka ovat perusrassassa (WEM) vuonna 2030 yhteenlaskettuna yli 20 % vuoden 1990 päästöistä. Voidaan siten arvioida, että yli 85 %:n päästövähennyksen saavuttaminen vuoteen 1990 verrattuna on jo hyvin haasteellista ilman negatiivisten päästöjen tukea. Kuvassa 12 on esitetty vuoden 2015 kasvihuonekaasupäästöt sekä suuntaa-antavat arviot vuosien 2030 ja 2050 päästöjen kehityksestä sektoreittain. Vuoden 2030 arviossa on huomioitu energia- ja ilmastostrategiassa sekä KAISU:ssa päätetyt linjaukset ja toimet päästöjen vähentämiseksi. Vuoden 2050 osalta on esitetty karkea arvio eri sektoreiden päästöistä siirryttäessä vähähiiliseen yhteiskuntaan, jotta voidaan hahmottaa 85–90 %:n päästövähennystavoitteen haasteellisuutta ilman negatiivisia päästövähennyskeinoja.

Kuva 12. Syvien päästönvähennysten haaste ilman negatiivisia päästöjä.



5.2. Vaikutukset päästöihin

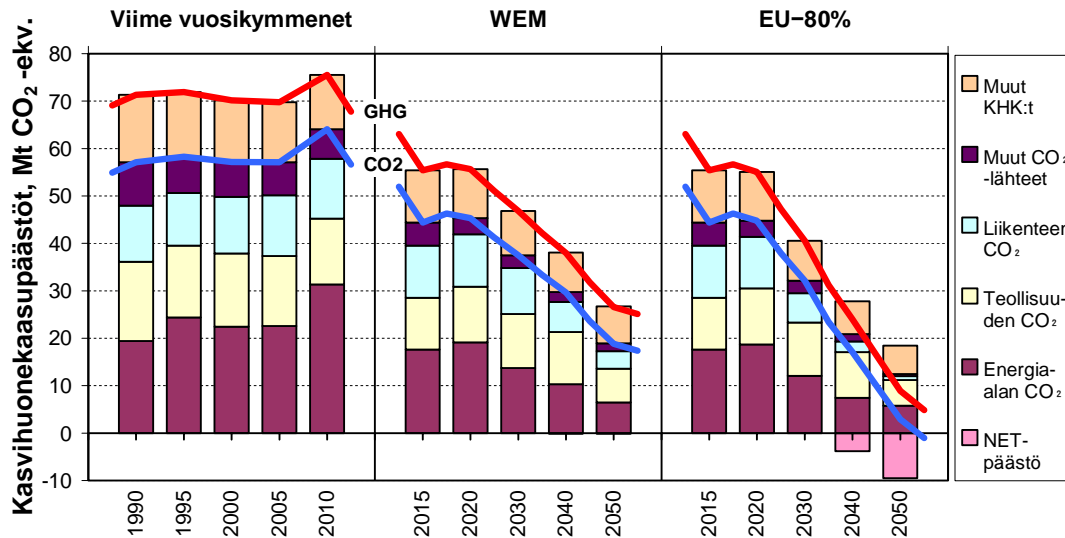
Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaistaseet

Energiajärjestelmämalli kattaa kaikki Kioton pöytäkirjan käsittelemät neljä tärkeintä kasvihuonekaasulajia, eli hiilidioksidin (CO₂), metaanin (CH₄), typpioksiduulin (N₂O) ja niin sanotut F-kaasut (fluorihiilivedyt (HFC), perfluorihiilivety (PFC) ja rikkiheksafluoridi (SF₆)). Uutena F-kaasulajina mukaan tulleen typpitrifluoridin (NF₃) päästöjä ei kansallisen inventaarin mukaan Suomessa käytännössä ole. Mallilaskelmissa Suomelle on kaikissa vähäpäästöskenaarioissa (EU-80% ja PITKO-hankkeen neljä skenaariota) asetettu kansallinen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen vähimmäistavoite, joka on 85–90 % vuoden 1990 kokonaispäästöistä (ks. luku 1.1).

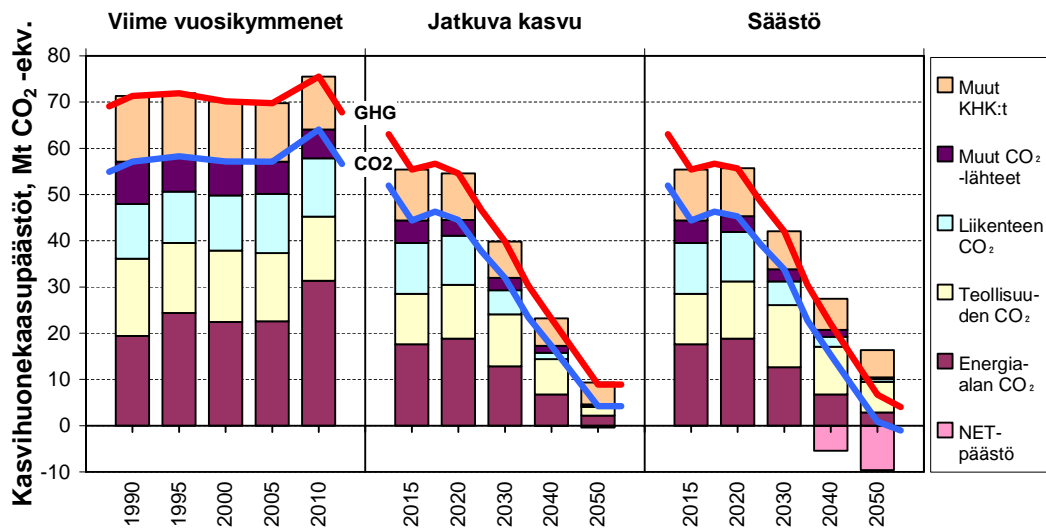
Kuvassa 13 on esitetty Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys perusurassa (WEM) ja EU-80%-skenaariossa (ilman LULUCF-sektoria). WEM-skenaariossa ovat mukana vain nykyiset politiikkatoimet, mutta EU-80%-skenaariossa mukana ovat suunnitellut kotimaiset lisätoimet, EU:n energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteet vuodelle 2030 ja EU:n tavoite vähintään 80 %:n kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksestä vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta.

Tulosten mukaan päästöjen kokonaismäärä on vuonna 2020 kummassakin skenaariossa noin 55 Mt CO₂-ekvivalenttia, eli 23 % vähemmän kuin vertailuvuonna 1990. Päästöurat alkavat kuitenkin erkaantua toisistaan selvästi 2020-luvulla siten, että EU-80%-skenaariossa kokonaispäästöjen vähennys on vuonna 2030 noin 43 % vuoden 1990 tasosta. Suomi ylittää siten tässä vähäpäästötavoitteiden vertailupolussa EU:n yhteisen vuotta 2030 koskevan tavoitteen, joka on 40 %:n vähennys kokonaispäästöissä. Koska WEM-perusurassa on käytetty EU:n komission perusoletuksia päästöoikeuksien hintojen kehityksestä (ks. kuva 1), päästöt vähenevät vuoden 2030 jälkeen edelleen verraten tasaisesti noin 27 miljoonan tonnin tasolle vuoteen 2050 mennessä, mikä vastaa jo 63 %:n vähennystä vuoden 1990 tasosta. EU-80%-skenaariossa Suomelle on asetettu 87,5 %:n kansallinen vähimmäistavoite, joka saavutetaan skenaariossa huomattavalta osin bio-CCS:n tuottamien noin 10 miljoonan tonnin suuruisten negatiivisten päästöjen tuella. Bruttopäästöissä (ilman negatiivista päästökompensatiota) vähennys on tässä skenaariossa noin 75 % vuonna 2050 vuoden 1990 tasosta.

Kuva 13. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys WEM- ja EU-80%-skenaariossa.



Kuva 14. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys Jatkuva kasvu ja Säästö-skenaariossa.



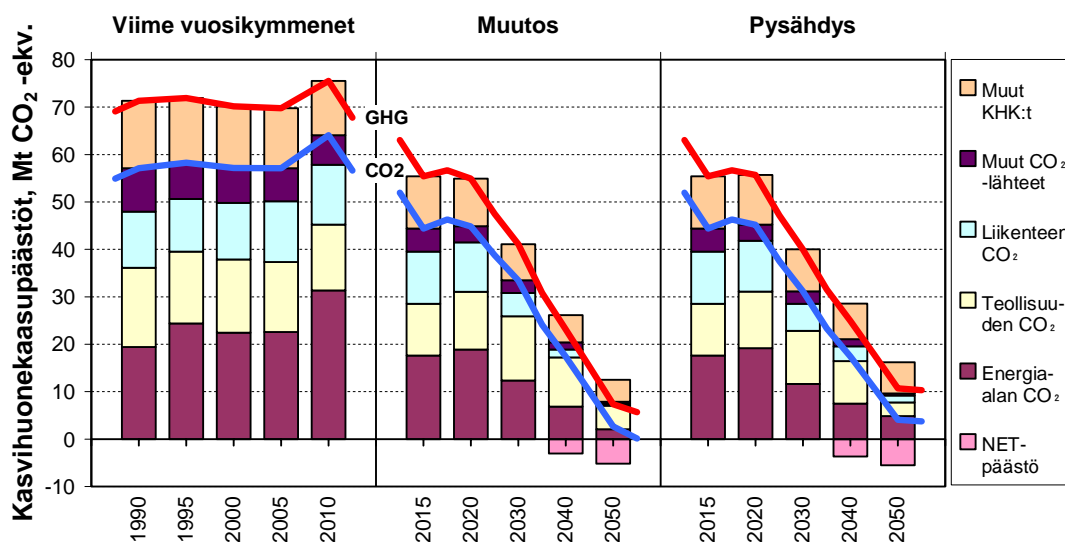
Hahmotelluista vähäpäästöpoluista Jatkuva kasvu ja Säästö edustavat hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin osalta skenaariotarinoiden ääripäitä. Jatkuvan kasvun skenaariossa CCS:n oletetaan osoittautuvan joko teknis-taloudellisesti tai hyväksyttävyyteen liittyvien esteiden takia toteuttamiskelvottomaksi Suomessa, kun taas Säästö-skenaariossa oletetaan CCS:n ja erityisesti myös bio-CCS:n (bioenergian konversioon sovellettu CCS) olevan käytettävissä, mutta talteen otettu hiilidioksidi joudutaan kuljettamaan esimerkiksi Pohjanmerellä tai Baltiassa sijaitseviin loppusijoituskohteisiin.

Kuvasta 14 voidaan havaita, miten CCS:n puuttuminen keinovalikoimasta johtaa Jatkuvan kasvun skenaariossa erittäin tiukkoihin päästövähennystoimiin kaikilla sektoreilla, mukaan lukien maatalous ja teollisuusprosessit, joissa päästöjen voimakas vähentäminen on teknis-taloudellisten arvioiden mukaan vaikeinta. Skenaariossa polttoaineiden polton päästöjä kyetään tulosten mukaan vähentämään kustannustehokkaasti noin 95 % ja teollisuusprosessien päästöjä 79 % vuoteen 2010 verrattuna, mutta myös maatalouden päästöjä joudutaan vähen-

tämään huomattavasti, lähes 50 %, jotta asetettu 87,5 %:n päästövähennystavoite saavutetaan. Maatalouden päästövähennyksistä merkittävän osuus tulee eloperäisten maiden N_2O -päästöjen rajoittamisesta noin 75 %:lla Luken arvioiden mukaisesti, mutta sen lisäksi tarvitaan tuntuvia vähennyksiä kotieläinten metaanipäästöissä, jotka toteutuvat Jatkuvan kasvun skenaariossa pääosin oletusten mukaisten eläinmäärien kehityksen myötä. Teollisuudessa mineraaliteollisuuden raaka-aineperäisten prosessipäästöjen tuntuva vähentäminen on Jatkuvan kasvun skenaariossa pulmallista, sillä terästeollisuuden siirtyessä vetypelkistykseen maasuonikuonaa ei enää ole saatavissa sementin seosmateriaaliksi kalkkikivestä poltetun klinkkerin korvaajaksi, eikä myöskään CCS ole käytettävissä.

Säästö-skenaariossa CCS-tekniikan käyttö bioenergiaan puolestaan johtaa negatiivisiin polttoaineiden polton päästöihin vuonna 2050, jolloin erityisesti maatalouden päästöihin voidaan kohdistaa lievempiä toimia. Maataloudessa päästöjen vähennys jää tällöin 24 %:iin, mikä myös mahdollistaa skenaariotarinan mukaisen ruoka-omavaraisuuden säilymisen hyvänä ilman suuria muutoksia ruokavaliassa. Säästö-skenaariossa CCS:n kaupallistuminen ja soveltaminen Suomessa johtavat päästöjen vähentämiseen yli oletetun 90 %:n vähimmäistavoitteen, kun oletettu päästökauppa tekee negatiivisten päästöjen tuottamisen kannattavaksi.

Kuva 15. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys Muutos- ja Pysähdys-skenaariossa.



Muutos- ja Pysähdys-skenaarioiden päästökehitystä on havainnollistettu kuvassa 15. Tulosten mukaan Muutos-skenaario johtaa odotetusti lähes yhtä jyrkkään bruttopäästöjen väheneeseen kuin Jatkuvan kasvun skenaario siitä huolimatta, että myös CCS on rajoitetusti käytettävissä, mikä on omiaan lieventämään bruttopäästöjen vähennystä. Vuonna 2050 Muutos-skenaariossa päästään lähes yhtä suuriin päästövähennyksiin kuin Säästö-skenaariossa, vaikka niiden vähimmäistavoite on Muutos-skenaariossa Säästö-skenaariota lievämpi, 87,5 %. Toisin sanoen myös Muutos-skenaariossa kyetään ylittämään asetettu kansallinen päästötavoite. Yleisen teknologisen kehityksen suhteen epäsuotuisimmassa Pysähdys-skenaariossa päästöjen vähennystavoite on puolestaan lievin, 85 %, mutta tavoitetta on silti vaikea saavuttaa kohtuullisin kustannuksin. Erityisesti juuri maatalouden ja teollisuusprosessien päästöt jäävät Pysähdys-skenaariossa vähäpäästöskenaarioista korkeimmiksi vuonna 2050, mikä johtuu maatalouden osalta pitkälti WEM-skenaariota mukaisista maatalouden kehityssarvioista ja prosessiteollisuuden osalta muista skenaarioista hitaammasta teknologisesti kehityksestä muun muassa perusmetallien valmistuksessa.

Kasvihuonekaasujen inventaareissa, joilla päästötaseita raportoidaan muun muassa YK:n ilmastopimuksen sihteeristölle ja EU:n komissiolle, päästöt raportoidaan seuraavilta sektoreilta:

- 1 (A) polttoaineiden energiakäytön päästöt talouden kaikilla sektoreilla ja (B) polttoaineiden tuotantoon, jakeluun ja kulutukseen liittyvät haihtuma- ja karkauspäästöt
- 2 teollisuusprosesseista vapautuvat, raaka-aineiden ja polttoaineiden raaka-ainekäytöstä aiheutuvat päästöt, sekä F-kaasujen ja dityppioksidin käytöstä aiheutuvat päästöt niiden eri käyttösovelluksissa
- 3 maatalous: kotieläinten ruoansulatuksen CH₄-päästöt, lannankäsittelyn CH₄- ja N₂O-päästöt, maaperän N₂O-päästöt, kasvintähteiden pellolla polton N₂O-päästöt sekä kalkituksen ja urealannoituksen CO₂-päästöt
- 4 LULUCF: CO₂-päästöt ja -poistumat eri maankäyttöluokista; lisäksi raportoidaan mm. puutuotteiden, maastopalojen ja metsäkulutuksen päästöt sekä pellonraivauksen, metsämaiden ja turvetuotantoalueiden N₂O- ja CH₄-päästöt
- 5 jäte: kaatopaikat, kompostointi ja jätevesien käsittely
- lisäksi raportoidaan NMVOC- ja CH₄-päästöistä syntyvät epäsuorat CO₂-päästöt.

Taulukko 7. Kasvihuonekaasupäästöjen tase vuonna 2030 (pl. LULUCF).

Gg(CO ₂ -ekv.)			WEM	EU-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Muutos	Pysähdys
	2010	2015	2030					
1A Polttoaineiden polton päästöt	60095	40715	32785	27476	27075	29192	28753	26546
1A1 Energiateollisuus	30947	17766	11998	10340	10888	11618	11504	9781
1A2 Teollisuus ja rakentaminen	10250	6949	8210	8089	8106	9629	9452	8193
1A3 Kotimaan liikenne	12712	11109	9812	6292	5351	5248	5041	5820
1A4 Muut sektorit	4982	3803	1720	1708	1684	1650	1709	1705
1A5 Muu polttoainekäyttö	1204	1088	1047	1047	1047	1047	1047	1047
1B Polttoaineiden haihtumapäästöt	142	146	128	128	135	140	139	134
2 Teollisuusprosessit ja tuotekäyttö	6147	5861	6188	6007	6123	5909	5992	5909
2A Mineraaliteollisuus	1167	964	1182	1198	1101	1099	1198	1099
2B Kemianteollisuus	1016	1170	1373	1373	1373	1373	1373	1373
2C Metalliteollisuus	2439	2142	2724	2724	2937	2724	2708	2724
2D Muu kuin energiakäyttö	85	104	100	100	100	101	101	100
2F F-kaasut	1438	1480	808	612	612	612	612	612
3 Maatalous	6630	6491	6576	5883	5297	5701	5001	6328
3A Kotieläinten ruoansulatus	2099	2117	2046	1984	1573	1605	1240	1984
3B Lannankäsittely	748	751	817	805	644	702	536	778
3D Maatalousmaat	3502	3439	3486	2876	2862	3175	3008	3349
3F Kasvintähteiden poltto pellolla	2	3	3	3	3	3	3	3
3G Kalkitus	277	180	222	213	213	213	213	213
3H Urean levitys	2	2	2	2	2	2	2	2
5 Jätteiden käsittely	2583	2134	1038	993	1111	1005	1118	989
5A Jätteiden kaatopaikkasijoitus	2194	1766	696	651	769	663	776	647
5B Jätteiden biologinen käsittely	144	113	100	100	100	100	100	100
5D Jätevesien puhdistus	246	254	242	242	242	242	242	242
Epäsuorat CO ₂ -päästöt	68	53	76	62	62	62	62	62
Päästöt yhteensä pl. LULUCF-sektori	75664	55400	46790	40549	39802	42008	41064	39967

Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty järjestelmämallinnuksen tuloksista kootut kasvihuonekaasupäästöjen taseet vuosille 2030 ja 2050, käyttäen päästöjen inventaarioissa noudatettua jaottelua, mutta ilman LULUCF-luokkaa. On huomattava, että erityisesti luokkien 1A1 ja 1A2 välinen raja on laskentamallissa jonkin verran inventaariosta poikkeava, joten päästöjen kohdentumista näiden keskeisten päästöluokkien kesken on pidettävä vain suuntaa-antavana.

Taulukko 8. Kasvihuonekaasupäästöjen tase vuonna 2050 (pl. LULUCF).

Gg(CO ₂ -ekv.)			WEM	EU-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Muutos	Pysähdys
	2010	2015						
1A Polttoaineiden polton päästöt	60095	40715	15110	1354	3157	-492	1053	2205
1A1 Energiateollisuus	30947	17766	5836	-2149	1869	-6598	-3246	-1735
1A2 Teollisuus ja rakentaminen	10250	6949	3780	2111	694	5029	3423	1921
1A3 Kotimaan liikenne	12712	11109	3767	884	154	649	424	1535
1A4 Muut sektorit	4982	3803	801	337	272	260	283	316
1A5 Muu polttoainekäyttö	1204	1088	927	171	168	168	168	168
1B Polttoaineiden haihtumapäästöt	142	146	117	82	53	90	56	90
2 Teollisuusprosessit ja tuotekäyttö	6147	5861	4445	1996	1323	1611	1915	2261
2A Mineraaliteollisuus	1167	964	1125	1167	922	960	1178	816
2B Kemiateollisuus	1016	1170	221	223	220	461	546	220
2C Metalliteollisuus	2439	2142	2608	416	0	0	0	1043
2D Muu kuin energiakäyttö	85	104	107	107	107	107	108	107
2F F-kaasut	1438	1480	383	83	75	83	83	75
3 Maatalous	6630	6491	6344	5044	3946	5065	3869	5701
3A Kotieläinten ruoansulatus	2099	2117	1864	1821	1270	1495	1063	1821
3B Lannankäsittely	748	751	664	781	441	610	562	619
3D Maatalousmaat	3502	3439	3589	2224	2018	2742	2027	3044
3F Kasvintähteiden poltto pellolla	2	3	3	3	3	3	3	3
3G Kalkitus	277	180	222	213	213	213	213	213
3H Urean levitys	2	2	2	2	2	2	2	2
5 Jätteiden käsittely	2583	2134	452	362	359	362	362	362
5A Jätteiden kaatopaikkasijoitus	2194	1766	142	165	161	165	165	165
5B Jätteiden biologinen käsittely	144	113	85	85	85	85	85	85
5D Jätevesien puhdistus	246	254	225	113	113	113	113	113
Epäsuorat CO2 päästöt	68	53	76	62	62	62	62	62
Päästöt yhteensä pl. LULUCF-sektori	75664	55400	26545	8900	8900	6697	7316	10680

CCS ja negatiiviset päästöt

Kuten edellä on todettu, niin sanottuja negatiivisia päästöjä voidaan saada aikaan paitsi LU-LUCF-sektorilla (maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous), myös ottamalla talteen hiilidioksidia joko ilmakehästä tai uusiutuvasta biomassasta ja varastoimalla se pysyvästi esimerkiksi geologisiin muodostelmiin. Tässä työssä on energiajärjestelmämallinnuksen yhteydessä käsitelty negatiivisina päästöinä ainoastaan CCS:n soveltamista uusiutuvan bioenergian konversiossa (BECCS), joka on yksi negatiivisia päästöjä tuottava teknologinen ratkaisu.⁶⁶ CCS:n soveltaminen fossiilisten polttoaineiden tai materiaalien konversiossa ei tuota negatiivisia päästöjä, mutta voi kaupallistuessaan tulla yhdeksi keskeiseksi teknologiaksi, jolla voidaan laajentaa energiantuotannon ja teollisuuden päästövähennysten keinovalikoimaa. Hiilidioksidin talteenotto ilmakehästä (DAC I. Direct Air Capture) on kehittyvä teknologia, jonka kustannustehokkuuden kehittämisessä on vielä hyvin suuria epävarmuuksia⁶⁷ ja jota ei siksi otettu tarkastelussa vähäpäästöskenaarioiden keinovalikoimaan. Tulevaisuudessa sillä saatetaan kuitenkin olla suuri merkitys joko negatiivisia päästöjä tuottavana teknologiana tai hiili-neutraalien polttoaineiden tuotannossa. CCS:n lisäksi onkin lisääntyvässä määrin tutkimuksia

⁶⁶ Minx, J.C., Lamb, W.F., Callaghan, M.W., Fuss, S., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J. and Khanna, T., 2018. Negative emissions—Part 1: Research landscape and synthesis. *Environmental Research Letters*, 13(6), p.063001.

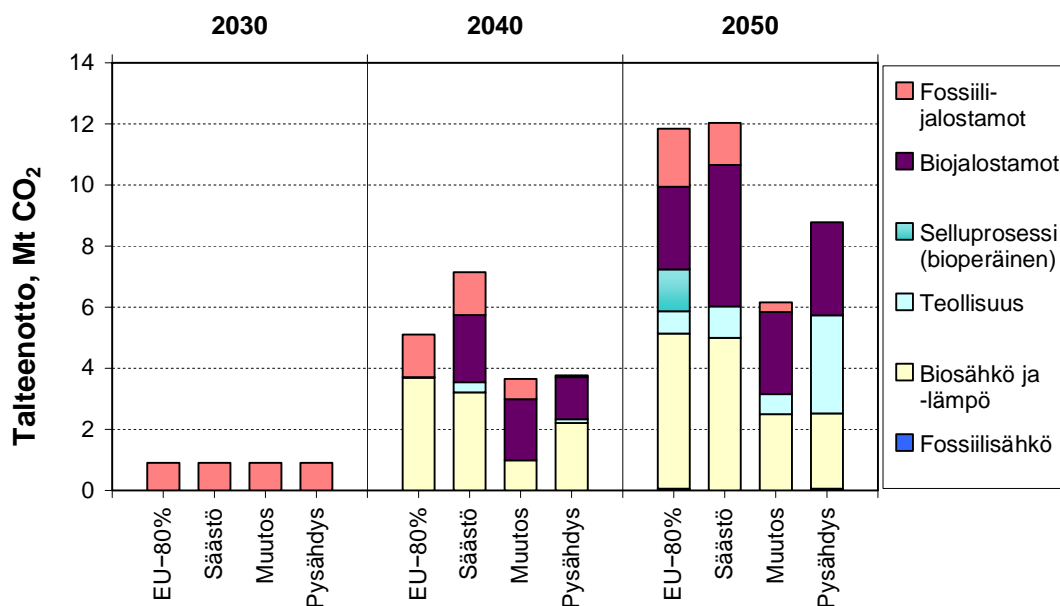
⁶⁷ Fuss, S., Lamb, W.F., Callaghan, M.W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T. and Luderer, G., 2018. Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters*, 13(6), p.063002.

ja selvityksiä talteenotetun hiilidioksidin hyötykäytöstä, eli CCU-teknologioista (Carbon Capture and Utilisation). Jotta CCU:n avulla voitaisiin saavuttaa päästövähennyksiä, talteen otetun hiilidioksidin pitäisi sitoutua pitkäikäisiin tuotteisiin tai CO₂ tulisi syntetisoida esimerkiksi polttoaineeksi korvaamaan fossiilisia energialähteitä.

Tarkastelluista vähäpäästöskenaarioista CCS:n oletettiin kaupallistuvan ja olevan vuoden 2030 jälkeen laajasti käytettävissä EU-80%- ja Säästö-skenaarioissa siinä määrin kuin hiilidioksidin loppusijoituskapasiteettia on eri lähteissä arvioitu olevan hyödynnettävissä.⁶⁸ Muutos- ja Pysähdys-skenaarioissa CCS:ää oletettiin voitavan soveltaa bioenergian konversiossa rajoitetummin (korkeintaan 5,5 miljoonaa tonnia CO₂), sillä esimerkiksi EU:n päästökaupan yhteydessä ei ole toistaiseksi selviä bio-CCS:n käsittelyä koskevia sääntöjä. Jatkuvan kasvun skenaariossa CCS oli suljettu kokonaan pois päästöjen vähentämisen keinovalikoimasta Suomessa. Mallilaskelmissa on otettu huomioon myös hiilidioksidin kuljetuskustannukset, jotka on oletettu huomattavasti suuremmiksi sisämaassa sijaitseville laitoksille rannikolla sijaitseviin laitoksiin verrattuna.

Tulosten mukainen CCS-tekniikan soveltamisen laajuus on esitetty kuvassa 16. Mallilaskelmat osoittavat, että nimenomaan bio-CCS:n sovelluksille voi syntyä Suomen oloissa merkittävä potentiaali, mikä juontuu puubioenergian huomattavista resursseista ja laajasta käyttö-potentiaalista sekä yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa että tulevaisuudessa myös biopolttoaineiden jalostuksen kautta syntyvissä uusissa käyttökohteissa.

Kuva 16. Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin soveltamisen laajuus eri skenaarioissa.



Lähtöoletusten mukaisesti CCS:n soveltaminen voi olla laajinta EU-80%- ja Säästö-skenaarioissa, ja tulokset noudattavat näitä oletuksia. Fossiilisten polttoaineiden konversion osuus CCS:n sovelluksista on suurinta EU-80%-skenaariossa, jossa se on vuonna 2050 noin 10 % talteen otetun hiilidioksidin kokonaismäärästä ja kohdistuu valtaosin polttoaineiden jalostukseen, kuten vedyn valmistukseen. Sekä EU-80%- että Säästö-skenaariossa bioenergian hyödyntämiseen yhdistetty CCS tulee verraten laajaan käyttöön suurten kaukolämpöverkkojen yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa, joissa laitosten kokoluokka ja hiilidioksidin vo-

⁶⁸ Esim. Gode, J. et al. Potential for carbon capture and storage (CCS) in the Nordic region. Espoo: VTT, 2010. VTT Research Notes 2556.

lyymi ovat riittävän suuria CCS:n kilpailukyvyyn kannalta. Kummassakin skenaariossa biojalosteiden (mm. liikenteen biopolttoaineiden) valmistuksen yhteydessä syntyvän hiilidioksidin talteenotto on toinen merkittävä CCS:n käyttökohde Suomessa. EU-80%-skenaariossa myös osaan sellutehtaiden soodakattiloista olisi tulosten mukaan kannattavaa asentaa hiilidioksidin talteenotto.

Muutos- ja Pysähdys-skenaarioissa bio-CCS:n soveltaminen jää oletusten mukaisten rajoitusten takia tuntuvasti suppeammaksi, ja fossiilisten polttoaineiden konversioon sitä ei sovellettaisi juuri ollenkaan vuoden 2040 jälkeen. Pysähdys-skenaariossa myös teollisuusprosessihin liitetty CCS nousee merkittävään rooliin, mikä selittyy suurelta osin malmipohjaisen hiiliteräksen valmistuksen jatkumisella masuuniteknologialla tässä skenaariossa.

5.3. Energiajärjestelmävaikutukset

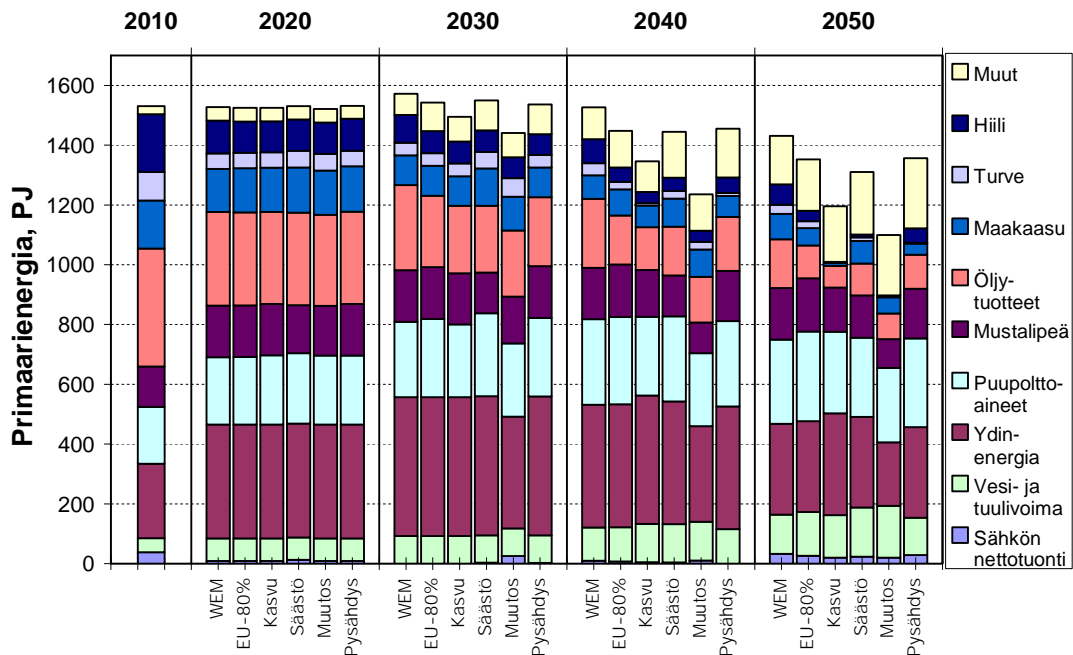
Primaarienergian kokonaiskulutus

Energian kokonaiskulutus eli primaarienergian kulutus ja sen jakautuminen eri energialähteisiin on kasvihuonekaasupäästöjen kannalta keskeinen kehitystekijä, sillä polttoaineperäiset päästöt ovat nykyisin noin 75 % kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä (LULUCF-sektori pois lukien).

TIMES-VTT-mallin tuottama primaarienergian kokonaiskulutuksen kehitys on esitetty kuvassa 17. Energian kokonaiskulutus on mallinnettu ja raportoitu yhdenmukaisesti IEA:n energiataseiden kanssa, joten luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia kansallisen energiatilastoinnin kanssa. Primaarienergian kokonaiskulutus on WEM-skenaariossa korkeimmillaan noin 1570 PJ (436 TWh) vuonna 2030, jonka jälkeen kulutus alkaa pienentyä. Vähäpäästöskenaarioissa mukana olevilla energia- ja ilmastostrategian lisätoimilla on varsin pieni vaikutus kulutuksen kokonaismäärään: ne laskevat kulutusta vain noin yhden prosentin vuosina 2020–2030 WEM-skenaarioon verrattuna.

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 kivihiiilen 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 kumpikin tuntuvasti primaarienergiataseeseen, ja samoin vaikuttavat Loviisan ja Olkiluodon vanhojen laitosten käyttöiän pidennykset. Lauhdevoiman tuotannossa, jossa nettoprimaarienergiahyötysuhde jää nykytekniikalla alle 40 %:n, ydinenergian käyttö lisää energian kokonaiskulutusta, mutta toisaalta se vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä kotimaiseen sähkön tuotantoon ja sähkön tuontia. Pelkästään korvaamalla ydinvoimalla sähkön tuontia Olkiluoto 3:n tuotannon verran, energian kokonaiskulutus kasvaisi noin 6 %. Fossiilista hiiltä käytetään EU-80%- ja Pysähdys-skenaarioissa vielä 2040 ja 2050 perusmetallien valmistusprosesseissa.

Kuva 17. Primaarienergian hankinta eri skenaarioissa.

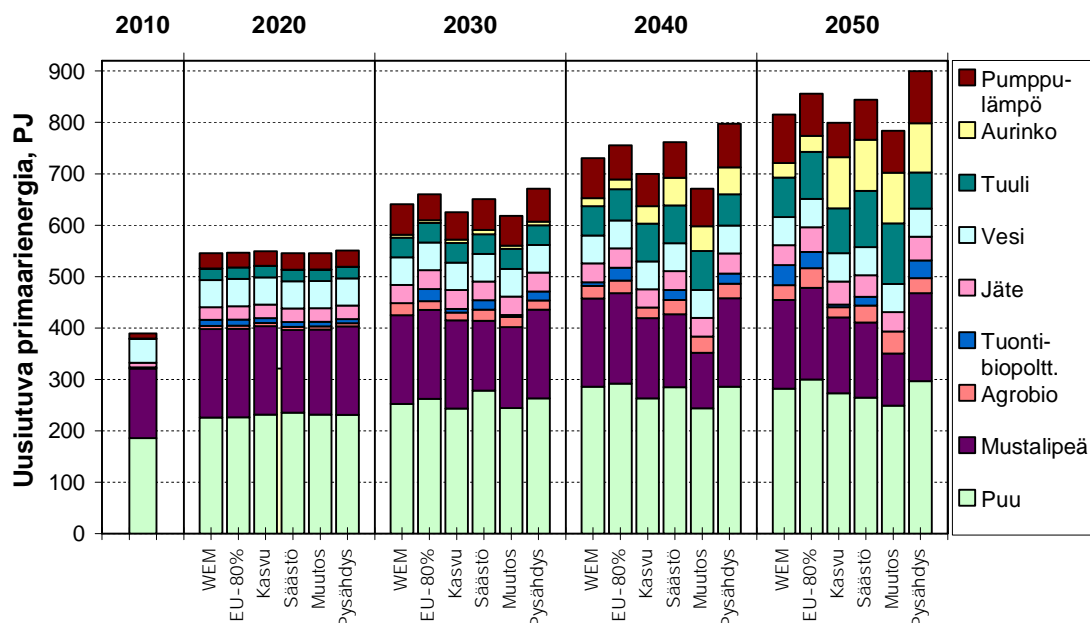


Uusiutuvan energian kokonaismäärä nousee vuoteen 2030 mennessä 60–70 % vuoden 2010 tasosta, kuten voidaan nähdä kuvasta 18. Vuoteen 2050 mennessä vastaava lisäys on 100–130 %. Lisäys on suurinta Pysähdys-skenaariossa, jossa muita vähäpäästöskenaarioita heikompi energiatehokkuuden kehitys johtaa suurimpaan uusiutuvan energian tarpeeseen. Tuuli- ja aurinkoenergia nousevat kaikissa vähäpäästöskenaarioissa merkittävään asemaan uusiutuvan energian hankinnassa. Muutos-skenaariossa niiden osuus nousee suurimmillaan 28 %:iin uusiutuvan energian kokonaishankinnasta vuonna 2050, kun osuus oli vuonna 2016 vain runsaat 2 %. WEM-skenaariossa osuus nousee noin kuusinkertaiseksi, 13 %:iin. Tuuli-voiman osalta kannattaa kuitenkin huomata, että viimeaikainen kehitys on ollut nopeaa, minkä vuoksi arvioihin sisältyy merkittävää epävarmuutta. Muun muassa McKinsey arvioi Sitran teettämässä tuoreessa selvityksessä⁶⁹, että tuulivoimakapasiteetin huomattavasti suurempi kasvu verrattuna PITKO-skenaarioihin olisi kustannustehokasta jo vuoteen 2030 mennessä.

Kuvassa 18 "puu" tarkoittaa kaikkea muuta puuperäistä primaarienergiaa metsäteollisuuden sivutuoteliemiä ja kierrätyspuuta lukuun ottamatta. Vuoteen 2030 mennessä puun energiakäyttö (puu ja mustalipeä yhteensä) kasvaa tuntuvasti erityisesti EU-80%- ja Pysähdys-skenaarioissa, mikä johtuu osaltaan metsäteollisuuden tuotantomääristä, jotka tuovat kasvua sivutuotteiden määrään, ja toisaalta metsähakkeen käytön lisäyksestä. Kun puun energiakäyttö oli vuonna 2016 yhteensä noin 350 PJ (97 TWh), se nousee vuonna 2030 eri skenaarioissa 401–436 PJ:n määrään (111–121 TWh). Vuoden 2030 jälkeen skenaariotarinoiden väliset erot johtavat merkittäviin eroihin myös puun energiakäytössä, joka on 350–477 PJ vuonna 2050 (97–132 TWh). Muutos-skenaariossa käyttö supistuu vuoden 2030 tasosta tuntuvasti takaisin 350 PJ:n tasolle, ja käyttö kasvaa enää vain EU-80%- ja Pysähdys-skenaarioissa. Näissä skenaarioissa puun energiakäytön lisäystä aiheuttaa vuoden 2030 jälkeen erityisesti biopolttonesteiden kysyntä. Säästö-skenaariossa energiakäyttöä rajoittaa metsäteollisuuden sellutuotannon kasvu, jonka ainespuun käyttö rajoittaa energiakäyttöön saatavissa olevaa puuta, vaikka toisaalta biopolttonesteiden kysyntä aiheuttaa sille lisäyspainetta. Mustalipeän energiakäyttöä vähentää Säästö- ja Muutos-skenaariossa ligniinin ja hemiselluloosan hyödyntäminen energian sijasta uusiin biotaloustuotteisiin.

⁶⁹ Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 for Finland. Helsinki: Sitra, Sitra studies 140.

Kuva 18. Uusiutuvan primaarienergian hankinta eri skenaarioissa.



Myös maatalouden sivutuotteiden käyttö nousee vähäpäästöskenaarioiden tuloksissa näkyväksi sekä biokaasun tuotannossa että oljen energiakäyttönä. Yhdyskuntajätteen energiakäyttö kasvaa kaikissa skenaarioissa vuoteen 2030 mennessä noin 20 PJ:n (n. 6 TWh) tasolle, eikä kasva enää sen jälkeen.

Sähköenergian hankinta ja kulutus

Energiateollisuus, erityisesti sähkön ja lämmön tuotanto, on maailmanlaajuisesti tärkein hiilidioksidia polttoaineiden poltosta tuottava sektori, ja Suomessa sen osuus polttoaineiden polton hiilidioksidipäästöistä on ollut lisäksi kansainvälistä keskiarvoa suurempi. Sähkön ja lämmön tuotannon kehityksellä on siten keskeinen merkitys kaikissa vähäpäästöpoluissa, mikä korostuu myös sen vuoksi, että energian loppukulutuksessa yksi keskeisimmistä päästöjen vähennyskeinoista on energiankäytön sähköistyminen.

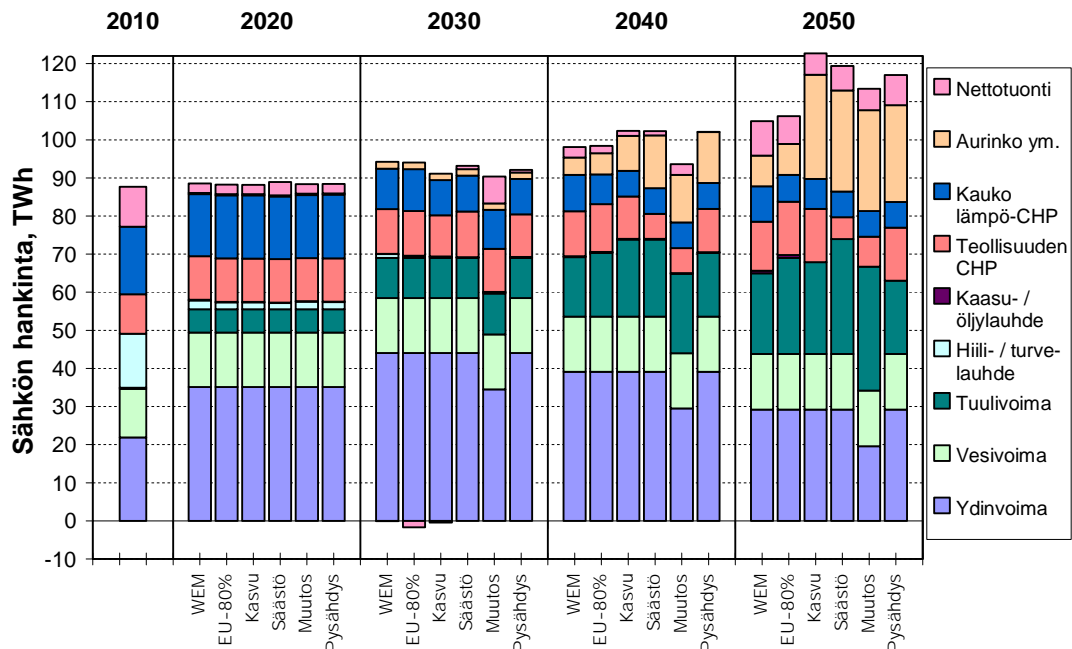
Mallilaskelmien mukainen sähkön kokonaishankinnan kehitys on esitetty kuvassa 19 (yhteistuotanto eriteltynä) ja energialähteittäin kuvassa 20. Tulosten mukaan sähkön kokonaiskulutus nousee vuonna 2030 WEM-skenaariossa 94 TWh:iin ja vähäpäästöskenaarioissa vain hieman alemmaksi, 90–92 TWh:iin. Muutos-skenaariota lukuun ottamatta sähkön kulutus ja tuotanto ovat vuonna 2030 lähes tasapainossa kahden uuden ydinvoimalaitoksen ansiosta. Muutos-skenaariossa Fennovoiman ydinvoimahankkeen jääminen toteuttamatta johtaa noin 7 TWh:n tuontitarpeeseen vuonna 2030. Vähäpäästöpolkujen vaikutukset sähkötaseeseen alkavat näkyä selvemmin vasta vuoden 2030 jälkeen, jolloin sähköistyminen voimistuu kaikilla sektoreilla ja sähköä aletaan käyttää laajemmassa mitassa myös energian jalostukseen (ns. power-to-X-teknologia). Vuonna 2050 sähkön kokonaiskulutus on tulosten mukaan 105–122 TWh, jossa on kasvua 11–35% 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. Pienin sähkön kulutuksen kasvu tarvitaan EU-80%-skenaariossa, jossa CCS on käytettävissä mutta energiajärjestelmän muutokset ovat muilta osin vähäpäästöpoluista maltillisimpia. Vuonna 2050 sähkön tuontitarve on tulosten mukaan eri skenaarioissa 6–8 TWh, eli siltä osin sähkön huoltovarmuus pysyy kohtuullisen hyvänä verrattuna nykytilanteeseen.

Aurinkovoiman kustannukset ovat pudonneet erittäin voimakkaasti viimeisen kymmenen vuoden aikana, ja kustannuskehityksen odotetaan jatkuvan suotuisana vielä pitkään. Samalla aurinkokennotekniikka on siirtymässä uuden sukupolven tekniikoihin, jotka vaativat entistä vähemmän kriittisiä metalleja ja materiaaleja. Näillä perusteilla kaikissa vähäpäästöskenaarioissa oletettiin aurinkovoiman kustannusten alenemisen jatkuvan verraten nopeana, kuitenkin siten, että EU-80%- ja Pysähdys-skenaariossa aleneminen hidastuu vuoden 2030 jälkeen tuntuvasti. Mallilaskelmien tuloksissa oletukset johtavat aurinkovoiman läpimurtoon Suomenkin olosuhteissa vuoden 2030 jälkeen niin, että vuonna 2050 tuotanto on kaikissa neljässä PITKO-skenaariossa 25–27 TWh. Vähäpäästöpoluista muista poikkeava on EU-80%-skenaario, jossa tuotanto jää noin 8 TWh:n tasolle.

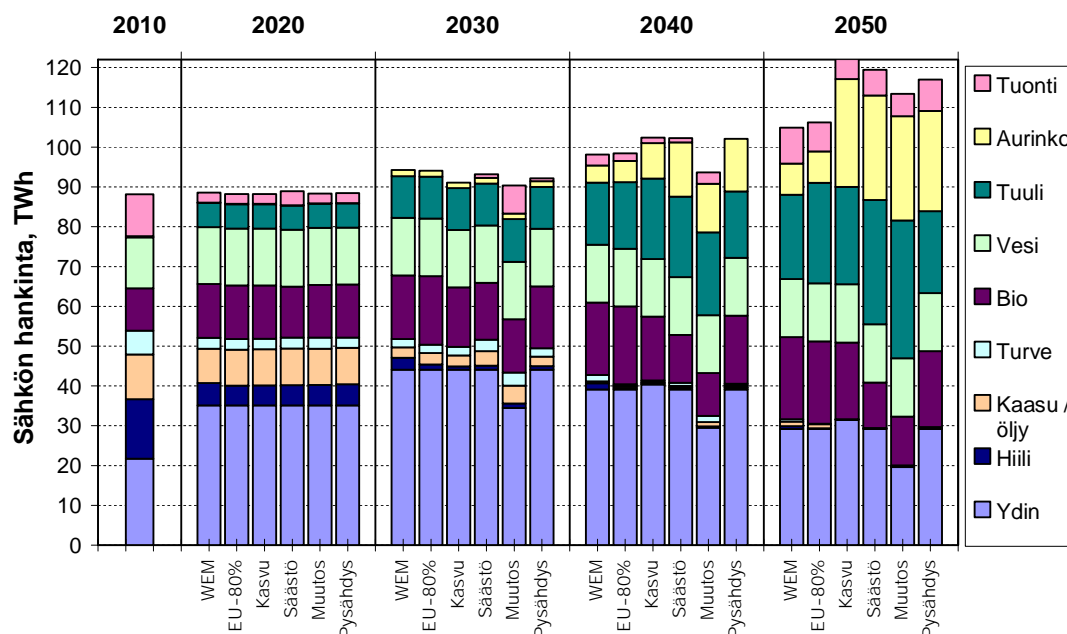
Tuulivoiman tuotanto nousee vuonna 2020 yli 6 TWh:n ja vuonna 2030 kaikissa skenaarioissa yli 10 TWh:n. Vuodelle 2050 VTT:n tuulivoima-asiantuntijat ovat arvioineet realistiseksi teknis-taloudelliseksi potentiaaliksi 28 TWh, josta meritulivoimaa olisi noin 40 %. Mallilaskelmissa tuulivoiman tuotanto nousee vuonna 2050 yli 30 TWh:n Muutos- ja Säästö-skenaarioissa. Pysähdys-skenaariossa tuulivoiman tuotanto jää kuitenkin vain 19 TWh:iin erityisesti merituu-livoiman heikommaksi jäävän kustannuskehityksen ja kilpailukyvyn vuoksi, jolloin aurinko-voima nousee jopa tuulivoimaa suurempaan rooliin sähkön hankinnassa.

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

Kuva 19. Sähköenergian kokonaishankinta eri skenaarioissa.



Kuva 20. Sähköenergian hankinta energialähteittäin eri skenaarioissa.



Sähkön hankinnassa energialähteittäin (kuva 20) voidaan nähdä samansuuntaisia muutoksia kuin primäärienergian kulutuksessa, eli fossiilisten polttoaineiden osuus vähenee huomattavasti ja uusiutuvien energialähteiden osuus vastaavasti kasvaa merkittävästi. Bioenergialla tuotetun sähkön määrä on vuonna 2030 WEM-skenaariossa lähes samalla tasolla kuin vähäpäästöskenaarioissa, mikä johtuu pitkälti siitä, että vuonna 2030 päästötavoitteiden kiristyminen kohdistuu taakanjakosektorille ja biomassaa ohjautuu sähkön sijasta erityisesti liikenteen polttoaineeksi. Vuonna 2050 skenaarioiden välillä on kuitenkin jo huomattavat erot biosähkön tuotannossa. Suurimmaksi sen tuotanto nousee EU-80%-skenaariossa (noin 20 TWh), jossa bio-CCS on keskeinen päästöjen vähennyskeino. Pienimmäksi biosähkön tuotanto jää Muutos- ja Säästö-skenaarioissa, joissa se on 11–12 TWh:n tasolla vuonna 2050, eli vain hieman nykyistä suurempi. Säästö-skenaariossa biosähkön kilpailukykyä heikentää ainespuun käytön laajeneminen, mikä rajoittaa energiapuun käytön lisäystä varsinkin yhdyskuntien sähkön ja lämmön tuotannossa.

Laaja yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto (CHP) on ollut pitkään yksi Suomen energiajärjestelmän keskeinen tehokkuutta lisäävä tekijä. Jouduttaessa luopumaan fossiilisten polttoaineiden käytöstä yhteistuotannon taloudellinen potentiaali kuitenkin supistuu väistämättä, jollei kilpailukykyisiä hiilineutraaleja tai vähäpäästöisiä energialähteitä ole riittävästi saatavissa. Yhdistetyn tuotannon kannalta energiasektorilla hiilineutraaleja vaihtoehtoja ovat bioenergia, ydinenergia ja ilmakehän hiilidioksidista tuotetut synteettiset polttoaineet. Kestävästi tuotetun bioenergian saatavuus on kuitenkin rajoitettua. Biomassan kestävää tuotantoa ja hankintaa rajoittavat erilaiset ekologiset, taloudelliset ja sosiaaliset tekijät. Lisäksi kestävä biomassan raaka-ainekäyttö edellyttää, että biomassaa tulisi ensi sijassa käyttää raaka-aineeksi pitkäikäisiin ja/tai korkean jalostusarvon tuotteisiin taikka ruoantuotantoon. Ydinvoimaan perustuva yhteistuotannon teknologia on toimivaa mutta verraten kallista. Synteettisten polttoaineiden tuottaminen ilmakehän hiilidioksidista on vasta kokeiluvaiheessa olevaa teknologiaa, jota ei otettu skenaariotarkasteluun mukaan.

Tulosten mukaan yhdyskuntien yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto supistuu kaikissa vähäpäästöskenaarioissa 6–8 TWh:iin vuonna 2050. Jäljelle jää pääasiassa vain bioenergiapohjainen yhteistuotanto sekä ydin-CHP, joista jälkimmäisen oletettiin olevan käytettävissä vain Jatkuvan kasvun skenaariossa. Mikäli CCS on käytettävissä, suurissa kaukolämpöverkoissa

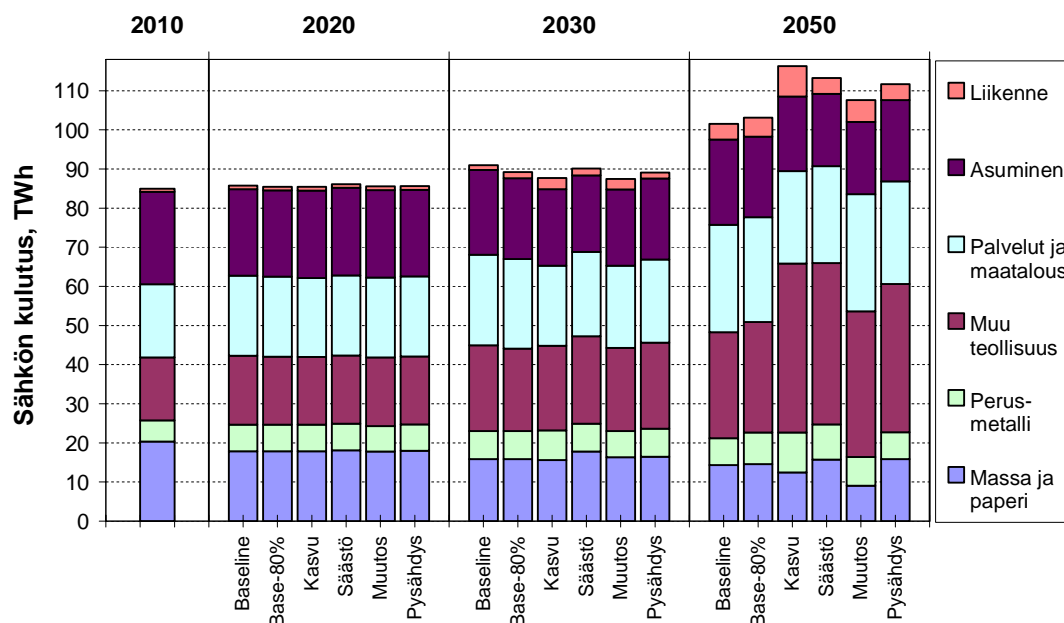
olisi tulosten mukaan edullista investoida CCS:llä varustettuun happipoltto- tai CLC-tekniikkaan (Chemical Looping Combustion) perustuviin laitoksiin. Vaikka bioenergian hinnat nousevat tuntuvasti vähäpäästöskenaarioissa, kaukolämpöverkkojen olemassa olevan infrastruktuurin vuoksi kaukolämpöön liittyvä yhteistuotanto ei kuitenkaan dramaattisesti supistu. Kaukolämmön erillistuotannossa kaukolämpöpumppujen käyttö laajenee voimakkaimmin Muutos-skenaariossa, mikä lisää osaltaan energiasektorin omaa sähkön kulutusta. Teollisuuden CHP nousee EU-80%, Jatkuva kasvu ja Pysähdys -skenaarioissa yhdyskuntia merkittävämpään asemaan, sillä metsäteollisuuden integroidun yhteistuotannon potentiaali kasvaa jonkin verran sellun tuotannon osuuden kasvaessa ja paperin tuotannon lämmönkulutuksen alentuessa.

Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön kokonaismäärän kehitys voidaan myös nähdä kuvasta 20. Vesivoiman hyödyntämisen oletettiin kasvavan hitaasti, lähinnä vanhojen laitosten saneerauksen myötä, ja sen lisäys on samansuuruinen kaikissa skenaarioissa. Uusiutuvan sähkön lisäyksestä suurin osa saadaan tuuli- ja aurinkovoiman kasvusta, mutta myös biosähköllä on tuntuva rooli erityisesti EU-80%-skenaariossa. Kaikkiaan uusiutuvan sähkön osuus nousee vähäpäästöskenaarioissa nykyisestä noin 45 %:sta 69–81 %:iin vuonna 2050. Ydinvoima mukaan lukien sähkön tuotanto on tällöin energiasektorilla 100 %:sesti hiilineutraalia tai hiilnegatiivista EU-80%-skenaariota lukuun ottamatta, jossa päästöttömän tuotannon osuus jää hieman pienemmäksi, 99 %:iin.

Sähkön kulutuksen rakenteessa vähäpäästöskenaariot aiheuttavat 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 energiasektorilla hiilineutraalien polttoaineiden jalostuksen laajenemisen myötä. Mallilaskelmien mukainen sähkön kulutuksen kehitys on esitetty kuvassa 21. Tuloksissa on erityisesti huomattava liikenteen ja muun teollisuuden kulutuksen kasvu. Liikenteen sähkönkulutus nousee vuonna 2050 suurimmillaan 8 TWh:iin Jatkuvan kasvun skenaariossa, jossa suurin osa henkilöautoista on silloin täyssähköautoja. Alhaisimmaksi liikenteen kulutus jää puolestaan Pysähdys-skenaariossa.

Muu teollisuus sisältää energiateollisuuden, jonka kulutuksen kasvu on suurin sähkön kokonaiskulutuksen kasvuun vaikuttava tekijä. Energiateollisuuden kulutuksen kasvu syntyy lähinnä energian varastoinnin ja konversion häviöistä, hiilineutraalien sähköpolttoaineiden tuotannosta sekä kaukolämpöpumppujen laajenevasta käytöstä yhdyskuntien kaukolämmön ja jäähdytyksen tuotantoon. Maatalouden sähkönkulutus kasvaa erityisesti Muutos-skenaariossa voimakkaasti uusien tuotantomenetelmien oletetun yleistymisen myötä. Synteettistä biologiaa soveltavat bioreaktorit ja vertikaalinen viljely mullistavat ruoantuotantoa ja lisäävät sen energiankulutusta samalla kuin maatalouden päästöt vähenevät.

Kuva 21. Sähköenergian kulutus sektoreittain eri skenaarioissa.⁷⁰



Energian loppukulutus

Energian loppukulutuksella eli loppuenergian kulutuksella tarkoitetaan tavallisimmin tehdasteollisuuden, asumisen, palvelujen, maa- ja metsätalouden ja liikenteen suoraa energialähteiden kulutusta, jossa ei siis ole mukana energian konversio- ja jakelusektoreiden (esim. polttoaineiden jalostus, sähkön ja kaukolämmön tuotanto, varastointi ja jakelu) energiahäviöitä, eikä myöskään lämpöpumppujen avulla ympäristöstä talteen otettua lämpöenergiaa (vrt. edellinen kappale liittyen sähkön kulutukseen). EU:n uusiutuvan energian osuuden laskennassa noudatetaan tässä suhteessa hieman toisenlaista määritelmää. Tavallisimman ja muun muassa IEA:n noudattaman määritelmän mukainen energian loppukulutus on esitetty kuvassa 22.

Energian loppukulutus oli Suomessa vuonna 2010 yhteensä noin 300 TWh, josta sähköä oli 28 %, lämpöä noin 13 % ja suoraa polttoainekäyttöä 59 %.⁷¹ Tulosten mukaan loppukäytön kokonaismäärä pysyy WEM-skenaariossa vuoteen 2030 saakka lähellä vuoden 2015 tasoa. Tarkastellut lisätoimet johtavat kuitenkin EU-80%-skenaarion tulosten mukaan loppuenergian käytön vähenemiseen noin kolmella prosentilla WEM-skenaarioon verrattuna, mikä johtuu pääosin liikennejärjestelmän tehostumisesta ja sähköistymisestä. Vähennys kohdistuu voimakkaimmin öljytuotteisiin, ja vastaavasti biopolttonesteiden loppukäyttö kasvaa huomattavasti. Siitä huolimatta myös sähkön loppukäyttö alenee lisätoimien myötä yhden prosentin vuonna 2030.

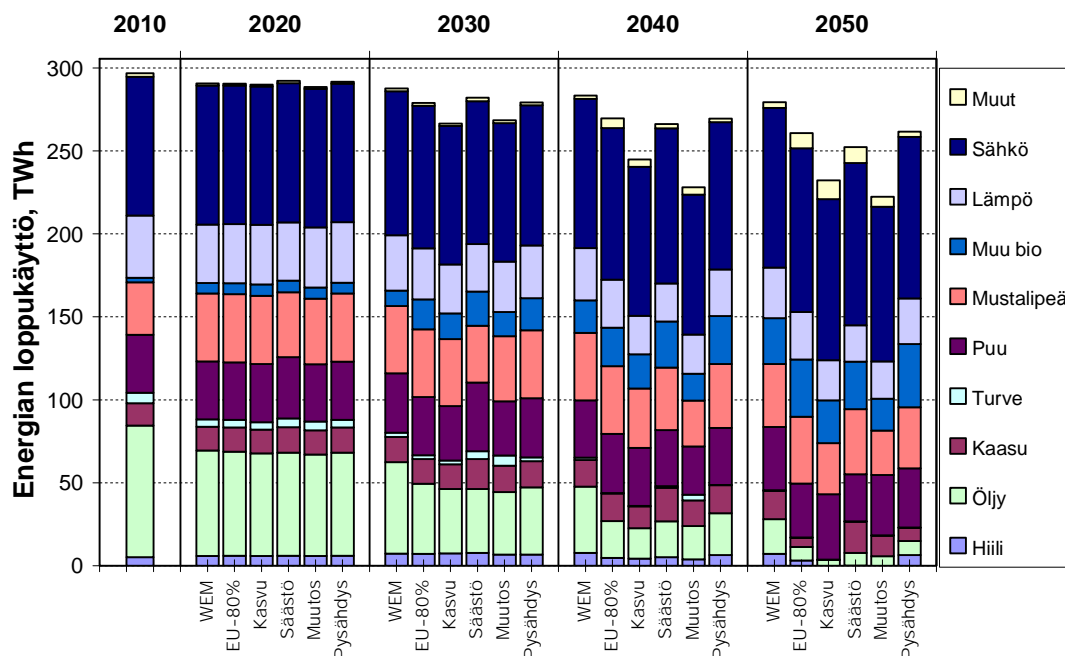
Syvien päästönvähennysten toteuttaminen edellyttää tulosten mukaan huomattavaa sähköistymistä kaikilla energian käyttösektoreilla, sillä fossiilisia polttoaineita ei voida korvata kestävästi bioenergialla riittävän laajassa mitassa. Teollisuudessa keskeisiä vaikutuksia ovat kaikissa skenaarioissa sähköistyminen prosessilämmön tuotannossa ja fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biopolttoaineilla. Lisäksi muissa kuin Pysähdys-skenaarioissa on oletettu malmipohjaisen hiiliteräksen valmistusprosessin vaihtuminen suorapelkistykseksi vuoden

⁷⁰ Energiateollisuus, kuten polttoaineiden jalostus ja konversio, sisältyy muuhun teollisuuteen.

⁷¹ IEA World Energy Statistics and Balances, International Energy Agency, 2015; Energia 2017 -taulukkopalvelu, Tilastokeskus, 2018.

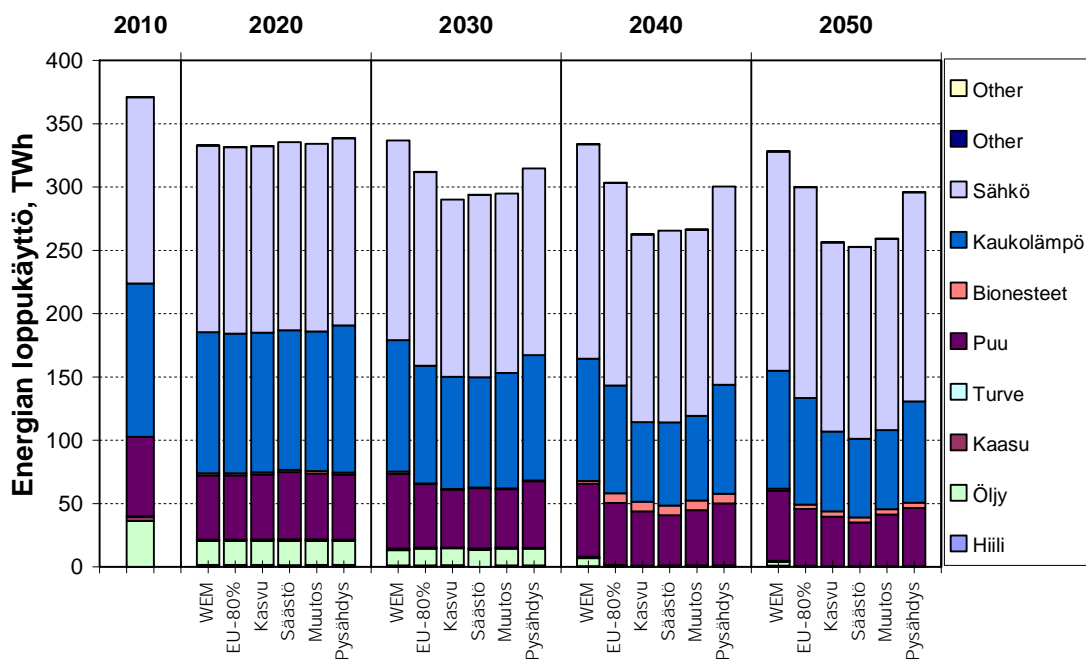
2030 jälkeen korvaamalla koksen käyttö pelkistimenä joko vedyllä tai elektrolyyttisellä prosessilla. Skenaarioissa, joissa CCS on käytettävissä, se otetaan käyttöön sementin valmistuksen ja polttoaineiden jalostuksen tuotantoprosesseissa sekä EU-80%-skenaariossa myös sellunvalmistuksessa ja Pysähdys-skenaariossa malmipohjaisen teräksen valmistuksessa.

Kuva 22. Energian loppukulutus eri skenaarioissa.

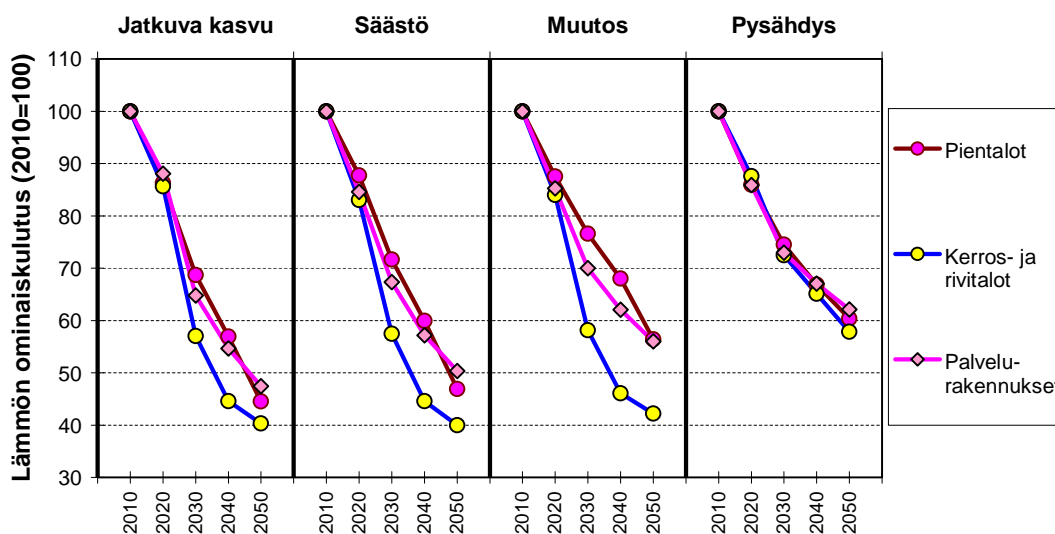


Asumisen ja palveluiden energian loppukulutus pienenee vähäpäästöskenaarioissa jopa yli 30 % vuoden 2010 tasosta vuoteen 2050 mennessä (kuva 23). Rakennusten lämmityksessä jäljellä oleva öljylämmitys korvataan vuoden 2030 jälkeen pääosin lämpöpumpuilla, sähkölämmityksellä ja biopolttoaineilla. Myös biopolttonesteillä on siirtymäkaudella 2030–2050 tuloksissa näkyvä merkitys. Rakennusten energiatehokkuutta parannetaan merkittävästi erityisesti Jatkuva kasvu, Säästö ja Muutos -skenaariossa. Sekä energiatehokkuuden parantumisen että kilpailukykyisen hiilineutraalin kaukolämmön tuotannon rajallisuuden vuoksi kaukolämmön kulutus vähenee Jatkuva kasvu, Säästö ja Muutos -skenaarioissa alle puoleen nykytasosta, mikä samalla vähentää yhdyskuntien yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon potentiaalia. Kiinteät puupolttoaineet pysyvät merkittävänä pientalojen lämmitysmuotona mutta energiatehokkuuden paranemisen takia ne eivät verrattain korkeiden kiinteiden kustannusten takia kuitenkaan saa juuri lisää kilpailukykyä.

Kuva 23. Asumisen ja palveluiden energian loppukulutus eri skenaarioissa.



Kuva 24. Rakennusten lämmityksen ominaiskulutusten kehitys eri skenaarioissa.



Vähäpäästöskenaarioista Jatkuvan kasvu, Säästö ja Muutos -skenaarioissa oletettiin kaikissa sekä varsin voimakas uudisrakennusten energiatehokkuuden paraneminen että laajoja investointeja vanhojen rakennusten korjausrakentamiseen. Koko rakennuskannan lämmitysenergian ominaiskulutuksiin nämä vaikuttavat kuitenkin jossain määrin eri tavoin, sillä uudisrakentamisen volyymi ja vanhan kannan poistuma ovat skenaarioissa erilaisia. Koko kannan ominaiskulutusten alenemista on havainnollistettu kuvassa 24, josta nähdään ominaiskulutuksen putoavan parhaimmillaan noin 60 % vuoden 2010 tasosta.

Kotimaanliikenteen kokonaispäästöt olivat vuonna 2016 noin 12,1 milj. tonnia CO₂-ekv, joista yksinään kotimaanliikenteen henkilöautoliikenne aiheutti yli 50 %, eli noin 6 milj. tonnin, suuruiset päästöt. Henkilöautoliikenteen kehitys on siten liikenteen päästöjen kannalta kotimaanliikenteen tärkein ja myös teknologisilta mahdollisuuksiltaan parhaiten selvitetty osa.

Yhtenä keskeisenä osana uusiutuvan energian käytön lisäystavoitteita on Suomessa viime vuosina esitetty tavoite nostaa liikenteen uusiutuvien energialähteiden osuus 40 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Liikenteen polttoaineista fossiilinen bensiini ja diesel voidaankin teknisesti korvata lähes kokonaan biopolttoaineilla tai siirtymällä sähkö- tai polttokennoajoneuvoihin. Tarkastelluissa skenaarioissa liikenteen bensiinin osalta 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, kuten biodieselillä voidaan korvata fossiilinen dieselöljy. Biokaasun käyttöä ajoneuvoissa voidaan myös laajentaa tuntuvasti, mutta sen merkitys jää kokonaisuutena paljon muita biopolttoaineita pienemmäksi.

Vähäpäästöpolkujen skenaariotarinoissa hyödynnettiin liikenteen tapauksessa liikenne- ja viestintäministeriön Hiiletön liikenne 2045 -hankkeen ILMO-skenaarioita, joissa hahmoteltiin eri vaihtoehtoja liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen poistamiseksi kokonaan.⁷² Säästö-skenaario painottuu ILMO-skenaarioiden BIO-polun tavoin biopolttoaineiden käytön lisäämiseen, Jatkuva kasvu -skenaario painottuu TEKNO-polun tavoin sähköautoihin siirtymiseen ja Muutos-skenaario painottuu PALVELU-polun tavoin liikennejärjestelmän tehostamiseen ja siten tarvittavien ajoneuvosuoritteiden vähentämiseen.

Taulukko 9. Henkilöautokannan kehitys eri skenaarioissa.

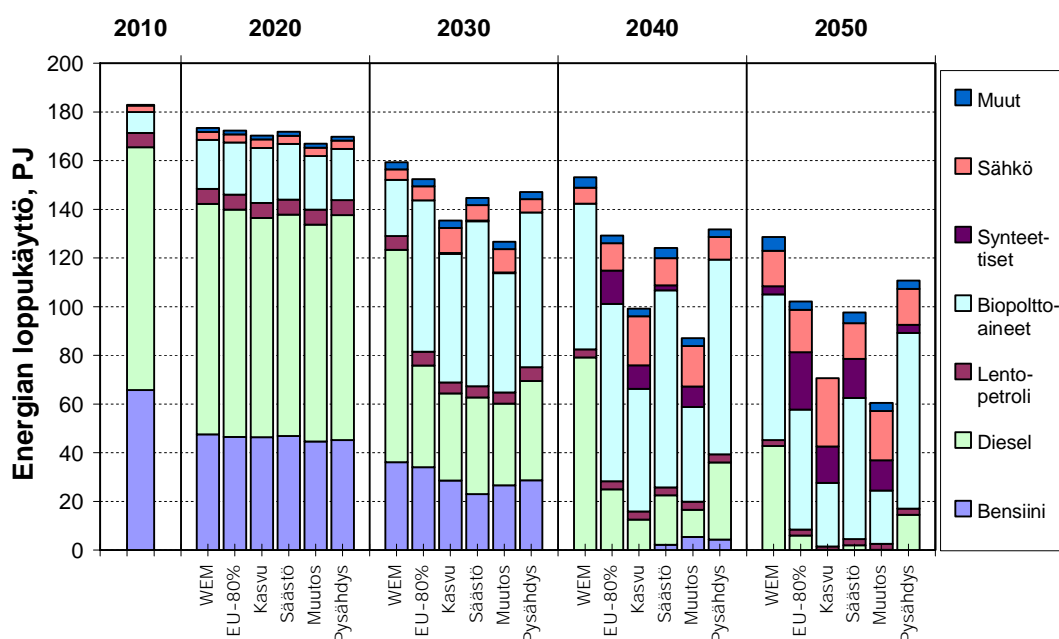
Henkilöautot tuhatta	2017	WEM	EU-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Muutos	Pysähdys
		2030					
Bensiini	1917	1499	1560	1295	1435	1244	1556
Täysetanoli	4	3	3	3	3	3	3
Diesel	732	1267	1048	704	1000	586	977
Kaasu	3	20	37	138	94	125	36
Sähkö	7	151	252	730	342	661	190
Vety	0	0	0	20	25	22	0
Yhteensä	2663	2940	2900	2889	2899	2641	2762
Henkilöautot tuhatta	2017	WEM	EU-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Muutos	Pysähdys
		2050					
Bensiini	1917	655	828	61	557	65	467
Täysetanoli	4	1	1	1	1	1	1
Diesel	732	1287	784	156	1057	107	965
Kaasu	3	42	48	162	148	91	32
Sähkö	7	1045	1225	2444	794	1701	910
Vety	0	141	215	241	418	224	105
Yhteensä	2663	3170	3100	3065	2976	2189	2480

Mallilaskelmien mukainen henkilöautojen määrän kehitys on esitetty taulukossa 9. Käytössä olevien henkilöautojen kokonaismäärä oli vuonna 2017 noin 2,7 miljoonaa, josta määrä kas-

⁷² Hiiletön liikenne 2045 – polkuja päästöttömään tulevaisuuteen. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän väliraportti. Liikenne- ja viestintäministeriö 2018.

vaa WEM-skenaariossa käytetyn perusarvion mukaan vuonna 2030 vajaaseen kolmeen miljoonaan ja 2050 lähes 3,2 miljoonaan autoon. Eri vähäpäästöskenaarioiden ajoneuvomäärissä näkyvät ILMO-skenaarioita myötäilevät linjaukset liittyen sähkö- ja kaasuautoihin. Lisäksi vähäpäästöskenaarioissa oletettiin ladattavien hybridien ja vetypolttojen kaupallistuvan myös raskaan liikenteen ajoneuvotekniikassa. Poikkeuksen muodosti Pysähdys-skenaario, jossa polttojennotekniikan ei oletettu kaupallistuvan raskaassa liikenteessä, mikä näkyy suurimpana fossiilisten polttoaineiden määränä verrattuna muihin vähäpäästöskenaarioihin. Tulosten mukainen kotimaanliikenteen energian loppukulutuksen kehitys näkyy kuvasta 25, joka havainnollistaa varsin selkeästi skenaariotarinoiden välisiä eroja liikenteen teknologisessa kehityksessä. Pienimmiksi liikenteen päästöt putoavat Jatkuvan kasvun skenaariossa, jossa niiden vähennys on noin 99 % vuoden 2010 tasosta.

Kuva 25. Kotimaanliikenteen energian loppukulutus eri skenaarioissa.



Polttoaineiden jalostus

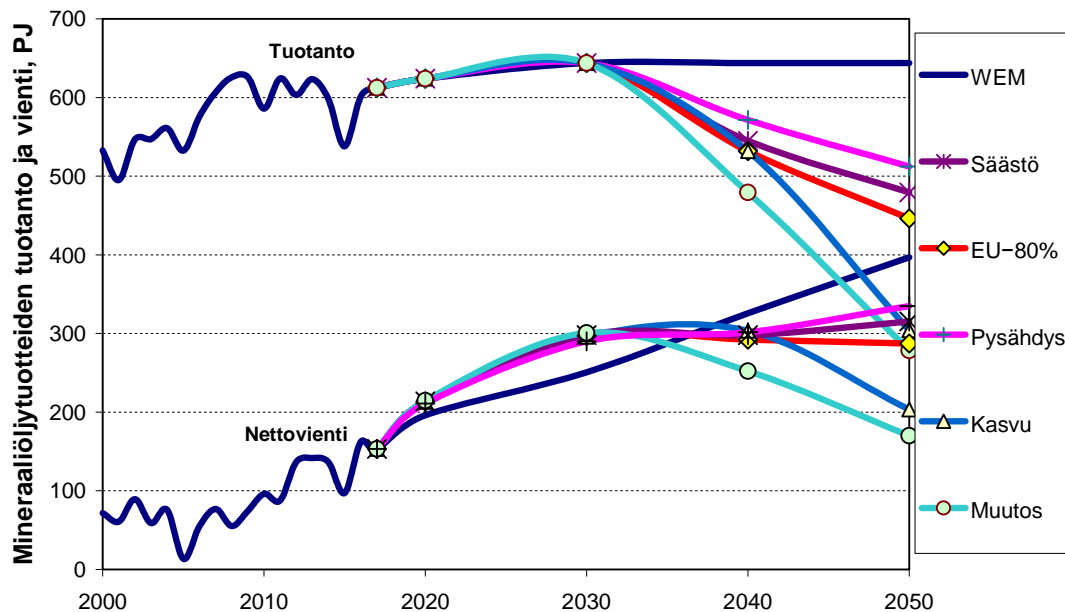
Vaikka Suomessa ei ole käytännössä lainkaan fossiilisten polttoaineiden primaarista tuotantoa, öljynjalostus on ollut Suomessa varsin tärkeä energiateollisuuden ala. Porvoon öljynjalostamon alue on Pohjoismaiden suurin petrokemianteollisuuden keskittymä, ja toinen jalostamo sijaitsee Naantalissa. Jalostamoiden yhteenlaskettu raaka-ainesyöttö on ollut 2000-luvulla vuosittain 12–15 miljoonaa tonnia. Öljynjalostuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasujen polttoaineperäiset päästöt olivat vuonna 2015 yhteensä 2,3 Mt CO₂-ekv. ja siihen liittyvät prosessipäästöt 0,8 Mt, jotka olivat yhteensä lähes 7 % kaikista polttoaineiden ja teollisuusprosessien päästöistä. Biodieselin tuotannosta huolimatta mineraaliöljyn jalostuksen volyymin kehitys ei ole toistaiseksi osoittanut merkkejä kääntymisestä laskuun, sillä raakaöljyn syöttö oli tilastojen mukaan vuonna 2016 lähes 2000-luvun huippuluvuissa. Vähäpäästöskenaarioiden päästötavoitteiden kannalta öljynjalostuksen tuleva kehitys onkin varsin keskeinen.

Tarkastelluissa skenaarioissa mineraaliöljyn jalostuksen volyymin oletettiin pysyvän lähes nykytasolla vuoteen 2030 saakka ja WEM-skenaariossa myös sen jälkeen aina vuoteen 2050 asti. Vähäpäästöskenaarioissa, joissa CCS:n käyttö oli rajoitettu tai kielletty kokonaan, volyymin sallittiin pudota 20–55 % vuoden 2016 tasosta, jotta vuodelle 2050 asetettu päästötaavoite saavutetaan. Tuloksissa toteutuneet volyymin pudotukset ovat pienimpiä Pysähdys-,

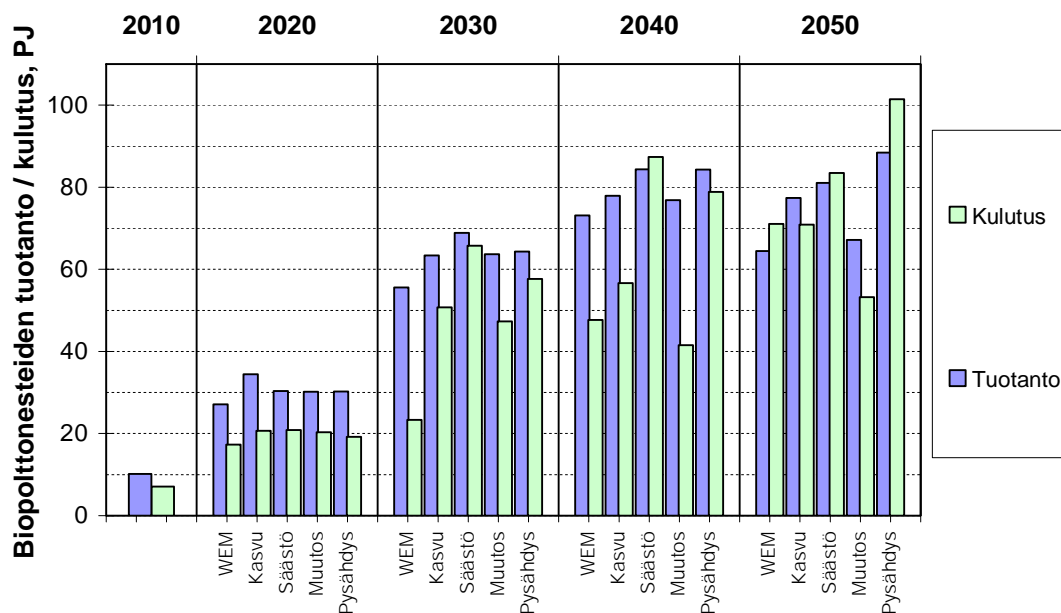
Säästö- ja EU-80%-skenaarioissa ja suurimpia Jatkuvan kasvu ja Muutos -skenaarioissa, kuten voidaan nähdä kuvasta 26. Mikäli jalostuksen päästöintensiteivisyys pysyisi vuoden 2015 tasolla, öljynjalostuksen päästöt olisivat siten vähäpäästöskenaarioissa merkittäviä vielä vuonna 2050. Vähäpäästöskenaarioiden tulosten mukaan päästöt ovat vuonna 2050 1,2–2,0 Mt CO₂-ekv. On kuitenkin huomattava, että CCS:n soveltaminen on otettu huomioon vain jalostukseen käytetyn vedyn valmistuksen yhteydessä. Öljynjalostuksen päästöt ovat siis tavoitteiden saavuttamisen kannalta tällöin yhä hyvin tuntuvat, jopa yli 20 % jäljelle jäävistä nettopäästöistä, joten tarkempi analyysi alan kehityksestä ja päästöjen lisävähennyskeinoista olisi jatkotarkasteluille tarpeellista.

Kuten kuvassa 26 on havainnollistettu, mineraaliöljyn kotimaisen kulutuksen supistuessa öljynjalostuksesta tulee yhä suuremmassa määrin vientiteollisuutta, mikä luonnollisesti kompensoi sen päästöjen aiheuttamaa raskautta kansantaloudelle, kun pyritään syviin kansallisiin päästövähennyksiin. Parhaimmillaan noin 70 % tuotannosta menisi vientiin.

Kuva 26. Mineraaliöljyn jalostus ja vienti.



Kuva 27. Biopolttonesteiden kotimainen tuotanto ja loppukulutus eri skenaarioissa.



Biopolttoaineiden jalostuksen osalta vähäpäästöskenaarioiden teknologiakohtaiset tulokset viittaavat vahvasti siihen, että biopolttoaineiden tuotantotekniikassa kannattaa tulevaisuudessa painottua erilaisiin vedytys- ja vetykäsittelyprosesseihin (esim. vetytehostetut kaasutukseen perustuvat synteesiprosessit, hydrotermiset menetelmät), jotka voivat oleellisesti tehostaa biomassasyötteen käyttöä ja jotka toisaalta voivat hyödyntää vaihtelevaa uusiutuvaa sähköntuotantoa silloin, kun se on edullista. Näin rajallisten biomassavarojen energiakäyttö ja vaihteleva uusiutuva energia tukevat toisiaan.

Mallilaskelmissa on otettu huomioon suunnitellut investoinnit uuteen biopolttonesteiden tuotantokapasiteettiin, josta suuri osa perustuu HVO-pohjaiseen (HVO = Hydrotreated Vegetable Oil, suom. vetykäsittely kasviöljy) tuotantoon. Kuvassa 27 on havainnollistettu biopolttonesteiden kotimaisen tuotannon ja kulutuksen tasetta, joka on yksi energiajärjestelmämallituksen bioenergian käyttöä koskevista keskeisimmistä tuloksista. Tulosten mukaan WEM-skenaariossa biopolttonesteiden tuotanto kasvaa noin 50 PJ:n tasolle vuoteen 2030 mennessä, mutta kulutus pysyy lähes vuoden 2015 tasolla aina vuoteen 2030 saakka. Vähäpäästöskenaarioissa tuotanto kasvaa 2020-luvulla vielä hieman voimakkaammin, jolloin tuotanto kasvaa edelleen vuoden 2030 taakanjakosektorien päästötavoitteiden edellyttämää kulutuksen kasvua nopeammin kaikissa skenaarioissa. Vuonna 2030 tuotanto ylittää parhaimmillaan kulutuksen noin 16 PJ:n määrällä, kun kulutus asettuu 47–65 PJ:n tasolle. Kun myös vuoden 2030 jälkeen kotimainen tuotanto kattaa pääosin hyvin kotimaisen kysynnän, Suomi on biopolttonesteiden osalta vähäpäästöskenaariossa HVO-tuotannon tuontiraaka-aineita lukuun ottamatta pääosin omavarainen koko tarkasteluajavälin. Ainoan selvän poikkeuksen muodostaa Pysähdys-skenaario, jossa liikenteen päästövähennystarpeen saavuttaminen edellyttää melko huomattavaa biopolttonesteiden tuontia vuonna 2050.

5.4. Vaikutukset puun hankintaan ja käyttöön

Energia- ja ilmastostrategian yksi keskeisimmistä tavoitteista on uusiutuvan energian käytön lisääminen 50 %:iin energian kulutuksesta vuoteen 2030 mennessä, muun muassa erityisesti

puun energiakäyttöä lisäämällä. Strategiassa puubioenergian oletettiin kasvavan metsäteollisuuden investointien sekä sivuvirtojen ja lisääntyneiden hakkuiden kasvun myötä (mustalipeä, kuori, sahanpuru, ja metsähake latvuksista, oksista yms.). Näin ollen on perusteltua tarkastella myös skenaarioiden vaikutuksia puun kokonaiskäytön taseeseen.

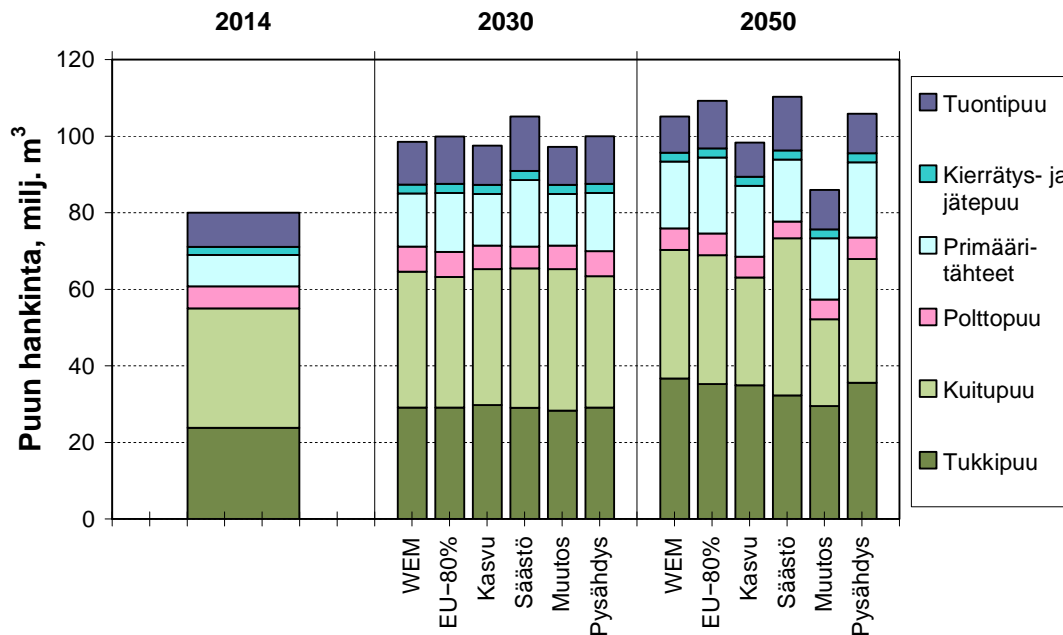
Luonnonvarakeskuksen tilastojen mukaan kotimaista käyttöä vastaava runkopuun hakkuukertymä oli vuonna 2014 runsaat 64,5 milj. m³ (71,4 milj. m³ vuonna 2017), josta tukkipuuta oli 23,8 milj. m³ (26,1 milj. m³ vuonna 2017), kuitupuuta 31,2 milj. m³ (36 milj. m³ vuonna 2017), polttopuuta 5,4 milj. m³ ja muuta energiapuuta 4,2 milj. m³ (energiapuunkäyttö 9,2 milj. m³ vuonna 2017).⁷³ Luonnonvarakeskuksen vuonna 2016 esittämien arvioiden mukaan suurimmat puuntuotannollisesti kestävät hakkuumahdollisuudet ovat tällä hetkellä noin 81 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta vuodessa, mutta niiden arvioidaan nousevan 86 milj. m³:iin vuoteen 2030 mennessä, sillä puuston vuosikasvu on edelleen jatkuvassa nousussa.⁷⁴ MALULU-hankkeessa esitetyn tuoreimman arvion mukaan suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävä runkopuun hakkuukertymä olisi vuoden 2025 jälkeen yli 95 milj. m³ vuodessa. Runkopuun hakkuuta olisi siis puuntuotannollisen kestävyysnäkökulmasta mahdollista lisätä vuoteen 2030 mennessä 22 milj. m³ vuoteen 2014 verrattuna ja vuoteen 2050 mennessä yli 90 miljoonaa kuutiometriin.

Kuvassa 28 on vertailtu puun kokonaishankintaa päälajeittain vuonna 2014 sekä vuonna 2030 ja 2040 eri skenaarioiden tulosten mukaan. Kuvassa 29 on vastaavasti esitetty puun kokonaiskäyttö ensisijaisen käyttökohteen mukaan. Yksinkertaisuuden vuoksi kaiken kierrätys- ja jätteen on oletettu olevan peräisin muualta kuin samana vuonna Suomessa tuotetuista puutuotteista, vaikka osa näistä onkin epäilemättä päällekkäistä käyttöä. Runkopuun hakkuut nousisivat tulosten mukaan vuonna 2030 suurimmillaan noin 82 milj. m³:iin (Säästö), jos oletetaan metsähakkeen runkopuu-osuudeksi suunnilleen nykyinen, noin 50 %. Vuonna 2050 vastaava hakkuukertymä on Säästö-skenaariossa 86 milj. m³, eli vuodelle 2030 arvioitu suurin puuntuotannollisesti kestävä määrä. Myös tuontipuun määrä on suurin Säästö-skenaariossa, yhteensä 14 milj. m³ (12,2 milj. m³ ainespuuta ja 1,8 milj. m³ energiapuuta). Historiallisesti tuontipuun määrä on ollut suurimmillaan jopa 18 milj. m³ vuonna 2005.

⁷³ Luke (2015, 2019). Tilastotietokanta. Raakapuun käyttö. Puun käyttö yhteensä 2005–2014, 1000 m³. Vuoden 2017 tilastot: Tilastotietokanta maakunnittain <https://stat.luke.fi/>.

⁷⁴ Luke (2016). Hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus, tietoa luonnonvaroista. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-met-sasuunnittelu/hakkuumahdollisuusarviot/>

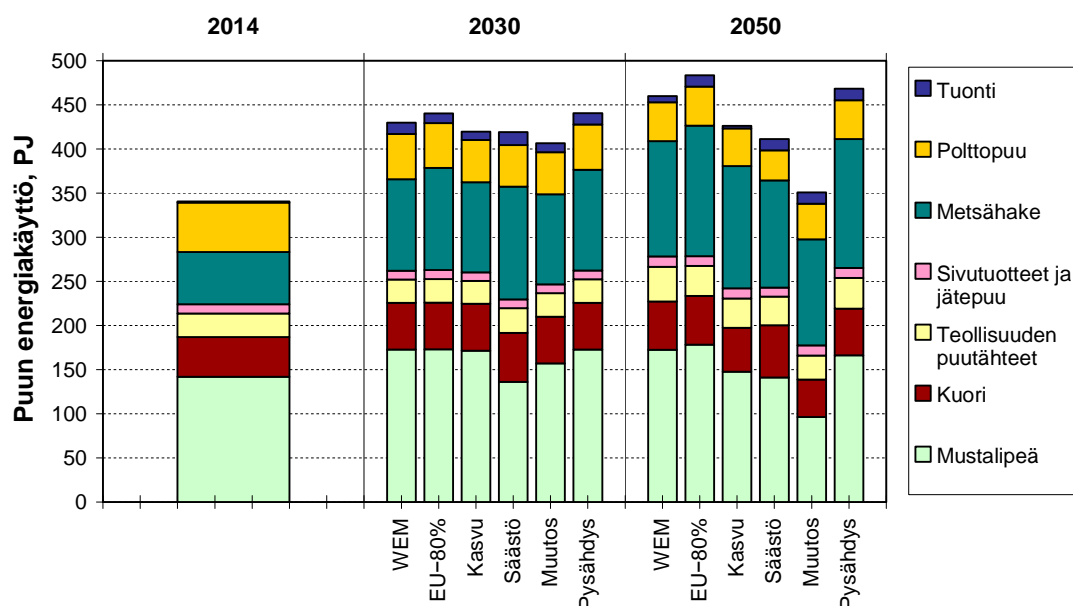
Kuva 28. Puun hankinta eri skenaarioissa.



Skenaarioista pienin runkopuun käyttö saavutetaan Muutos-skenaariossa, jossa se palautuu vuoden 2030 jälkeen vähitellen suunnilleen vuoden 2014 tasolle, ja on siten noin 65 milj. m³ vuonna 2050. Muutos-skenaariossa oletettiin, että metsäteollisuudessa tapahtuu muihin skenaarioihin verrattuna merkittävin rakennemuutos, jossa panostetaan korkean jalostusarvon tuotteisiin ja puun teollinen raaka-ainekäyttö jää myös alhaisimmaksi. Puuston vuosikasvun vähittäisen suurenemisen myötä tämä merkitsisi huomattavaa metsänielun kasvua.

Puun energiakäytön tarkempaa jakautumista jakeisiin on havainnollistettu kuvassa 29. Selluteollisuuden jo päätettyjen ja oletettujen tulevien investointien ansiosta mustalipeän osuus puun energiakäytöstä pysyy erittäin suurena, mutta Säästö- ja Muutos-skenaariossa mustalipeän energiakäyttöä vähentää ligniinin ja hemiselluloosan hyödyntäminen energian sijasta uusiin biotaloustuotteisiin. Suhteellisesti suurin kasvu puun energiakäytössä saadaan metsähakkeen käytön lisäyksestä, joka on vuonna 2050 enimmillään jopa 24 TWh suurempi kuin vuonna 2014 (Pysähdys), ja pienimmilläänkin 17 TWh (Muutos). Säästö-skenaariossa ainespuun käytön lisäys alkaa kuitenkin vuoden 2030 jälkeen rajoittaa metsähakkeen tuotantoa runkopuusta. Vuonna 2030 kotimaisen metsähakkeen kokonaiskäyttö nousee eri skenaarioissa 28–35 TWh:n määrään. Määrät ovat sopusuhteissa aiemmin eri lähteissä julkaistujen metsähakkeen tuotantopotentiaaliarvioiden kanssa, joskin viime vuosien toteutuneeseen kehitykseen nähden melko suuria. On kuitenkin huomattava, että suurimmaksi metsähakkeen käyttö vuonna 2030 nousee biotalouspolkua edustavassa Säästö-skenaariossa, jossa se osittain kompensoi mustalipeän käytön oletettua nopeahkoa siirtymää energiasta uusiin tuotteisiin.

Kuva 29. Puun energiakäyttö eri skenaarioissa.



5.5. Energiataloudelliset vaikutukset

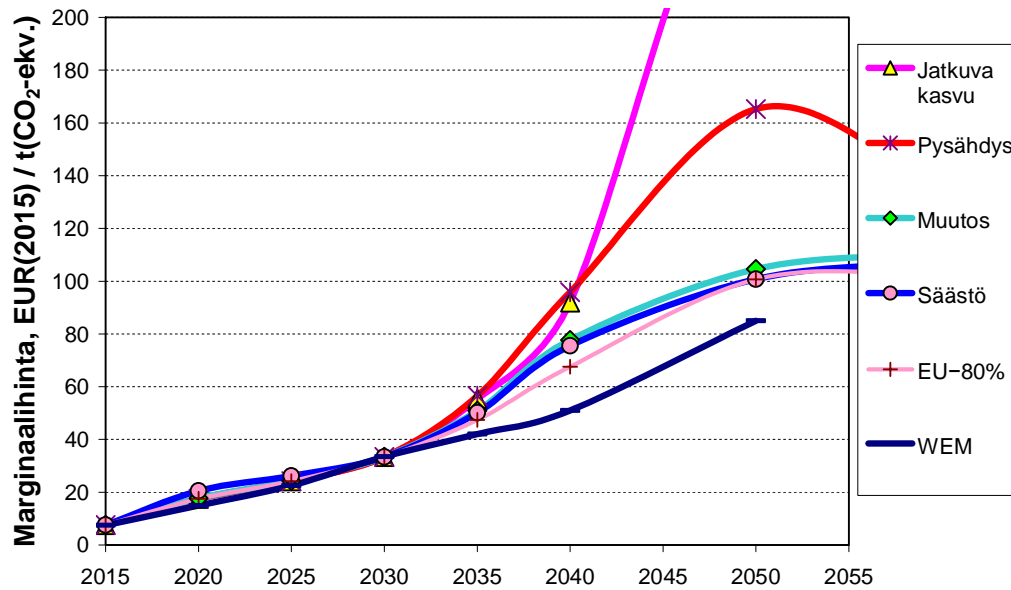
Ilmastopolitiikan kustannusvaikutukset

Ehkä selkein indikaattori eri vähäpäästöpolkujen kustannusvaikutuksista on päästöjen vähentämisen marginaalihinta. Mallinnetut vähäpäästöpolut vastaavat suunnilleen maapallon ilmastoon keskimääräisen lämpenemisen rajoittamista korkeintaan 2 °C:n tasolle. Kansainvälisissä tieteellisissä julkaisuissa tällaisissa skenaarioissa saatujen marginaalikustannusten vaihteluväli on hyvin laaja, tyypillisesti välillä 50–500 €/hiilidioksiditonniä kohti vuonna 2050. Marginaalikustannukset muodostuvat kussakin skenaariossa kalleimpien toimien aiheuttamista lisäkustannuksista vähennettyä päästöyksikköä kohti, joten ne havainnollistavat melko hyvin sekä päästötavoitteiden saavuttamisen vaikeutta eri vähäpäästöpoluissa että skenaarioiden välillä lähtöoletuksissa olevien erojen vaikutuksia tavoitteiden saavuttamiseksi vaadittavien tiukimpien toimien aiheuttamiin suoriin kustannuksiin.

VTT:n TIMES-mallin avulla lasketuissa vähäpäästöskenaarioissa päästöjen marginaalihinnat kehittyvät kuvan 30 esittämällä tavalla. Korkeimmiksi marginaalihinnat kohoavat Jatkuvan kasvun skenaariossa (lähes 300 €/tCO₂-ekv. vuonna 2050), jossa CCS-sovellukset eivät olleet käytettävissä. Toiseksi kalleinta päästöjen vähentämien on tulosten mukaan Pysähdys-skenaariossa, mikä oli hitaaseen teknologian kehitykseen pohjautuvien oletusten vuoksi odotettavissa. Muut kolme vähäpäästöskenaariota päätyvät marginaalihinnoissa melkein samalle tasolle, mutta on huomattava, että toteutuva päästöjen vähennys on Säästö- ja Muutos-skenaariossa jonkin verran suurempi kuin EU-80%-skenaariossa.

Tarkasteltujen vähäpäästöskenaarioiden aiheuttamia vaikutuksia järjestelmän kokonaiskustannuksiin voidaan mielekkäästi vertailla vain WEM- ja EU-80%-skenaarioiden välillä, koska muissa PITKO-skenaarioissa oletetaan muun muassa merkittäviä rakenteellisia muutoksia eri sektoreilla, jotka vaikuttavat päästöjen kehitykseen sekä päästöjen vähentämisen potentiaaleihin. Esimerkiksi talouden sektorikohtaisen kehityksen, yhdyskuntarakenteen, rakennuskannan ja liikennesuoritteiden erot ovat skenaarioiden välillä merkittäviä, joten pelkästään

Kuva 30. Päästöjen vähentämisen marginaalihinnan kehitys eri skenaarioissa.



erilaisten lähtöoletusten vuoksi järjestelmän kokonaiskustannuksiin muodostuu suuria eroja, joita ei voida lukea vähäpäästöpolitiikan aiheuttamiksi kustannusvaikutuksiksi.

Tulosten mukaan EU-80%-skenaarion lisätoimien aiheuttamat suorat vuosikustannukset ovat noin 400 M€ tarkastelujakson lopussa. Suhteutettuna bruttokansantuotteeseen kustannusvaikutus on siis vain 0,1 %:n luokkaa. On huomattava, että kuten kuvasta 30 nähdään, WEM-skenaario on tiukkuudeltaan itse asiassa jo melko lähellä vähäpäästöskenaarioita, mikä selittää hyvin kustannusvaikutuksen alhaisuutta.

Vähäpäästöskenaarioiden vaikutus sähkön hintaan on hyvin maltillinen, mutta on huomattava, että mallilaskelmissa ei oletettu uusia sähkön hintaan suoraan vaikuttavia ohjauskeinoja, kuten sähköveron korotuksia. EU-80%-skenaariossa sähkön markkinahinta nousee vuonna 2050 vain noin 5 % korkeammaksi kuin WEM-skenaariossa ja Muutos- ja Säästö- ja Jatkuvan kasvu -skenaarioissa markkinahinta asettuu tekniikan kehittymistä koskevista oletuksista johtuen jopa WEM-skenaariota alemmalle tasolle. Energiapuun hinta puolestaan nousee eri vähäpäästöskenaarioissa reaalisesti 31–62 %, siten että nousu on suurinta Säästö-skenaariossa.

Energian hankinnan omavaraisuus ja uusiutuvan energian osuus

Uusiutuvan energian ja energiaomavaraisuuden lisäämisen tavoitteet kytkeytyvät vahvasti toisiinsa. Suomen hallituksen asettamien tavoitteiden mukaan uusiutuvan energian osuuden tulee nousta 2020-luvulla yli 50 %:iin energian kulutuksesta ja omavaraisuuden tulee nousta yli 55 %:n. Tavoitteet pyritään saavuttamaan pääosin uusiutuvan energian tarjontaa ja käyttöä lisäämällä. Tavoiteohjelman mukaan suurimmat mahdollisuudet tarjonnan lisäämiseen ovat nestemäisten biopolttoaineiden ja biokaasun tuotannossa ja tuotantoteknologian kehittämisessä.

Sekä uusiutuvan energian osuus että energiaomavaraisuus lasketaan energian loppukulutuksesta. Omavaraisuuden laskemisessa huomioidaan käytetyn määritelmän mukaan uusiutuvan energian lisäksi turve, jäte ja kierrätyspolttoaineet sekä teollisuuden reaktiolämpö. Toisin

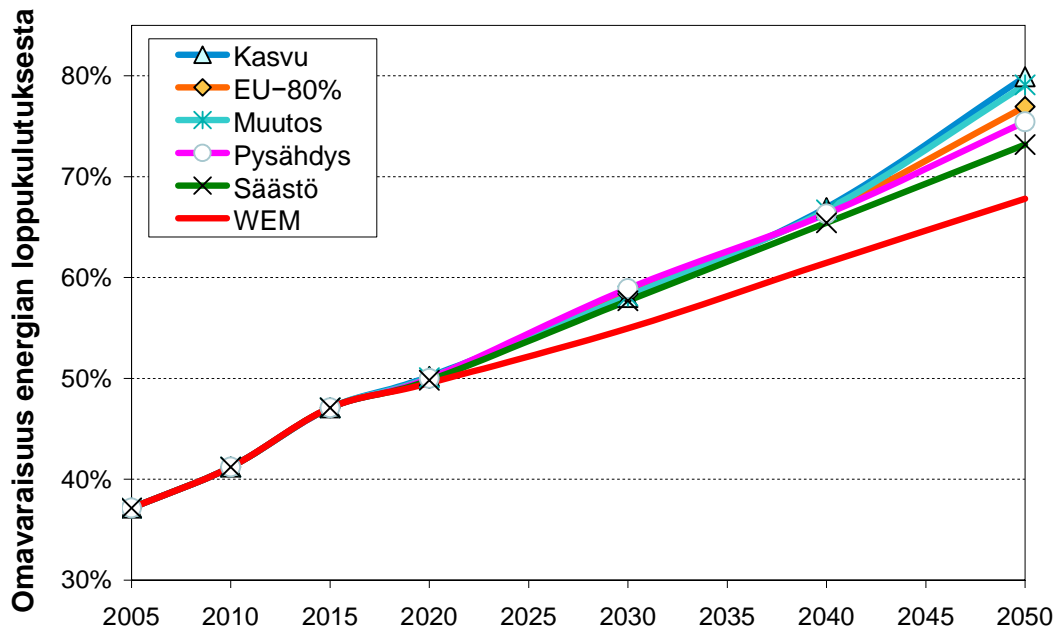
kuin kansainvälisessä energiatilastoinnissa, ydinvoima ei sisälly energianhankinnan omavaraisuuden kansalliseen määritelmään. Mitään tuontibiopolttoaineita tai niillä tuotettua energiaa ei luonnollisesti myöskään lueta mukaan omavaraisuuteen.

Laskentamallin tulosten mukaan uusiutuvista energialähteistä määrällisesti eniten kasvaa useimmissa skenaarioissa puuperäisen bioenergian käyttö, ja käytön lisäys kohdistuu voimakkaimmin metsähakkeeseen ja metsäteollisuuden jäteliemiin. Lisäkäytön taustatekijänä on oletettu metsäteollisuuden kehitys, jonka sisältämät investoinnit uuteen tuotantoon lisäävät sekä sivutuotteiden että hakkuutähteiden tarjontaa. Tuulivoiman lisäys jatkuu 2020-luvulla kaikissa skenaarioissa siten, että vuonna 2030 tuotanto ylittää 10 TWh:n. Myös aurinkosähkön tuotanto kasvaa nopeasti, mutta se jää vielä vuonna 2030 kaikissa skenaarioissa alle 2 TWh:n. Sen jälkeen oletettu edelleen jatkuva kustannusten aleneminen nostaa aurinkoenergian tuloksissa näkyvään rooliin vuoteen 2050 mennessä, erityisesti kaikissa neljässä PITKO-skenaariossa. Myös lämpöpumput tuovat tuntuosan uusiutuvan energian lisäyksestä, kuten voitiin nähdä edellä esitetystä kuvasta 18.

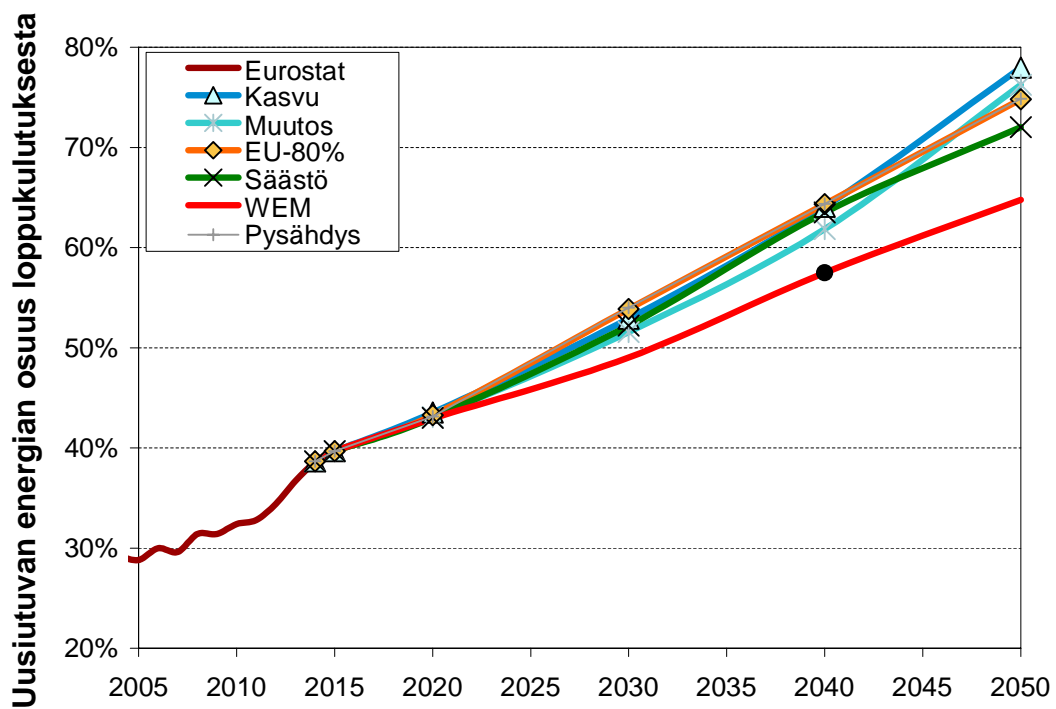
Koska mallilaskelmien tulosten mukaan turpeen energiakäyttö ei ole lähivuosikymmeninä kasvamassa vaan päinvastoin hitaasti vähenemässä, energiaomavaraisuuden kasvu muodostuu yksinomaan uusiutuvan energian ja jätepolttoaineiden käytön lisääntymisestä, ja omavaraisuus on joitakin prosenttiyksiköjä uusiutuvan energian osuutta korkeampi. Energiaomavaraisuuden kehitys eri skenaarioissa on esitetty kuvassa 31. WEM-skenaariossa omavaraisuus on edellä esitetyin määritelmän runsaat 55 % vuonna 2030, mikä on jo hallitusohjelman tavoitteen mukainen. Vähäpäästöskenaarioissa omavaraisuus nousee vuonna 2030 jo 58–59 %:iin, eli se ylittää tavoitteen muutamalla prosenttiyksiköllä. Vuoteen 2050 mennessä omavaraisuus nousee 73–80 %:iin siten, että se on alhaisin Säästö- ja Pysähdys-skenaarioissa ja korkein Jatkuvan kasvun skenaariossa. Tulos on mielenkiintoinen, koska Säästö- ja Pysähdys-skenaariossa omavaraisuus oli tärkeä lähtökohta. Toisaalta omavaraisuutta painotettiin lähinnä teollisten tuotteiden ja ruoan hankinnan näkökulmista. Siten Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioita korkeammat teollisuuden tuotannon volyymit ja lisäksi mahdollisuus hyödyntää hiilidioksidin talteenottoa johtavat korkeampaan energiankysyntään sekä toisaalta hieman korkeampaan fossiilisten polttoaineiden osuuteen energianhankinnasta verrattuna Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioihin.

Uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta on puolestaan esitetty kuvassa 32. EU:n laskentasääntöjen mukaan laskettu energian loppukulutus nousee vähäpäästöskenaarioissa vuonna 2030 noin 53 %:iin ja vuonna 2050 72–78 %:iin. Osuus kasvaa melko tasaisesti koko tarkastelujakson ajan, joskin hitaammin kuin vuosina 2010–2015, joiden aikana koettiin sekä talouden taantumaa että poikkeuksellisen lämmin vuosi 2015. Osuuden kasvu toteuttaa hyvin hallitusohjelmassa esitetyn tavoitteen, jonka mukaan uusiutuvan energian osuuden tulee nousta 2020-luvulla yli 50 %:iin energian loppukulutuksesta.

Kuva 31. Energian hankinnan omavaraisuuden kehitys eri skenaarioissa.



Kuva 32. Uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta eri skenaarioissa.



6. VAIKUTUKSET KANSANTALOUTEEN

Juha Honkatukia, Merit Economics

6.1. Kansantalousskenaariot

Pitkän aikavälin energia- ja ilmastopoliittisten skenaarioita on arvioitu Suomen kansantaloutta kuvaavan 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. Talousteorioita luodaan 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 kehityksenuste, jolla kiinnitetään lähimmiksi vuosiksi huoltotaseen kehitysarvio esimerkiksi ministeriöiden politiikan suunnittelussa käyttämään 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 arvioissa on ennakoitu tekeillä olevan SOTE-uudistuksen vaikutuksia työvoiman tarpeeseen ja julkiseen talouteen.

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 ajureita⁷⁵. Laskentamalleja on kuvattu useissa julkaisuissa^{76,77} ja tässä käytetyn mallin soveltamista täsmennetään seuraavissa kappaleissa.

⁷⁵ Honkatukia, J., Kohl, J. ja Lehtomaa, J. (2018). Uutta, vanhaa ja sinivalikoista – Suomi 2040. VTT Technology 327. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2018/T327.pdf>

⁷⁶ Honkatukia, J. (2009a): Yleisen tasapainon mallien käyttö työllisyyden kehityksen ennakkoinnissa ja talouspolitiikan vaikutusten analysoinnissa; Työpoliittinen Aikakauskirja 1/2009.

⁷⁷ Honkatukia, J. (2009b): VATTAGE – yleisen tasapainon malli Suomen taloudesta; Kansantaloudellinen aikakauskirja 1/2009. <http://www.taloustieteellinen-yhdistys.fi/images/stories/kak/kak12009/kak12009honkatukia.pdf>

6.2. Laskentamalli

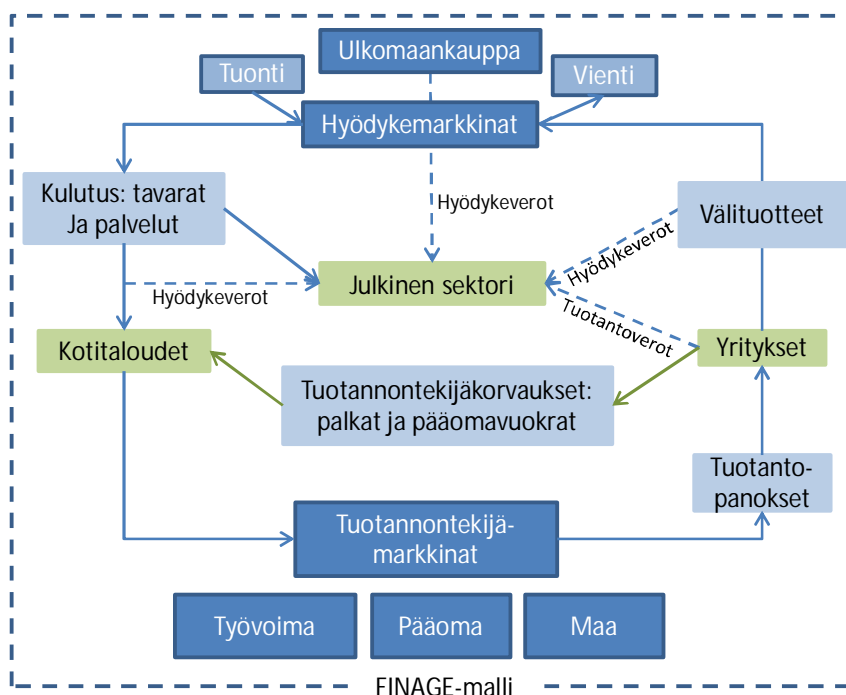
Tutkimuksessa käytetty FINAGE -tasapainomallissa on perusskenaarioon kuvattuna taloutta kotitalouksien, kymmenillä toimialoilla toimivien yritysten ja julkisten sektorien päätöksistä käsin. Kotitalouksien keskeisiä päätöksiä ovat kulutus ja säästämisspäätökset sekä työn tarjonta. Nämä päätökset kuvataan kansantaloudellisissa malleissa historiassa havaittujen kulutustotumusten pohjalta, joiden lisäksi kulutuksen kehityksessä otetaan huomioon hyödykkeiden suhteellisten hintojen ja kotitalouksien käytettävissä olevien tulojen kehitys.

Yritykset päättävät tuotantopanosten – työ, pääoma ja välituotteet – käytöstä pyrkien maksimoimaan tuotannon katetta sekä investointeja sen mukaan, kuinka eri toimialojen tuotto-odotukset kehittyvät ja suhteutuvat toimialojen historialliseen kasvuvauhtiin ja pääoman tuottoasteeseen.

Julkisten sektorien toimintaa kuvaavat ennen kaikkea verotuksen rakenne sekä tulonsiirrot kotitalouksille ja toisille julkisille toimijoille. Ulkomaita tarkastellaan lähinnä viennin ja tuonnin näkökulmasta, mutta myös kansantalouden ulkoisen velan ja varallisuuden kehittymistä seurataan. Pitkän aikavälin tarkastelussa kansantalouden ulkomaisen velkasuhteen oletetaan vakiintuvan kestäväälle tasolle.

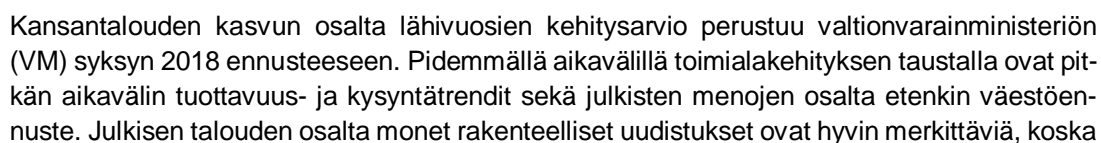
Mallissa kysynnän ja tarjonnan tasapaino toteutuu hintamekanismin kautta. Mallin osat, riippuvuudet ja rakenne ovat pääkohdittain esitetty alla (Kuva 33). Kuvassa kotitaloudet, julkinen sektori ja yritykset ovat siis taloudellisten päätöksen tekijöitä, joiden valinnoista seuraavat tavaroiden ja palveluiden kulutuskysyntä ja välituotekysyntä, niiden kysyntä julkisten palveluiden ja hallinnon käyttöön sekä investointikysyntä eri toimialojen investointeihin. Lisäksi kuvasta nähdään, että osa tavaroiden ja palvelujen loppukysynnästä tulee ulkomailta, ja tuontitavarat muodostavat osan tavaroiden ja palveluiden kotimaisesta tarjonnasta. Kuvasta nähdään myös tuotannontekijämarkkinat sekä tuotannontekijätulojen ja erilaisten verotuottojen kohdentuminen.

Kuva 33. Kansantalouden tasapainomallin rakenne.



Lähes poikkeuksetta taloudellisissa tarkasteluissa käytetään eksogeenista arviota väestön kasvusta. Suomea koskevissa tarkasteluissa käytetään Tilastokeskuksen väestöennustetta. Maailmantalouden kasvuennusteet ovat yhden maan tarkasteluissa eksogeenisia, samoin arviot eri hyödykkeiden maailmanmarkkinahintojen kehityksestä ja joskus myös hyödykkeiden kysynnän kasvuvauhdista (mutta esimerkiksi viennin määrä riippuu kotimaisten hyödykkeiden mallissa määräytyvästä hintakehityksestä maailmanmarkkinahintoihin nähden).

Kuva 34. Talouden kehityksen ajurit.



ilman niitä julkisen talouden alijäämä jatkaisi kasvuaan⁷⁸. Keskeinen, tulevaisuuden kasvuedellytyksiä parantava politiikkatoimi on käynnistynyt eläkeuudistus, joka lisää työn tarjontaa etenkin 2020-luvulle tultaessa. Lisäksi arviossa on ennakoitu tekeillä olevan SOTE-uudistuksen vaikutuksia työvoiman tarpeeseen ja julkiseen talouteen. SOTE-uudistuksen vaatimista investoinneista ei ole käytettävissä kattavaa arviota, mutta hallitusohjelmassa on asetettu uudistuksen tuottamille säästöille tavoite, jonka tässä oletetaan toteutuvan tuottavuuskasvun kautta. Työn tarjonnan kasvu muuttaa perustavanlaatuisesti talouden kasvuedellytyksiä. Kun työikäisen väestön määrä on ollut laskussa jo muutaman vuoden, on kansantalouden kasvu ollut pitkälti investointien ja tuottavuuskasvun varassa. Eläkeuudistuksen myötä työpanoskin voi kasvaa 2020-luvun lopulle asti, mikä puolestaan vauhdittaa investointeja. Niinpä työpanoksen ja pääomapanoksen kautta syntyvät kasvukontribuutiot ovat merkittävän suuria. Tuottavuuden kasvua vauhdittaa sekä julkisen sektorin oletettu tuottavuuskasvu että tuotantotekijöiden suuntautuminen avoimille sektoreille.

Päästötavoitteiden saavuttaminen edellyttää mallissa päästöjen hinnoittelemista. Skenaarioissa noudatetaan TIMES-VTT -mallilla laskettuja (ks. Kuva 30) tai mallille annettuja arvioita (ks. Kuva 1) päästöoikeuden hintakehityksestä. Lisäksi talousskenaarioissa on laskettu, kuinka liikenteen verotus muuttuu ajoneuvokannan muuttuessa hyvin eri tavoin eri skenaarioissa. Skenaarioissa on myös oletettu, että kotimainen biopolttoaineiden tuotanto saisi investointitukea käynnistyäkseen. Taloudellisen ohjauksen kautta syntyy huomattavan suuria verotuottoja, jotka kohdentuvat selvimmin kotitalouksiin teollisuuden ja energiantuotannon irtautuessa fossiilisten polttoaineiden käytöstä teknologian kehittymisen myötä. On selvää, että kotitalouksien ostovoima laskee paljonkin, ellei osaa tästä verotuksen painopisteen siirtymästä kompensoida kotitalouksille. Kompensaation ei kuitenkaan tulisi heikentää päästöjen rajoittamiseen tähtäävää ohjausvaikutusta, ja tästä syystä arvioissa oletetaan, että kompensatio tapahtuisi neutraalisti, tulonsiirtojen kautta, muuttamatta hyödykkeiden hintasuhteita. Skenaarioissa oletetaan myös, että kansantalouden ulkoinen tasapaino vakiintuu pitkällä aikavälillä siten, että vaihtotaseen suhde kansantuotteeseen on sama kaikissa skenaarioissa.

6.3. WEM-skenaario

WEM-skenaarion lähtökohtana on EU-maiden sopima päästöjen rajoittamisen tavoitetaso, jossa toteutetaan vuodelle 2020 sovitut yhteiset tavoitteet ja edetään tavoitteita kiristäen seuraavan tavoitteen koskiessa vuotta 2045. Kansantalouden osalta skenaariossa korostuu päästöoikeuksien hinnan maltillinen nousu vuoteen 2030 asti, ja talouden elpyminen nykyisellä pohjalla. Liikenteen ratkaisut korostavat biopolttoaineiden merkitystä. Energiajärjestelmän osalta WEM-skenaario on TIMES-VTT-mallin arvioiden mukainen ja liikenteen kehitys noudattaa LVM:n arviota liikennesuoritteiden ja ajoneuvokannan kehityksestä. Vaikutusarvioiden kannalta merkittävää on se, että muiden EU-maiden oletetaan toteuttavan EU:n vuodelle 2030 asettamat päästöjen rajoitustavoitteet ennen kaikkea EU:n laajuisen päästökaupan avulla.

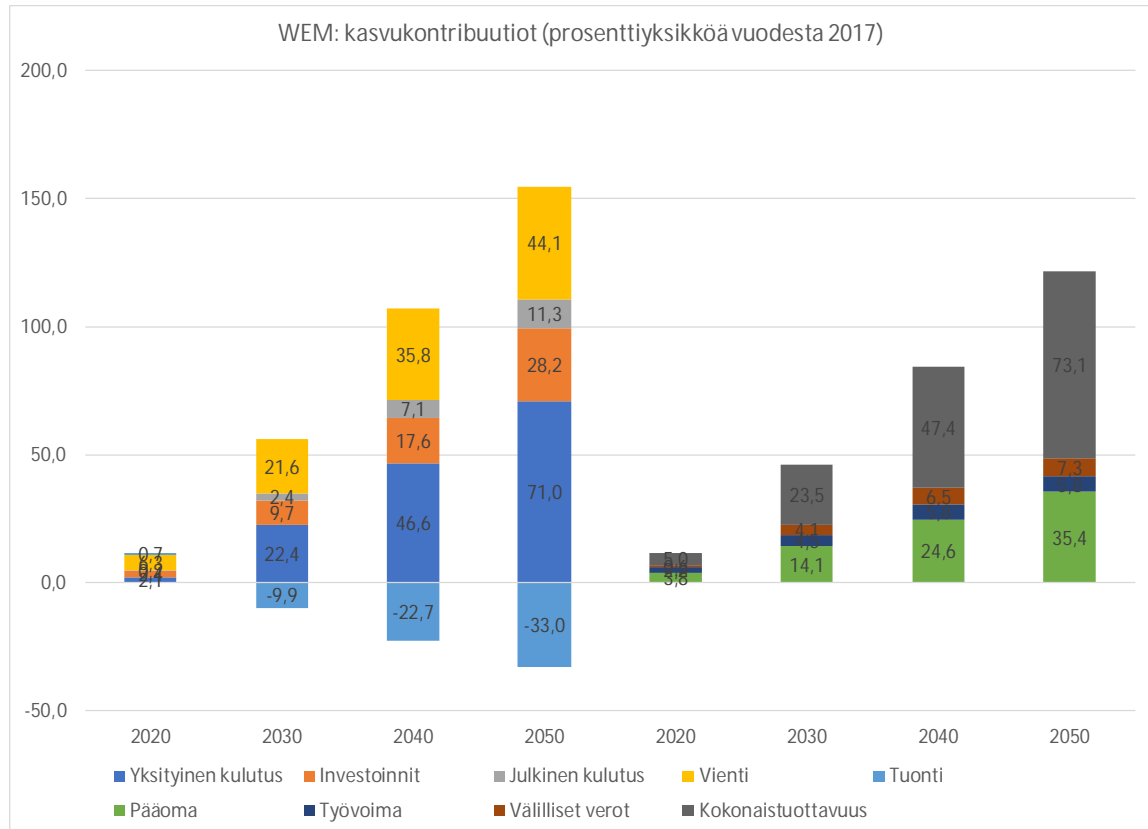
- WEM-skenaariossa päästöjä rajoitetaan EU:n 2030 ja 2045 tavoitteiden mukaisesti EU-alueella. Suomessa sen sijaan toteutuvat vuodelle 2020 asetetut tavoitteet (ks. luku 2.1). Talouden kehitys on jatkumoa käynnissä oleville trendeille, ja sitä leimaavat toisaalta vientiteollisuuden elpyminen, toisaalta palveluvaltaistuminen. Niinpä vuoteen 2050 mennessä yksityisten palvelujen tuotos on yli kaksinkertaistunut. Voimak-

⁷⁸ Honkatukia, J., Lehmus, M. (2016): Suomen talous 2015 -2030: Laskelmia politiikkatoimien vaikutuksista. VATT tutkimuksia 183.

kainta kasvu on kuitenkin rakentamisessa sekä metallien valmistuksessa ja elektro-
niikkateollisuudessa. Alkutuotannon kasvua vauhdittaa osaltaan kotimaisten biopolt-
toaineiden jalostuksen voimakas kasvu. Myös kotitalouksien kulutus kasvaa selvästi.

Alla olevassa kuvassa (Kuva 35) on koottu kansantuotteen kasvua ja sen rakennetta kuvaavat kasvukontribuutiot sekä kansantuotteen kysyntäerien että tarjontaerien näkökulmista. Vuonna 2050 kasvusta yli puolet – 73,1 prosenttiyksikköä vuodesta 2017 – syntyy kokonaistuottavuuden kasvusta. Kaikkiaan kansantuote yli kaksinkertaistuu vuoteen 2050 mennessä.

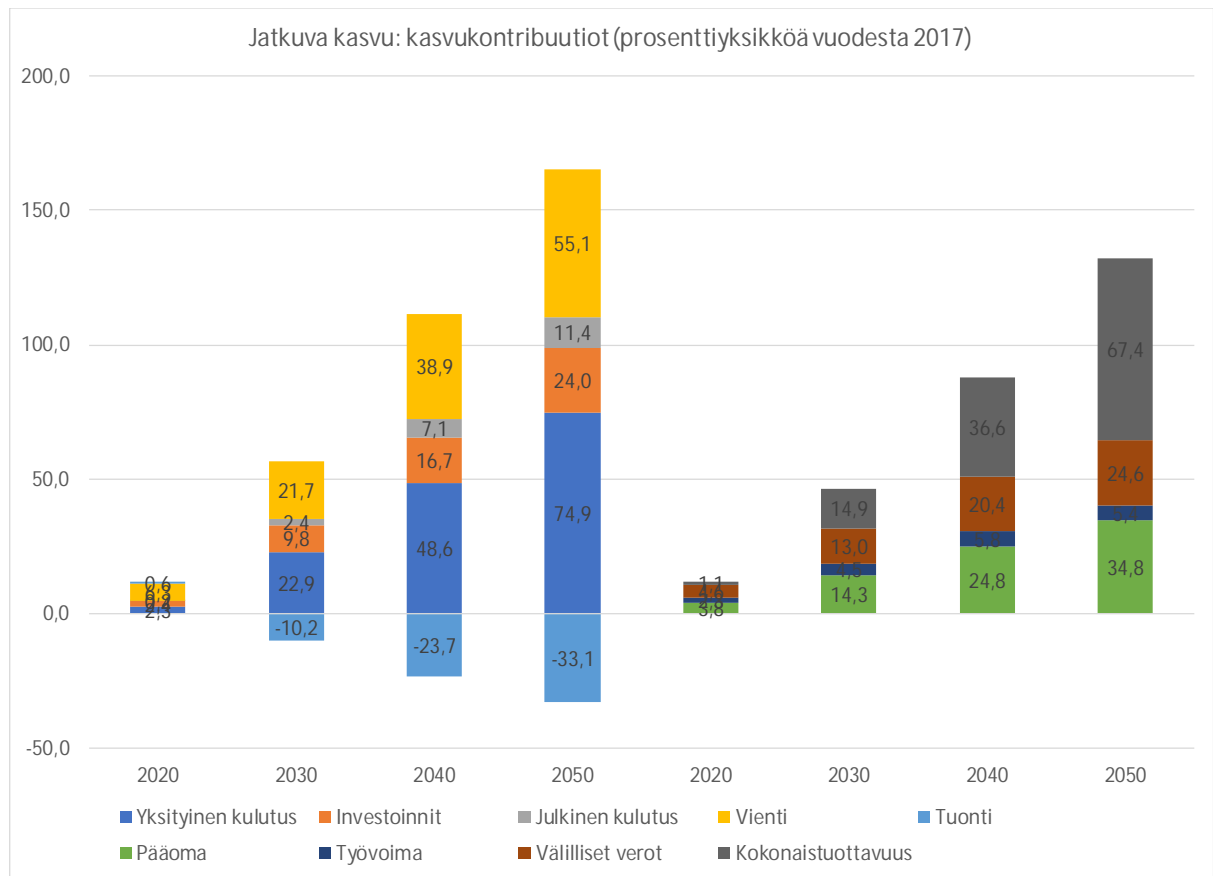
Kuva 35. Kansantuotteen kasvukontribuutiot WEM-skenaariossa.



6.4. Jatkuva kasvu -skenaario

Jatkuva kasvu -skenaariossa korostuu kotimaisia resursseja hyödyntävän valmistuksen ja viennin kasvu. Skenaariossa nettoviennin kasvuvaihtelu on hyvin voimakas ja kasvua voikin hyvin kutsua vientivetoiseksi. Kasvu jakautuu WEM-skenaariota tasaisemmin eri teollisuudenaloille ja niinpä esimerkiksi kone- ja laitteollisuuden tuotannon arvo lähes kaksi- ja puolikertaistuu (Kuva 36). WEM-skenaarioon verrattuna kasvu on pääoma- ja työvoimaintensiivisempää – pääoman ja työpanoksen vaikutus kasvuun on selvästi suurempi. Teknologian kehittymisen kautta tuleva kasvuvaihtelu 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. Talouden ripeä kasvu mahdollistaa kuitenkin kotitalouksien kulutuksen kasvun.

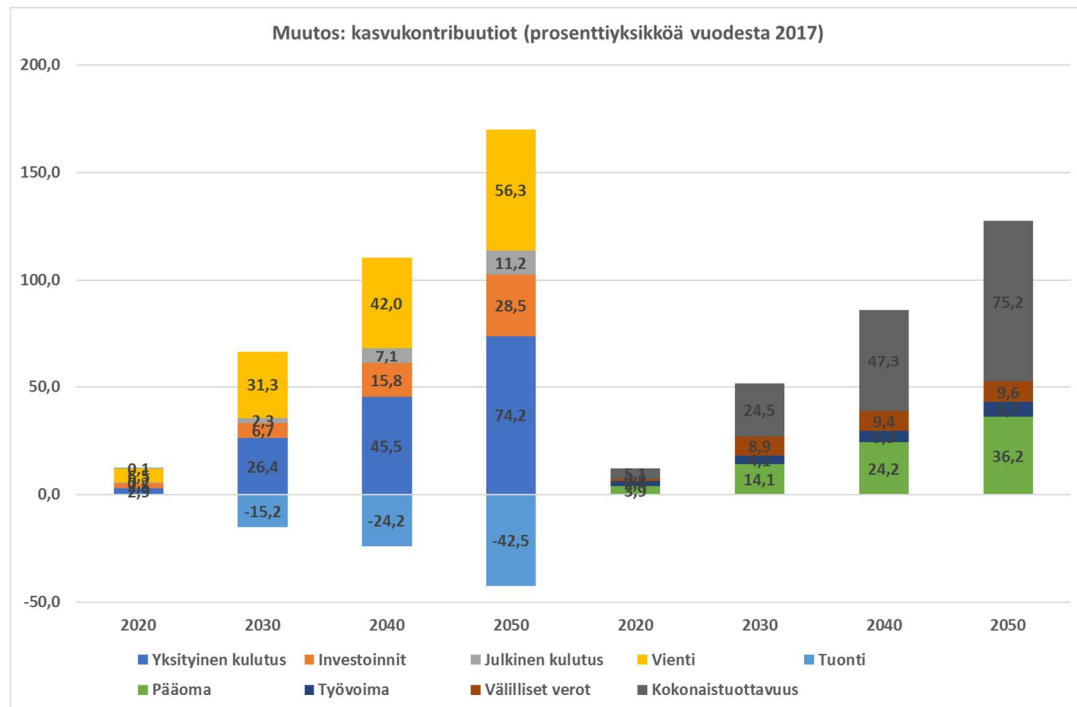
Kuva 36. Kansantuotteen kasvukontribuutiot Jatkuva kasvu-skenaariossa.



6.5. Muutos-skenaario

Myös Muutos-skenaariossa vienti korostuu, mutta se kohdistuu Jatkuva kasvu -skenaariota enemmän uusiin tuotteisiin. Siihen liittyy myös suurempi investointitarve, ja tämä nostaa tuonnin korkeammaksi kuin Jatkuva kasvu- ja WEM-skenaarioissa. Muutos liittyy myös muita skenaarioita merkittävämpään palveluvaltaistumiseen, ja etenkin liikenne sekä liikkuminen mahdollistavat palveluistumisen myötä. Henkilöautokanta jää selvästi pienemmäksi kuin muissa skenaariossa. Kansantuotteen kasvu jää hieman Jatkuva kasvu- skenaariota alemmaksi, mutta on WEM-skenaariota korkeampi. Muutos-skenaariossakin välillisen verotuksen painopiste siirtyy kulutukseen, mutta ero WEM-skenaarioon verrattuna jää Jatkuva kasvu-skenaariota pienemmäksi.

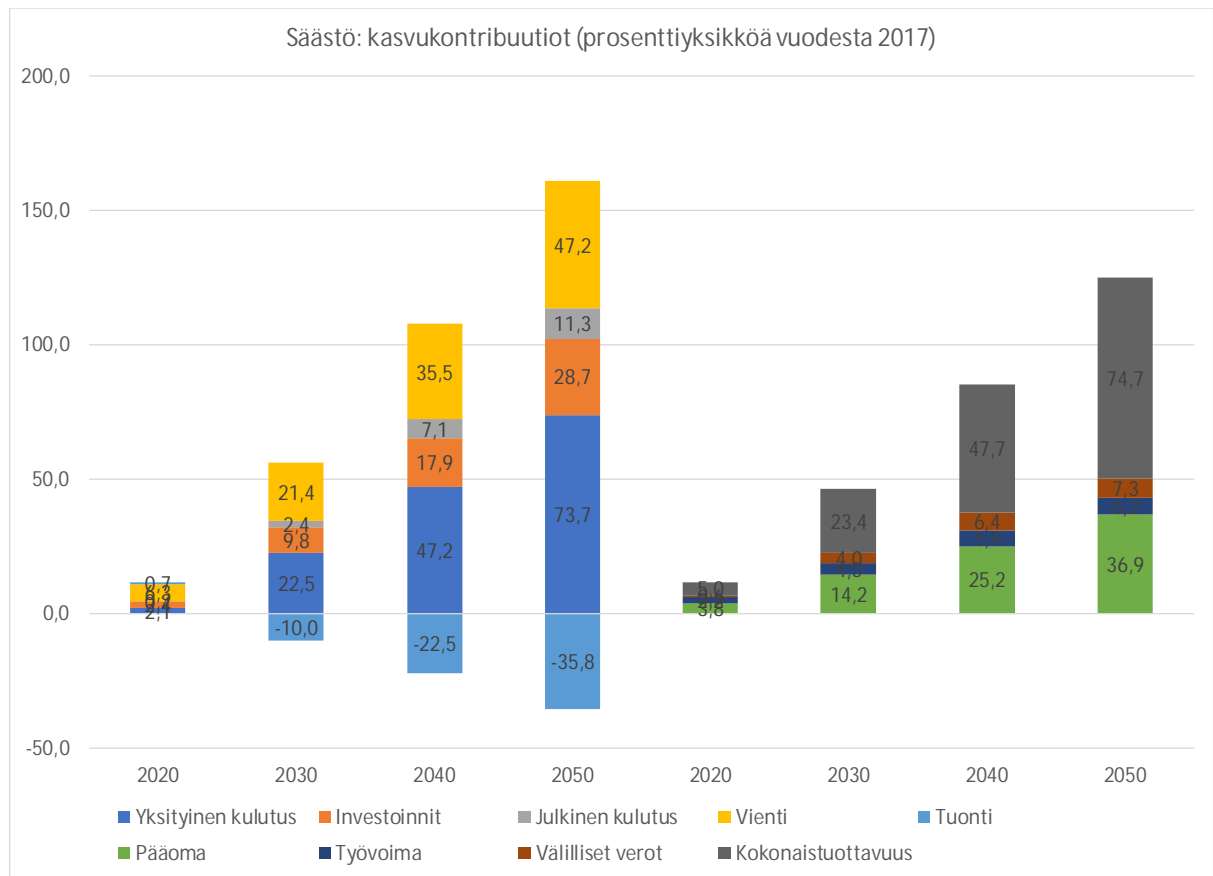
Kuva 37. Kansantuotteen kasvukontribuutiot Muutos-skenaariossa.



6.6. Säästö-skenaario

Säästö-skenaariossa korostuvat erityisesti kotimaiset toimet päästöjen rajoittamiseksi – panostetaan energia- ja materiaalitehokkuuteen sekä kotimaisiin energialähteisiin, kuten biopolttoaineisiin. Tässäkin skenaariossa syntyy kuitenkin viennille tilaa, mutta monien vientiteollisuuden toimialojen tuotoksen kasvu jää Jatkuva kasvu ja Muutos -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 ja Muutos -skenaarioista. Kotitalouksiin kohdistuvaa ympäristöperustaista ohjaamista kuvaavan ympäristöperustaisen välillisen verotuksen kiristyminen jää alemmaksi kuin Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioissa, kun kotimaisten biopolttoaineiden käytön kasvun myötä hiilidioksidiverotuksen osuus pienenee Säästö-skenaariossa.

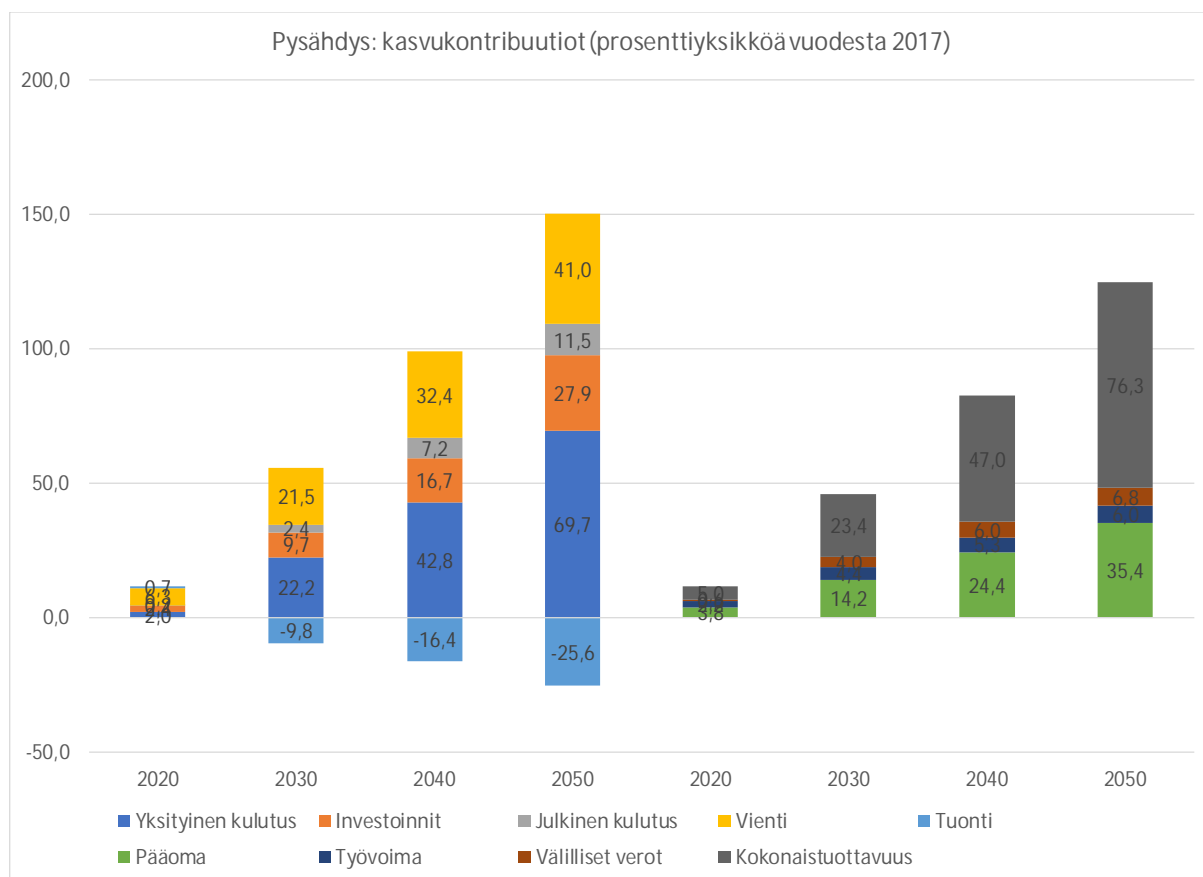
Kuva 38. Kansantuotteen kasvukontribuutiot Säästö-skenaariossa.



6.7. Pysähdys-skenaario

Pysähdys-skenaariossa teknologinen kehitys hidastuu tarkastelluilla toimialoilla, mikä heikentää koko talouden kasvupotentiaalia. Skenaariossa ei kuitenkaan oleteta globaalia maailman-kaupan ja teknologisen kehityksen romahdusta, eikä kasvu siksi romahda muihin skenaarioihin verrattuna. Uutta, energiatehokkaampaa teknologiaa otetaan tässäkin skenaariossa käyttöön, ja kasvu jää siksi vain vähän Säästö-skenaariosta. Pysähdys näkyy kuitenkin siinä, että käytetyt ratkaisut ovat kalliimpia – ja kustannustehottomampia – kuin muissa skenaarioissa ja kotitalouksien kulutuksen kasvu jää siksi alemmaksi kuin muissa skenaarioissa. Useimpien vientiteollisuuden toimialojen kasvu on hitaampaa kuin aiemmissa skenaarioissa (Kuva 39).

Kuva 39. Kansantuotteen kasvukontribuutiot Pysähdys-skenaariossa.



6.8. Skenaarioiden vertailua

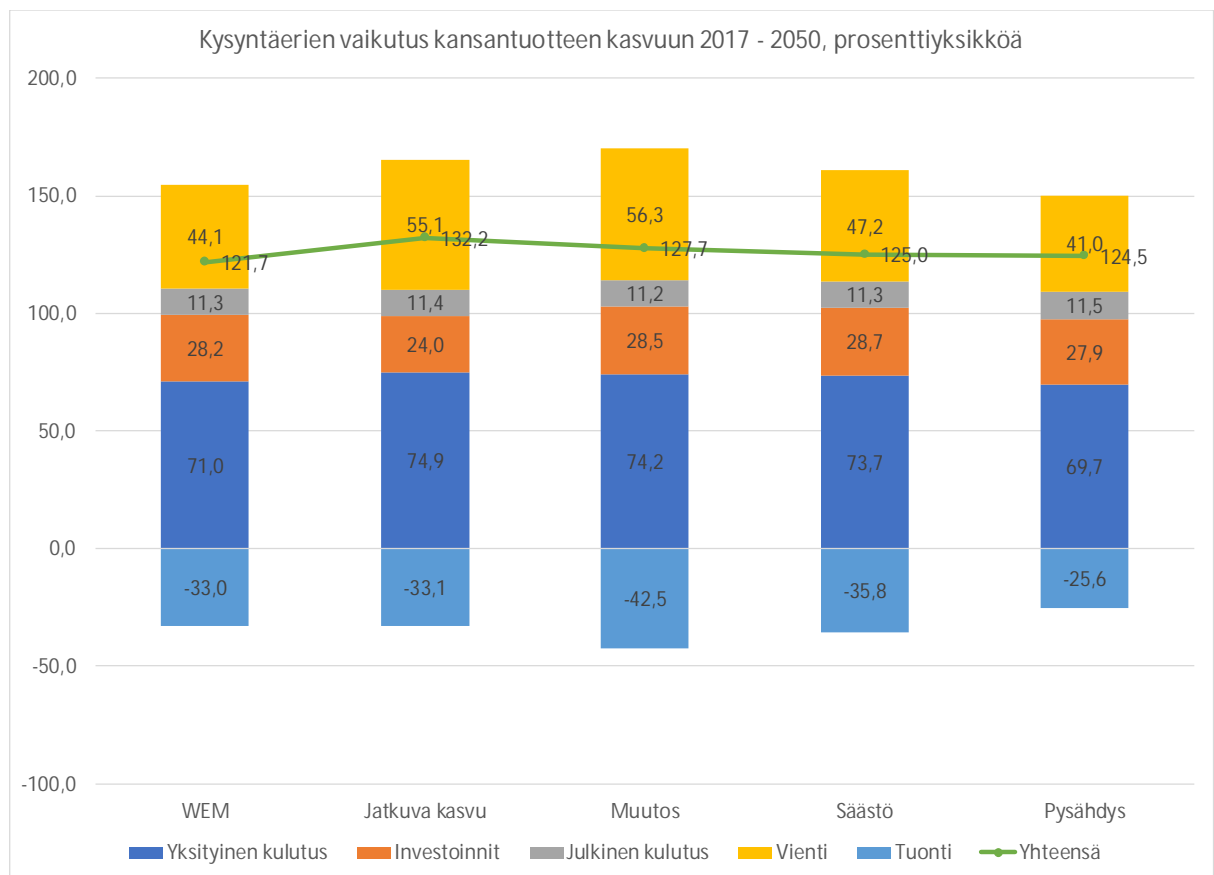
Tarkasteltujen kansantalousskenaarioiden tavoite on kuvata kansantalouden kehitystä erilais-
ten teknologisten valintojen ja kehityspolkujen ja päästötavoitteiden valossa. Skenaariot eroa-
vat toisistaan kaikissa näissä suhteissa (ennen kaikkea päästöjen rajoittamisen osalta) ei-
vältä ne siksi ole yksiselitteisesti vertailukelpoisia siinä mielessä, että yhdestä skenaariosta
voitaisiin siirtyä toisiin 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, joita on kuvattu luvuissa 4 ja 5.
Muun talouden osalta ei ole haluttu tehdä eroavia oletuksia, ja siksi on selvää, että erot jäävät
lopulta suhteellisen pieniksi. Vaikka skenaarioissa siis tehdään hyvinkin erilaisia valintoja tek-
nologian ja päästöjen rajoittamisen osalta, valinnat välittyvät avaintoimialoilta muuhun talou-
teen maltillisesti, eikä missään skenaariossa ole kyse talouskasvun ja hyvinvointivaltion edel-
lytysten vaarantumisesta, kuten kuvasta 40 näkyy. Kasvu kuitenkin suuntautuu hieman eri
tavoin eri skenaarioissa. Kuvasta 41 näkyy, että teknologinen kehitys – kokonaistuottavuuden
kasvu – on tulevaisuudessakin keskeisellä sijalla. Uuden teknologian käyttöönotto vaatii kui-
tenkin entistä suurempia investointeja – energiaa korvataan pääomalla – ja tämä näkyy pää-
oman kasvuvaikutuksen kasvuna WEM-skenaarioon verrattuna. Päästötavoitteiden kiristymi-
nen puolestaan näkyy taloudellisen ohjauksen – välillisten verojen – kasvukontribuution hy-
vinkin selvänä kasvuna.

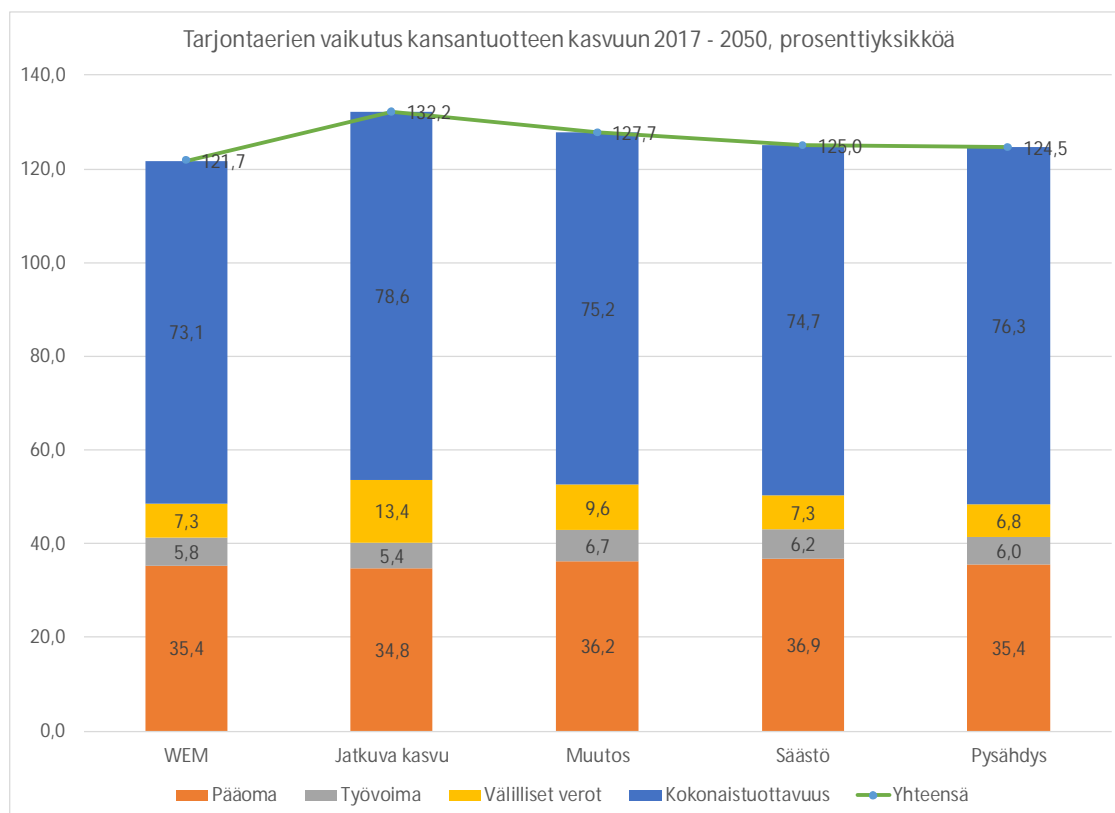
Kuvasta 42 ilmenee, että talouden rakenteessa tapahtuu myös muutoksia. Uuden teknologian myötä kone- ja laitteollisuuden merkitys korostuu, mutta se tapahtuu osittain palvelujen – lähinnä kaupan ja majoituksen – kustannuksella. Alkutuotannon osuutta kasvattaa kotimaisen raaka-ainepohjan hyödyntäminen.

Skenaarioiden välisiä eroja taloudellisessa hyvinvoinnissa voidaan kuvata kuvan 40 avulla – suurin hyvinvoinnin kasvu näyttäytyy kotitalouksien kulutuksen suurimpana kasvuna. On ehkä syytä korostaa, että taloudellinen hyvinvointi kasvaa, vaikka yhteiskunta muuttuu vähäpäästöiseksi. Kulutuksen kasvun kautta tarkasteltuna skenaarioiden teknologiasta kumpuavat erot käyvät myös selvemmiksi – uuden teknologian käyttöönotto kun suuntautuu ja ajoittuu skenaarioissa varsin eri tavoin. Kuvaan 43 on koottu kulutuskysynnän kasvu koko tarkastelujaksolla. Kuvan perusteella Muutos-skenaario tuottaa 2020-luvun suomalaisille suuremman hyvinvoinnin kasvun muita skenaarioita nopeamman uuden teknologian käyttöönoton myötä. 2040-luvun mittaan Jatkuva kasvu erottuu samoin muista, kun taas WEM-, Pysähdys- ja Muutos-skenaariot jäävät silloin muista jälkeen. Eroille löytyy syynsä uuden teknologian käyttöönoton ajoituksesta, jossa skenaarioissa syntyy kulutukseen vaikuttavia eroja etenkin liikenteen osalta.

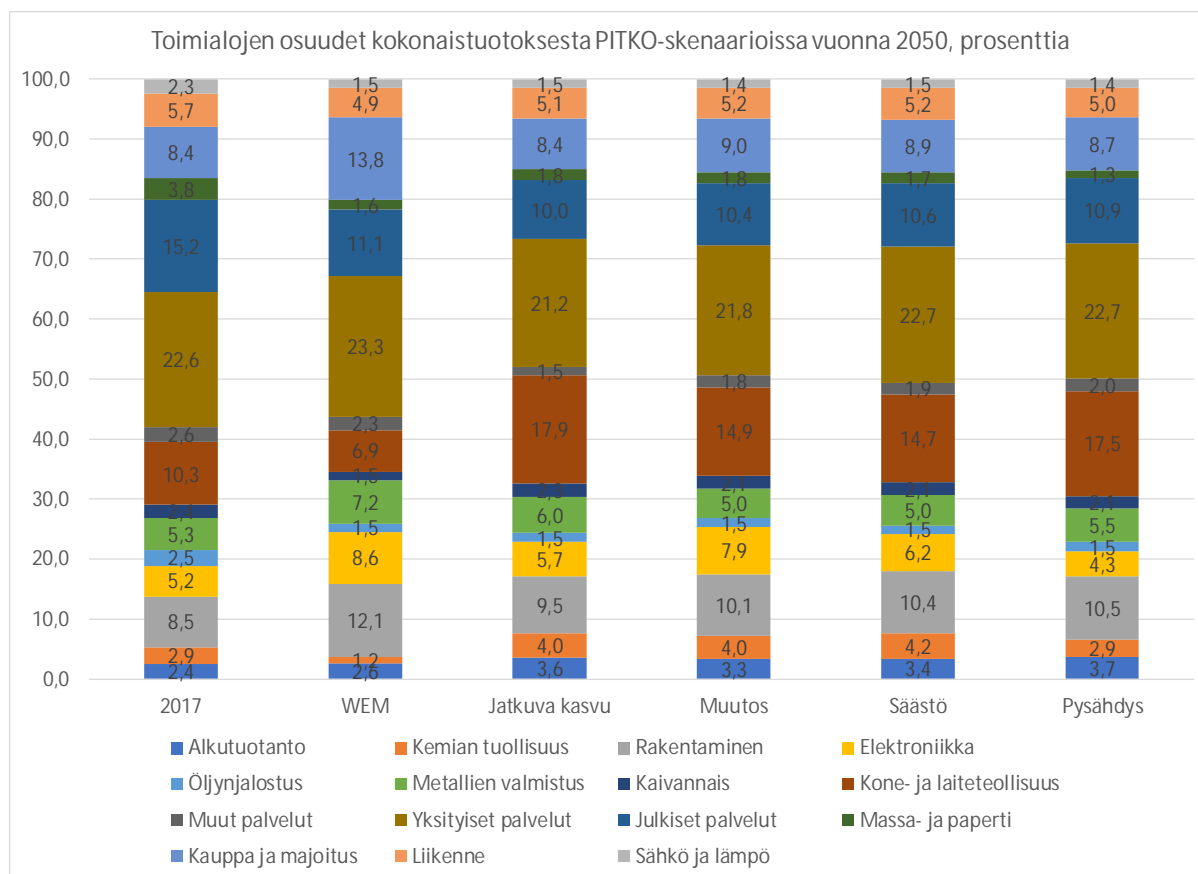
Kuva 40. Kysyntäerien vaikutus kansantuotteen kasvuun WEM- ja PITKO-skenaarioissa.



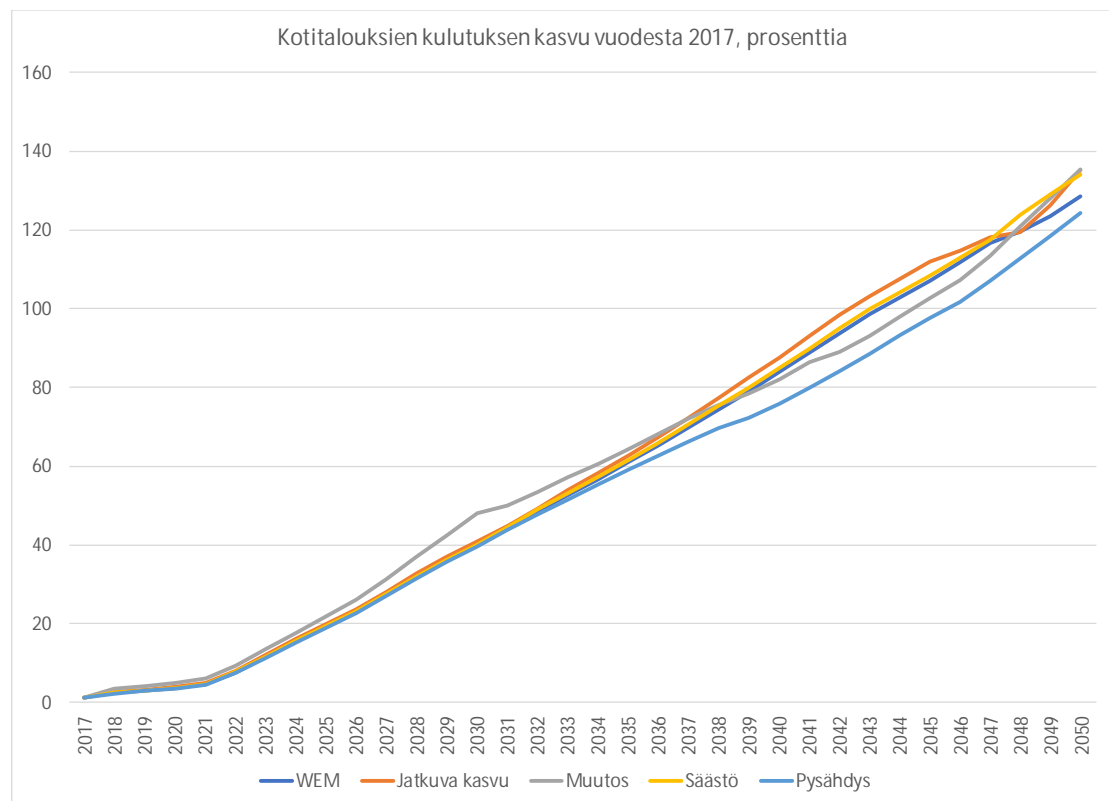
Kuva 41. Tarjontaerien vaikutus kansantuotteen kasvuun WEM- ja PITKO-skenaarioissa.



Kuva 42. Toimialojen osuudet kokonaistuotoksesta WEM- ja PITKO-skenaarioissa.



Kuva 43. Kotitalouksien kulutuksen kasvu WEM- ja PITKO-skenaarioissa.



7. KOKONAISARVIO SUOMEN MAHDOLLISISTA VÄHÄPÄÄSTÖPOLUISTA VUOTEEN 2050

Sampo Soimakallio, SYKE, Tiina Koljonen, VTT

Tässä luvussa tarkastellaan kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien (nielujen tai negatiivisten päästöjen) yhteenlaskettua kehitystä PITKO-hankkeessa laadituissa vähäpäästöskenaarioissa. Luvussa 5 on esitetty vähäpäästöskenaarioiden kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat muiden kuin maankäyttösektorin osalta. Kansainvälisesti käytössä olevien kasvihuonekaasujen laskenta- ja raportointiohjeiden mukaisesti biomassan poltossa syntyvät CO₂-päästöt lasketaan energiasektorilla nollana⁷⁹. Savu- ja prosessikaasupäästöistä talteen otettu ja varastoitu biomassasta peräisin oleva CO₂ on laskettu negatiivisena päästönä (poistumana) ja esitetty omana kategorianaan (vrt. Kuva 13, Kuva 14 ja Kuva 15). Toistaiseksi kansainväliset kasvihuonekaasujen laskenta- ja raportointiohjeet eivät kuitenkaan tunnista tällaista negatiivista päästöä, joten on epäselvää, miten negatiiviset päästöt tullaan toteutuessaan laskennassa ja raportoinnissa huomioimaan.

Metsien ja puutuotteiden hiilivarastojen muutokset lasketaan ja raportoidaan kansainvälisen käytännön mukaisesti maankäyttösektorilla⁸⁰. Lisäksi maankäyttösektorilla lasketaan ja raportoidaan viljelysmaiden, ruohikkoalueiden, kosteikkojen ja asutuksen maankäyttöön ja niiden muutoksiin liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä ja -poistumia. Rinnakkain tämän hankkeen kanssa toteutetussa Luonnonvarakeskuksen MALULU-hankkeessa on laadittu arviot Suomen maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien kehityksestä. MALULU-hankkeen tarkastelut eivät kuitenkaan vastaa täysin tämän hankkeen vähäpäästöskenaarioita. Luvussa 7.1 kerrotaan, miten MALULU-hankkeen arvioita maankäyttösektorin kasvihuonekaasujen päästöistä ja poistumista hyödynnettiin tämän hankkeen vähäpäästöskenaarioiden nettopäästöjen (päästöjen ja poistumien erotus) arvioimiseksi. PITKO- ja MALULU-hankkeiden tiukan aikataulun sekä käytettävissä olleiden resurssien rajallisuuden vuoksi skenaarioiden kunnollinen integrointi oli mahdotonta. Tämän takia jäi tarkastelematta useita maankäytön muutosten arviointiin liittyviä kysymyksiä, joita tulee jatkossa tarkastella huomattavasti yksityiskohtaisemmin. Lisäksi PITKO-hankkeen viimeinen laskentakierros sisälsi päivityksiä tuloksiin, joita ei pystytty enää huomioimaan MALULU-hankkeen laskennassa.

7.1. Maankäyttösektorin päästöt

Maankäyttösektorin päästöillä tarkoitetaan sektorilla virallisissa kasvihuonekaasuinventaarissa IPCC:n ohjeistuksen mukaan raportoitavia CO₂-, CH₄- ja N₂O-päästöjä ja -poistumia⁸⁰. Niitä tarkastellaan seuraavassa kootusti metsämaan ja puutuotteiden sekä muun maankäyttösektorin osalta.

⁷⁹ IPCC, Frequently asked questions, Q2-10. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>

⁸⁰ IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

Metsämaa ja puutuotteet

Metsien hiilinielun kehitys arvioitiin hyödyntämällä Luonnonvarakeskuksen MALULU-hankkeen⁸¹ ja Suomen ilmastopaneelin selvityksen tuloksia⁸². MALULU-hankkeen LULUCF-WEM-skenaariota oli tarkoitus vastata PITKO:n WEM-skenaariota ja LULUCF-LT2-skenaariota PITKO:n Muutos-skenaariota puunkäytöltään. PITKO-hankkeen skenaarioiden viimeinen päivitys aiheutti kuitenkin sen, että kaikki MALULU-skenaariot poikkeavat puunkäyttömäärien suhteen PITKO:n skenaarioista. Myöskään Suomen ilmastopaneelin selvityksessä ei ole tarkasteltu skenaariota, joka olisi puunkäytöltään jonkun PITKO-skenaariota kanssa täysin samanlainen. Sekä MALULU-hankkeessa että Suomen ilmastopaneelin selvityksessä on kuitenkin tarkasteltu skenaarioita, joissa hakkuumäärät ovat sekä suurempia että pienempiä kuin PITKO:n skenaarioissa. Näin ollen metsien hiilinielu arvioitiin PITKO:n skenaarioille suhteuttamalla puunkäyttö MALULU-hankkeen skenaarioihin ja arvioimalla näin saadulle tulokselle epävarmuus hyödyntäen Suomen ilmastopaneelin selvitystä.

Lähtökohtaisesti tarkasteluun valittiin MALULU-hankkeen LULUCF-WEM- ja LULUCF-LT2-skenaariot sekä puuntuotannollisesti suurin kestävä laskelma (SK). Skenaarioista ja laskelmasta otettiin niiden yhteenlaskettu runkopuukertymä (aines- ja energiapuun) lisättynä hakkuutahteiden ja kantojen korjuumäärillä ja metsämaan hiilinielut tarkastelukaussittain 2015–2024, 2025–2034, 2035–2044 ja 2045–2050 (Taulukko 10). LULUCF-LT2- ja SK-skenaarioita suhteutettiin LULUCF-WEM-skenaarioon, jotta saatiin selville, kuinka paljon metsämaan nielu pieneni, kun metsästä korjattiin lisää hiiltä aines- ja energiapuun mukana. Tätä kuvattiin dimensiotomalla indikaattorilla (ns. korjuu-nieluvasteella), jossa metsämaan hiilinielun erotuksen itseisarvo (t C) jaettiin aines- ja energiapuun korjuun erotuksen itseisarvolla (t C) (Taulukko 10). Indikaattori kuvaa sitä, miten metsämaan hiilivarasto (nielu) tietyn tarkastelujakson (esim. 2015–2024) aikana muuttuu kun puunkorjuuta lisätään vastaavan tarkastelujakson aikana tietylle tasolle (esim. SK) tietyltä tasolta (esim. LULUCF-WEM). Indikaattorin perusteet on esitetty tarkemmin Pingoud ym. (2016) -julkaisussa⁸³.

⁸¹ Aakkula, J., Asikainen, A., Kohl, J., Lehtonen, A., Lehtonen, H., Ollila, P., Regina, K., Salinen, O., Sievänen, R. & Tuomainen, T. (2019). Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 20/2019

⁸² Kalliokoski, T., Heinonen, T., Holder, J., Lehtonen, A., Mäkelä, A., Minunno, F., Packalen, T., Peltoniemi, M., Pukkala, T., Salminen, O., Schelnaas, M.-J., Vauhkonen, J., Kanninen, M. 2019. Skenaarioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista. Suomen ilmastopaneeli (painossa).

⁸³ Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S. and Helin, T., 2016. Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *Gcb Bioenergy*, 8(1), pp.171-182.

Taulukko 10. Metsästä korjattu runkopuu (aines- ja energiapuu), hakkuutähteet ja kannot yhteensä sekä metsämaan hiilinielut MALULU-hankkeen⁸¹ LULUCF-WEM- ja LULUCF-LT2-skenaarioissa sekä puuntuotannollisesti suurimassa kestävässä laskelmassa (SK) ja näistä lasketut erot LULUCF-WEM-skenaarioon verrattuna (muunnoskertoimenä käytetty: 1 Mm³ ~ 0,2 Mt C ~0,73 Mt CO₂).

	Metsästä korjattu runkopuu (aines- ja energiapuu), hakkuutähteet ja kannot yhteensä (Mm ³ a ⁻¹)			
	2015–2024	2025–2034	2035–2044	2045–2050
LULUCF-WEM	79,0	87,3	88,6	88,5
LULUCF-LT2	80,4	81,5	67,2	71,6
SK	102,6	104,5	104,6	104,6
	Metsämaan hiilinielu (Mt CO ₂ -ekv.a ⁻¹)			
LULUCF-WEM	36,7	39,9	47,5	56,2
LULUCF-LT2	35,9	46,2	73,6	90,8
SK	16,1	7,3	12,1	20,8
	Skenaarioiden väliset erot metsämaan hiilinielun itseisarvossa (t C) suhteessa skenaarioiden välisiin eroihin aines- ja energiapuun korjuumäärien itseisarvossa (t C)			
LULUCF-LT2ä LULUCF-WEM	0,8	1,5	1,7	2,8
LULUCF-WEMä SK	1,2	2,6	3,0	3,0

Vähäpäästöskenaarioita varten metsämaan hiilinielun absoluuttinen taso arvioitiin ensin hyödyntämällä LULUCF-WEM-skenaariota mukaista hiilinielun tasoa vuosina 2020, 2030, 2040 ja 2050 ja korjaamalla sitä PITKO:n vähäpäästöskenaarioiden ja LULUCF-WEM-skenaariota välisellä aines- ja energiapuun korjuumäärien erolla (Taulukko 11) ja sen arvioidulla vaikutuksella hiilinieluun (Taulukko 10). Mikäli aines- ja energiapuun korjuumäärä oli vuoden 2020, 2030, 2040 tai 2050 tasolla suurempi kuin LULUCF-WEM-skenaariossa, pienennettiin metsämaan hiilinielua kyseisen vuoden tasolla soveltamalla LULUCF-WEM- ja SK-skenaarioiden välistä korjuu-nieluvastetta kertymäeron hiilimäärään. Vastaavasti jos aines- ja energiapuun korjuumäärä oli pienempi kuin LULUCF-WEM-skenaariossa, sovellettiin LULUCF-LT2- ja LULUCF-WEM-skenaarioiden välistä korjuu-nieluvastetta. Näin laadittu arvio tuottaa metsämaan nielusta suuntaa-antavan tuloksen, joka on todennäköisesti tarkastelujakson yli laskettuna varsin lähellä sitä, mitä MALULU-hankkeessa käytetty Luonnonvarakeskuksen MELA2016-ohjelmisto tuottaisi, mutta saattaa yli- ja aliarvioida nielun kokoa yksittäisinä tarkasteluvuosina. Laadittua arviota ei kuitenkaan valittu sellaisenaan kuvaamaan PITKO:n vähäpäästöskenaarioiden metsämaan nielua, vaan arvioille laadittiin vaihteluväli seuraavassa kuvatus mukaisesti.

Metsämaan hiilinielun yläraja-arvio laadittiin hyödyntämällä MALULU-hankkeen LT2i-skenaariota, joka kuvaa metsien hiilinielun kehitystä MELA2016-ohjelmiston mukaan tilanteessa, jossa ilmasto-olosuhteet kehittyisivät IPCC RCP2.6 -ilmastonmuutosskenaariossa kuvatulla tavalla. LT2i-skenaariossa metsämaan hiilinielu on vuonna 2020 n. 0 %, 2030 n. 10 %, 2040 n. 15 % ja 2050 n. 20 % suurempi kuin LT2-skenaariossa. Yllä mainitun mukaisesti laadittuja arvioita PITKO:n vähäpäästöskenaarioiden metsämaan hiilinielusta korjattiin vastaavasti ylöspäin yläraja-arvioin laatimiseksi.

Koska MELA2016-ohjelmistossa sovelletut kasvumallit eivät ota huomioon esimerkiksi maaperän tyyppien riittävyyttä puuston kiihtyvässä kasvussa, eikä mukana ole arviota mahdollisesti

lisääntyvien häiriötekijöiden, kuten myrsky- tai hyönteistuhojen tai metsäpalojen vaikutuksista⁸¹, saattavat ohjelmiston tuottamat metsämaan nieluarviot olla ylioptimistisia erityisesti viimeisimpien tarkasteluvuosien osalta. Suomen ilmastopaneelin selvityksessä⁸⁴ tarkasteltiin metsien hiilinielun kehitystä kuuden eri metsien kehitystä kuvaavan mallin (EFDM, EFISCEN, FORMIT, MELA⁸⁵, MONSU ja PREBAS) avulla kolmella erilaisella hakkuutasoskenaariolla (40, 80 ja 85 Mm³). Selvityksen keskeinen johtopäätös on, että mallit tuottivat keskenään hyvin erilaisia arvioita metsien hiilinielun kehityksestä toisiinsa kohtuullisen hyvin verrannollisilla hakkuutasoilla. Esimerkiksi keskimääräinen nielu vuosina 2015–2055 vaihtelee Suomen ilmastopaneelin selvityksessä vertailuissa malleissa välillä 10–43 Mt CO₂-ekv., kun keskimääräinen nielu vuosina 2015–2050 on MELA2016-ohjelmiston mukaan 44 Mt CO₂-ekv. Syitä mallien tuottamien tulosten eroavaisuuksiin on selvityksen mukaan lukuisia, eikä niitä pystytty selvityksessä analysoimaan. Mitä kauemmaksi tulevaisuuteen mennään, sitä suuremmaksi epävarmuus kasvaa. Metsämaan nielun alaraja-arvio laadittiin pienentämällä kullekin vähäpäästöskenaariolle yllä mainitun mukaisesti johdettua nieluarviota 10 % 2020, 20 % 2030, 30 % 2040 ja 40 % 2050.

Taulukko 11. Metsästä korjattu runkopuu (aines- ja energiapuu), hakkuutähteet ja kannot yhteensä sekä metsämaan hiilinielut MALULU-hankkeen LULUCF-WEM-skenaariossa⁸¹ ja tämän hankkeen vähäpäästöskenaarioissa.

	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Metsästä korjattu runkopuu (aines- ja energiapuu), hakkuutähteet ja kannot yhteensä (Mm³a⁻¹)						
LULUCF-WEM			79,0	87,3	88,6	88,5
WEM	66,0	70,1	80,3	84,5	91,3	93,0
EU–80%	66,0	70,1	80,3	84,6	92,6	94,1
Jatkuva kasvu	66,0	70,1	80,5	84,0	85,4	86,7
Muutos	66,0	70,1	80,3	84,0	71,3	73,0
Säästö	66,0	70,1	81,1	88,9	94,2	94,1
Pysähdys	66,0	70,1	80,5	84,6	89,8	92,8
Metsämaan hiilinielu (Mt CO₂-ekv.a⁻¹)						
LULUCF-WEM	33	32	38	38	48	59
WEM	33	32	34–37	33–43	29–46	29–59
EU–80%	33	32	34–37	33–43	27–43	28–56
Jatkuva kasvu	33	32	33–37	33–44	36–57	38–75
Muutos	33	32	34–37	33–44	48–76	54–109
Säästö	33	32	33–37	28–37	25–39	28–56
Pysähdys	33	32	33–37	33–43	32–50	30–59

MALULU-hankkeessa puutuotteiden hiilinielu arvioitiin LULUCF-WEM-skenaariolle voimassa olevien puutuotteiden raportointisääntöjen perusteella. Niiden mukaan puutuotteiden hiilivaraston kehitys lasketaan kotimaisesta puusta tuotettujen puutuotteiden tuotantomäärien ja niiden sisältämän hiilen puoliintumisaikojen perusteella⁸⁶. Puutuotteiden hiilivaraston muutok-

⁸⁴ Kalliokoski, T., Heinonen, T., Holder, J., Lehtonen, A., Mäkelä, A., Minunno, F., Packalen, T., Peltoniemi, M., Pukkala, T., Salminen, O., Schelnaas, M.-J., Vauhkonen, J., Kanninen, M. 2019. Skenaarioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista. Suomen ilmastopaneeli (painossa).

⁸⁵ Suomen ilmastopaneelin selvityksen vertailussa mukana ollut MELA-malli tuottaa pienemmän puuston kasvun ja metsämaan nielun kuin MALULU-hankkeessa käytetty MELA2016-versio.

⁸⁶ Statistics Finland. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2016. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, 15 April 2018.

seen vaikuttaa erityisesti muutokset sahatavaran tuotannossa⁸⁶. Tämän hankkeen vähäpäästöskenaarioissa puutuotteiden hiilinielun absoluuttinen taso arvioitiin hyödyntämällä LULUCF-WEM-skenaariota mukaista hiilinielun tasoa vuosina 2020, 2030, 2040 ja 2050 ja painottaamalla sitä tämän hankkeen vähäpäästöskenaarioiden ja LULUCF-WEM-skenaariota välisellä suhteella mekaanisen metsäteollisuuden puunkäytössä. Erot mekaanisen metsäteollisuuden puunkäytössä ovat verrattain pieniä eri vähäpäästöskenaarioiden ja LULUCF-WEM-skenaariota välillä, minkä seurauksena puutuotteiden hiilinieluarvio vähäpäästöskenaarioille on todennäköisesti suuruusluokaltaan luotettava. Arvioon voidaan kuitenkin olettaa liittyvän epävarmuutta, joka kasvaa tarkastelujakson loppua kohden. Tämän vuoksi arviota korjattiin vielä soveltamalla ± 10 %:n (2020), ± 20 %:n (2030), ± 30 %:n (2040) ja ± 40 %:n (2050) epävarmuutta, joista muodostettiin ala- ja yläraja-arviot puutuotteiden hiilinieluille.

Taulukko 12. Mekaanisen metsäteollisuuden sahatavaran, vanerin, levytuotteiden ja muiden tuotteiden yhteenlaskettu tuotanto sekä puutuotteiden hiilinielu MALULU-hankkeen LULUCF-WEM-skenaariossa⁸¹ ja tämän hankkeen vähäpäästöskenaarioissa.

	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Mekaanisen metsäteollisuuden tuotanto, Mm³						
LULUCF-WEM			13,1	13,5	13,5	13,5
WEM			13,2	13,9	15,4	16,8
EU-80%			13,2	13,9	15,4	16,8
Jatkuva kasvu			13,3	14,4	15,6	17,0
Muutos			13,3	13,6	14,2	15,0
Säästö			13,4	14,6	15,8	17,1
Pysähdys			13,2	13,9	15,4	16,8
Puutuotteiden hiilinielu (Mt CO₂-ekv.a⁻¹)						
LULUCF-WEM	2	3	3	3	3	2
WEM	2	3	3–4	3–4	2–4	2–4
EU-80%	2	3	3–4	3–4	2–4	2–4
Jatkuva kasvu	2	3	3–4	3–4	2–4	2–4
Muutos	2	3	3–4	3–4	2–4	1–3
Säästö	2	3	3–4	3–4	2–4	2–4
Pysähdys	2	3	3–4	3–4	2–4	2–4

Muu maankäyttösektori

Muun maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöjä arvioitiin Luken MALULU-hankkeessa tuotettujen arvioiden perusteella. Muu maankäyttö sisältää viljelysmaan, ruohikkoalueet, kosteikot ja rakennetun maa-alan. Muun maankäytön arvioissa käytettiin MALULU-hankkeen WEM- ja LULUCF-LT2-skenaarioiden tuloksia, jotka ovat lähellä PITKO:n WEM- ja Muutos-skenaarioita. Sen sijaan Jatkuva kasvu, Säästö ja Pysähdys -skenaarioiden osalta pystyttiin tekemään ainoastaan karkea arvio WEM- ja Muutos-skenaarioiden perusteella suhteuttamalla päästöt skenaariossa oletettujen lähtökohtien mukaan. Lisäksi Muutos-skenaariota maankäyttösektorin osalta päädyttiin hieman varovaisempaan arvioon KHK-päästöjen vähenemisen osalta kuin mitä MALULU:n LULUCF-LT2-skenaariossa. Muun maankäyttösektorin päästöarviot on esitetty seuraavassa luvussa, jossa on yhteenveto kokonaispäästöarviosta. Muun maankäytön päästöjen merkitys on kuitenkin koko LULUCF-sektorin taseeseen selvästi

vähäisempi kuin edellä esitetyn metsämaan päästöt. Alla (Taulukko 13) on esitetty Luken laskemat arviot muun maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöistä WEM- ja Muutos-skenaarioille. Taulukosta nähdään, että muun maankäyttösektorin päästöt vuonna 2050 ovat WEM-skenaariossa vajaat 12 Mt CO₂ ekv. ja Muutos-skenaariossa vajaat 5 Mt CO₂ ekv. Suurin vähenemä on viljelysmaan päästöissä. MALULU-hankkeen politiikkaskenaarioissa oli lähtökohtaisesti oletettu, että turvemaiden raivaus estetään vuoden 2020 jälkeen, mikä näkyy paitsi viljelymaiden myös kosteikkojen päästöjen vähenemisenä. Muutos-skenaariossa viljelysmaa-alan pieneneminen vaikuttaa myös päästöjen vähenemiseen. Toisaalta vapautunutta peltoalaa käytetään Muutos-skenaariossa peltokasveihin perustuvaan bioenergian tuotantoon. MALULU-hankkeen LULUCF-LT2-laskelmissa huomioitiin myös Muutos-skenaarion mukainen tuulivoiman merkittävä kasvu ja sen vaatima maa-ala, joka siirtyy joko metsämaasta tai muusta maasta rakennetuksi maaksi.

Taulukko 13. Muun maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöjen kehitys perustuen Luken MALULU-hankkeen tuloksiin.

milj. t CO ₂ ekv.	2005	2016	2020	2030	2050
WEM (MALULU:n LULUCF-WEM)					
Viljelysmaa	7,4	6,9	6,7	7,5	7,8
Ruohikkoalueet	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7
Kosteikot	2,2	2,3	2,2	2,1	2,0
Rakennettu maa	1,7	1,5	1,5	1,5	1,1
Muutos (MALULU:n LULUCF-LT2)					
Viljelysmaa	7,4	6,8	5,9	5,1	2,4
Ruohikkoalueet	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8
Kosteikot	2,2	2,2	2,1	1,6	0,9
Rakennettu maa	1,7	1,5	1,5	1,2	0,5

7.2. Kokonaisarvio Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä

Alla (Taulukko 14) on esitetty yhteenveto Suomen kokonaispäästöjen kehityksistä huomioiden sekä kaikkien muiden sektoreiden kasvihuonekaasupäästöjen tase että LULUCF-sektorin KHK-päästötase kaikissa PITKO-skenaarioissa.

Taulukko 14. Yhteenveto PITKO-skenaarioiden kokonaispäästöjen kehityksistä.

KHK-päästöt, Mt CO ₂ ekv.	2020	2030	2040	2050
WEM yhteensä	27...31	12...23	0...18	-24...8
Päästösektorit	57	47	38	27
LULUCF metsä + puutuotteet	-41...-37	-47...-36	-50...-32	-63...-31
LULUCF muu maankäyttö	11	12	12	12
EU-80%, yhteensä	30...36	3...14	-17...0	-47...-17
Päästösektorit	55	41	24	9
LULUCF metsä + puutuotteet	-41...-37	-47...-36	-47...-30	-60...-30
LULUCF muu maankäyttö ¹⁾	12	9	6	4
Jatkuva kasvu, yhteensä	24...29	1...14	-32...-7	-66...-24
Päästösektorit	55	40	23	9
LULUCF metsä + puutuotteet	-41...-37	-48...-36	-61...-38	-79...-39
LULUCF muu maankäyttö	10–11	9–10	6–8	4–6
Muutos, yhteensä	24...29	2...15	-51...-19	-100...-42
Päästösektorit	55	41	23	7
LULUCF metsä + puutuotteet	-41...-37	-48...-36	-80...-50	-112...-56
LULUCF muu maankäyttö	10–11	9–10	6–8	5–7
Säästö, yhteensä	26...31	12...23	-11...6	-46...-14
Päästösektorit	56	42	22	7
LULUCF metsä + puutuotteet	-40...-36	-41...-31	-43...-27	-60...-30
LULUCF muu maankäyttö	10–11	11–12	10–11	7–9
Pysähdys, yhteensä	26...30	5...16	-17...3	-40...-8
Päästösektorit	56	40	25	11
LULUCF metsä + puutuotteet	-41...-37	-47...-36	-54...-34	-63...-31
LULUCF muu maankäyttö	11	12	12	12

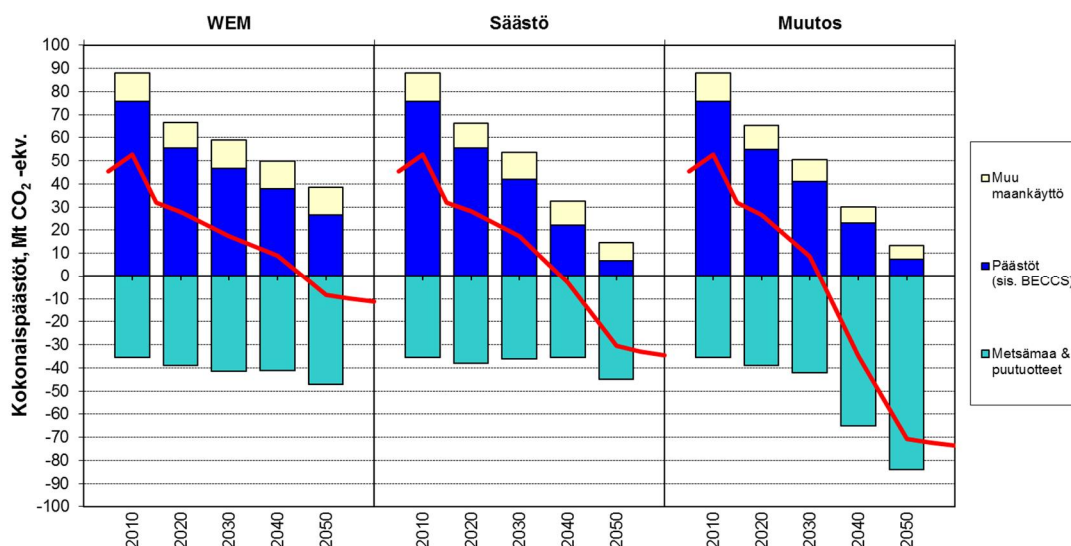
1) Perustuu MALULU:n LULUCF-LT1-skenaarioon

Alla (Kuva 44) on esitetty myös graafisesti arvio Suomen kokonaispäästöjen kehityksestä WEM-, Säästö- ja Muutos-skenaarioille perustuen yhteenvetotaulukon (Taulukko 14) keskiarvoihin. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että Suomi voisi saavuttaa hiilineutraaliustavoitteen vuoteen 2040 mennessä, mikäli Suomi toteuttaa päästövähennystavoitteen (i. vähintään 85 % KHK-päästövähennys vuoden 1990-päästöihin verrattuna) ja samalla huolehtii riittävän hiilinielujen kasvun pitkällä aikavälillä. Tuloksista nähdään, että WEM-skenaariossa, jossa

Suomen KHK-päästöjen vähennykselle ei annettu sitovaa tavoitetta vuoden 2020 jälkeen, hiilineutraalisuuden tavoitteen savuttaminen on epävarmaa. Myös WEM-skenaariossa KHK-päästöt lähtivät laskevalle uralle oletetun korkean päästöoikeuden hinnan vuoksi. Muutos- ja Jatkuva kasvu -skenaarioissa toisiin skenaarioihin verrattuna alhainen kotimaisen puun käyttö johtaa niitä merkittävämpään metsänielujen kasvuun, jonka vuoksi hiilineutraalisuus voitaisiin saavuttaa jopa ennen vuotta 2040. Toisaalta Säästö-skenaariossa, jossa puunkäyttö ylitti WEM-skenaarion tason, hiilineutraalisuus saavutettaisiin myös 2040-luvun alkupuolella. Mitä enemmän hiilineutraalisuuden saavuttamisessa nojaututaan hiilinieluilla tehtävään KHK-päästöjen kompensatioon, sitä epävarmempaa on hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen johonkin tiettyyn vuoteen mennessä.

On epäselvää, missä määrin LULUCF-sektorin nieluja voidaan hyväksi lukea kansainvälisesti Pariisin sopimukseen kirjatun nettonollapäästötavoitteen saavuttamiseksi. 1,5 asteen tavoitteen saavuttamiseksi oikeudenmukaisella tavalla Suomen nettopäästöjen tulisi olla vuonna 2050 vähintään 20–35 Mt CO₂ alle nollan, mikäli LULUCF-nettonielu olisi täysimääräisesti hyödynnettävissä (ks. luku 3.4). Tällöin nielujen yläraja-arvion mukaan kaikki vähäpäästöskenaariot ja alaraja-arvion mukaan Muutos-skenaario täyttäisivät tavoitteen. Kuitenkin jos nettonollapäästöjen tavoittelun lähtökohdaksi otetaan nielujen lisäisyys nykytasoon verrattuna (ks. luku 3.2), tulisi Suomen nettopäästöjen olla noin 40–55 Mt CO₂ alle nollan vuonna 2050⁸⁷. Tällöin nielujen alaraja-arvion mukaan mikään skenaarioista ei täyttäisi tavoitetta, ja yläraja-arvion mukaan siihen päästäisiin Muutos- ja Jatkuva kasvu -skenaarioissa.

Kuva 44. Arvio kokonaispäästöjen kehityksistä. Päästösektori sisältää Kioton pöytäkirjan mukaiset kasvihuonekaasupäästöt mukaan lukien bio-CCS:n negatiiviset päästöt.



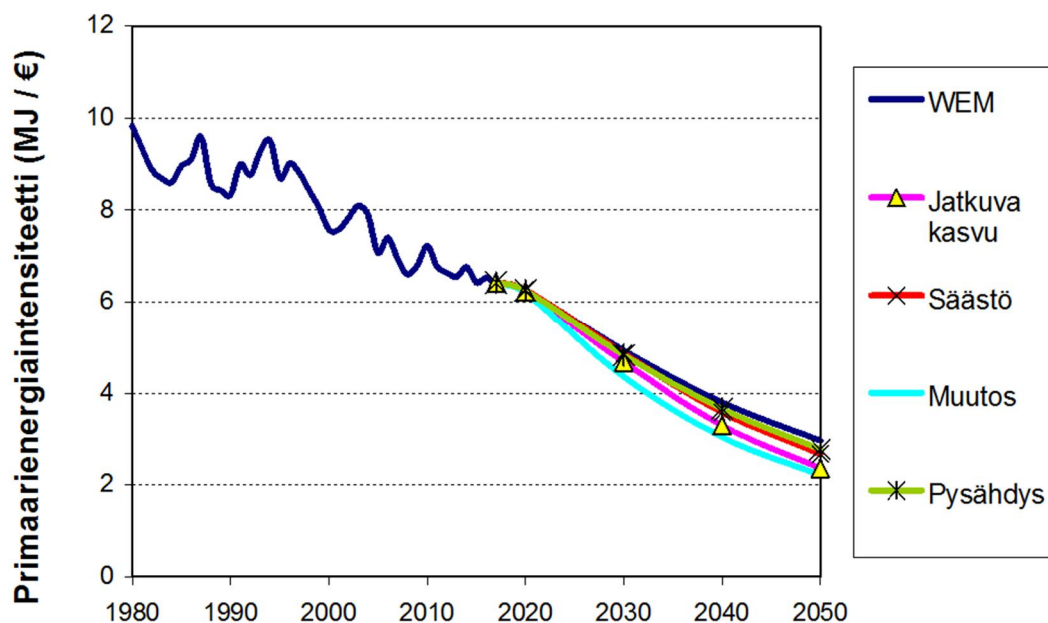
⁸⁷ Suomen LULUCF-sektorin nettonielu oli n. 20 Mt CO₂-ekv. vuonna 2017. http://tilastokeskus.fi/til/khki/2017/01/khki_2017_01_2019-01-15_tie_001_fi.html?ad=notify

7.3. Energia- ja päästöintensiteettien kehitykset

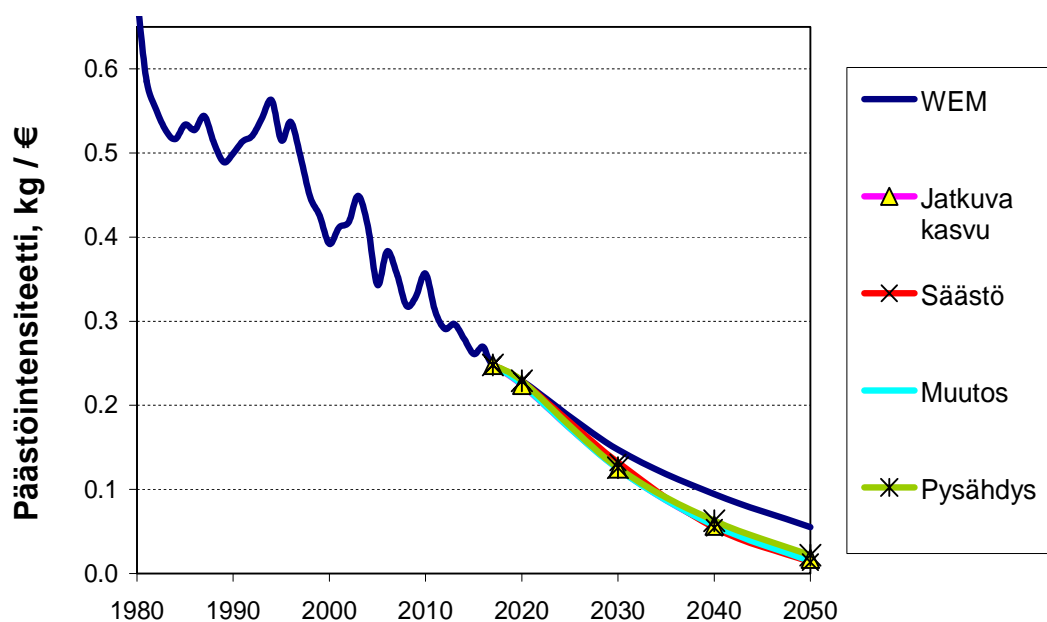
Hallintomalliasetuksessa edellytetään, että jäsenmaiden on sisällytettävä raportointiinsa myös energia- ja päästöintensiteettien kehitykset. Näillä tarkoitetaan energian käytön ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä suhteutettuna BKT:n kehitykseen. Globaalina haasteena on irrottaa energian kulutus ja päästöjen kehitys talouden kehityksestä. Esimerkiksi kehittyvän Aasian maissa elintason nopea nousu on näkynyt myös nopeana energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen kasvuna. Toisaalta Suomessa samoin kuin keskimäärin EU-alueella käänne on jo tapahtunut, mutta hiilineutraalisuuden saavuttaminen vuoteen 2050 mennessä edellyttää, että energia- ja päästöintensiteetit laskevat edelleen merkittävästi.

Alla (Kuva 45) on esitetty energiaintensiteetin kehitykset WEM- ja vähäpäästöskenaarioille laskettuna primaarienergian käytön perusteella. Vastaavat päästöintensiteetin kehitykset (Kuva 46) on esitetty laskettuna Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöjen perusteella, eli ilman LULUCF-sektorin päästöjä, mutta kuitenkin huomioiden negatiiviset KHK-päästöt bio-CCS:n käytön myötä.

Kuva 45. Energiaintensiteetin kehitys laskettuna primäärienergian kulutuksen perusteella.



Kuva 46. Päästöintensiteetin kehitys huomioiden Kiiton pöytäkirjan mukaiset kasvihuonekaasupäästöt (kg CO₂ ekv.) mutta ilman LULUCF-sektorin päästöjä.



Yllä olevista kuvista nähdään, että kehitys on ollut keskimäärin oikean suuntaista jo usean vuosikymmenen ajan. Lisäksi nähdään, että vähäpäästöskenaarioiden välillä on hyvin pienet erot. Pitkän aikavälin tulokset ovat hyvin yhdenmukaiset aiemmin esitetyn arvion kanssa⁸⁸. Poikkeuksena aiempaan nähden on kuitenkin WEM-skenaarioiden intensiteettien kehitykset, jotka ovat hyvin lähellä vähäpäästöskenaarioita. Tämä johtuu pitkälti WEM-skenaariossa oletetuista korkeista päästöoikeuden hinnoista, minkä vuoksi KHK-päästöt lähtevät nopeahkoon

⁸⁸ Koljonen, T. & Similä, L. (eds.) (2012). Low carbon Finland 2050. VTT clean energy technology strategies for society, VTT Visions; 2. <https://www.vtt.fi/int/pdf/visions/2012/V2.pdf>

laskuun. Energiaintensiteetin osalta nähdään kuinka oletukset erityisesti energiaintensiivisen teollisuuden kehityksestä vaikuttavat tuloksiin. Alhaisin energiaintensiteetti saavutetaan Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioissa, joissa oletettiin, että Suomessa tapahtuu merkittävä teollisen rakenteen muutos siirryttäessä korkean jalostusasteen tuotteiden tuotantoon, jolloin lähtökohtaisesti oletettiin myös laskevat trendit teollisten tuotteiden tuotantovolyymeille. Muissa PITKO-skenaarioissa teollisuus on edelleen merkittävä energiankäyttäjä, mutta erot jäävät kuitenkin yllättävän pieniksi skenaarioiden välillä. Esimerkiksi Säästö- ja Pysähdys-skenaarioissa myös CCS hieman lisää energiankulutusta toisin kuin Jatkuva kasvu -skenaariorissa, jossa CCS ei ollut sallittu päästövähennystoimi, mutta energiaintensiteetin suuruuteen CCS:n vaikutus on mitätön.

8. KANSALAISTEN NÄKEMYKSET ILMASTONMUUTOKSEN HILLINNÄSTÄ – KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET

Lassi Similä, Tiina Koljonen, VTT, Mikael Hildén, Sampo Soimakallio, SYKE

8.1. Yleiset taustat ja tavoite

PITKO-hankkeen projektisuunnitelman mukaisesti hankkeessa toteutettiin kyselytutkimus, jonka tavoitteena oli selvittää kansalaisten näkemyksiä ilmastomuutoksen hillinnän tavoitteista ja siihen liittyvistä keinoista. Kyselytutkimus täydensi siten hankkeen asiantuntija-/malipohjaista lähestymistapaa tuomalla esiin kansalaisten suhtautumista mahdollisiin toimiin, joilla kasvihuonekaasupäästöjä voi vähentää tavoitteiden saavuttamiseksi.

Kyselytutkimuksen tarkastelun tavoitteena oli keskittyä sellaisiin kysymyksiin, jotka ovat relevantteja ohjauksen kehittämisessä vähäpäästöpolkujen saavuttamiseksi. Kyselyä ei liitetty suoraan hankkeessa tuotettaviin skenaarioihin, vaan näkökulma oli yleisempi. Kysely tuotti yleisesti tietoa siitä, missä kansalaiset kokevat haasteita ja mahdollisuuksia erilaisten vähäpäästöpolkujen toteutuksessa. Tulokset auttavat siten kiinnittämään vähäpäästöpolkujen kehittäjien huomiota kysymyksiin, jotka voivat nousta esiin vähäpäästöpolkuihin liittyvässä keskustelussa, riippumatta siitä, ovatko ne 'oikeita' tai 'teknisesti relevantteja'. Kyselyvastausten avulla voidaan myös arvioida eri PITKO-skenaarioiden haasteita ja mahdollisuuksia, kun skenaarioiden määrittelyjen erot tunnetaan. Hankkeen painopisteen vuoksi kuluttajien suhtautuminen valtakunnan tason toimenpiteisiin on kyselyssä merkittävässä roolissa kuluttajien henkilökohtaisten toimien ohella.

Kyselyn eräänä erityisenä tavoitteena oli vertailla tuloksia LCFinPlat-hankkeessa 2014 toteutettuun kyselyyn⁸⁹, jonka tavoitteena oli selvittää kuluttajien arvoja, asenteita, valmiuksia ja esteitä siirryttäessä vähähiiliseen tulevaisuuteen. Vertailemalla sitä soveltuvin osin vuonna 2018 toteutettuun PITKO-kyselyyn saatiin viitteitä siitä, onko kansalaisten suhtautumisessa ilmastomuutoksen hillintään tapahtunut muutoksia viime vuosien aikana. Tämän lisäksi tuloksia voitiin verrata muihin samaa aihepiiriä tarkastelleiden kyselyiden tuloksiin, esimerkiksi ilmastobarometri 2015⁹⁰, eurobarometri 2017⁹¹, Estrellan 2018 toteuttama Ilmastomuutos suomalaisten arjessa -tutkimus⁹² sekä Suomen Kuvalehden 2018 tutkimus⁹³. Tuloksia voitiin verrata myös aikaisempiin kansalaiskyselyiden tuloksiin, joita on koottu mm. vuoden 2008 julkaisussa Ilmastoasenteiden muutos ja muuttajat.⁹⁴

⁸⁹ <http://www.lowcarbonplatform.fi/tyopajat-ja-kyselyt.html>

⁹⁰ http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Suomalaiset_haluavat_tehokkaampia_toimia%2833183%29

⁹¹ Special Eurobarometer 459. Survey requested by the European Commission, Directorate-General for Climate Action and co-ordinated by the Directorate-General for Communication. http://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/S2140_87_1_459_ENG

⁹² <https://www.epressi.com/tiedotteet/vmparisto-ja-luonto/tutkimus-suomalaisten-huoli-ilmastonmuutoksesta-ei-nay-arjen-valinnoissa.html>

⁹³ Vento, H. (2019). Ilmastouutiset vaikuttivat arkeen. Suomen Kuvalehti 11.1. 2019, s. 22-25.

⁹⁴ Kuittinen, O., Neuvonen, A., Mokka, R., Riala, M., Sivonen, R. (2008). Ilmastoasenteiden muutos ja muuttajat - Selvitys Vanhasen II hallituksen tulevaisuusselontekoa varten. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 9/2008

8.2. Kyselyn toteutus, rakenne ja sisältö

Kysely toteutettiin siten, että kyselylomake laadittiin VTT:n ja SYKE:n yhteistyönä, ja kommentteja ja täydennyksiä lomakkeeseen saatiin myös Luonnonvarakeskuksesta MALULU-hankkeen kanssa tehtävän yhteistyön puitteissa. Kyselyn aineiston keruun ja raportoinnin toteutti alihankintana alan yritys Tietoykkönen Oy.

Kyselytutkimuksen kohderyhmän muodostivat 18 vuotta täyttäneet mannersuomalaiset. Aineisto (1000 kpl vastaajia) kerättiin Bilendi Oy:n kuluttajapaneelissa 12.11.2018–19.11.2018. Otantamenetelmänä käytettiin kiintiöityä satunnaisotantaa, ja tutkimustulokset painotettiin vastaamaan alueen väestöä. Tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida kyselyn virhemarginaali, $\pm 3,1$ prosenttiyksikköä.

Kyselyn tavoitteeksi määriteltiin "tuottaa hallinnolle eväitä siitä, mitkä asiat ovat kansalaisten silmissä tärkeitä ja mihin asioihin tulee tämän takia kiinnittää erityistä huomiota, kun pyritään toteuttamaan nykyistä radikaalimpia polkuja kohti vähähiilisyyttä". Kysymykset laadittiin palvelemaan tätä tavoitetta, ja lopullinen kyselylomake (ks. liite 1) sisälsi 5 eri kysymysosiota ja noin 60–70 kysymystä. Kyselyn täydelliset tulokset on julkaistu PITKO-hankkeen internet-sivuilta⁹⁵.

Kysymysosiot ja niiden sisältö on lyhyesti kuvattu seuraavassa:

- *Päätöksenteon perusteet ja ohjauskeinot* -osion kysymykset selvittivät vastaajan prioriteetteja sekä suhtautumista Suomen päästövähennystavoitteisiin ja niiden tasoon ja päästövähennysten toteutuksen edelläkävijyyteen. Osio käsitteli yleisellä tasolla kuluttajien suhtautumista päästövähennyskeinoihin (esim. teknologian kehittäminen ja käyttöönotto, verotus).
- *Energiantuotanto* -osio käsitteli energiantuotantoon liittyviä valtion mahdollisia toimia ja niihin suhtautumista, kun taas *Metsätalous ja maatalous* -osio käsitteli vastaavasti valtion toimia maa- ja metsätalouden ohjaamiseksi.
- *Nykyiset henkilökohtaiset toimet vähäpäästöisten ratkaisujen edistämiseksi ja Merkittävimmät esteet näiden ratkaisujen käyttöönotolle* -osiot keskittyivät kuluttajan henkilökohtaisiin valintoihin näihin liittyvillä alueilla: liikkuminen, asuminen, ravinto ja muu kulutus.
- *Valmius päästöjen edelleen vähentämiseen* -osion kysymykset keskittyivät kuluttajan henkilökohtaisiin valintoihin samoilla alueilla kuin nykyisiä toimia tarkastellut osio, mutta siitä poiketen keskittyi lähitulevaisuuden mahdollisiin uusiin henkilökohtaisiin ratkaisuihin.
- *Kustannusten kohdentuminen* -osio selvitti vastaajien suhtautumista eri tapoihin, joilla ilmastonmuutoksen torjuntaan liittyvät kustannukset voidaan kohdentaa.

⁹⁵ <https://www.vtt.fi/sites/pitko/kyselytutkimus>

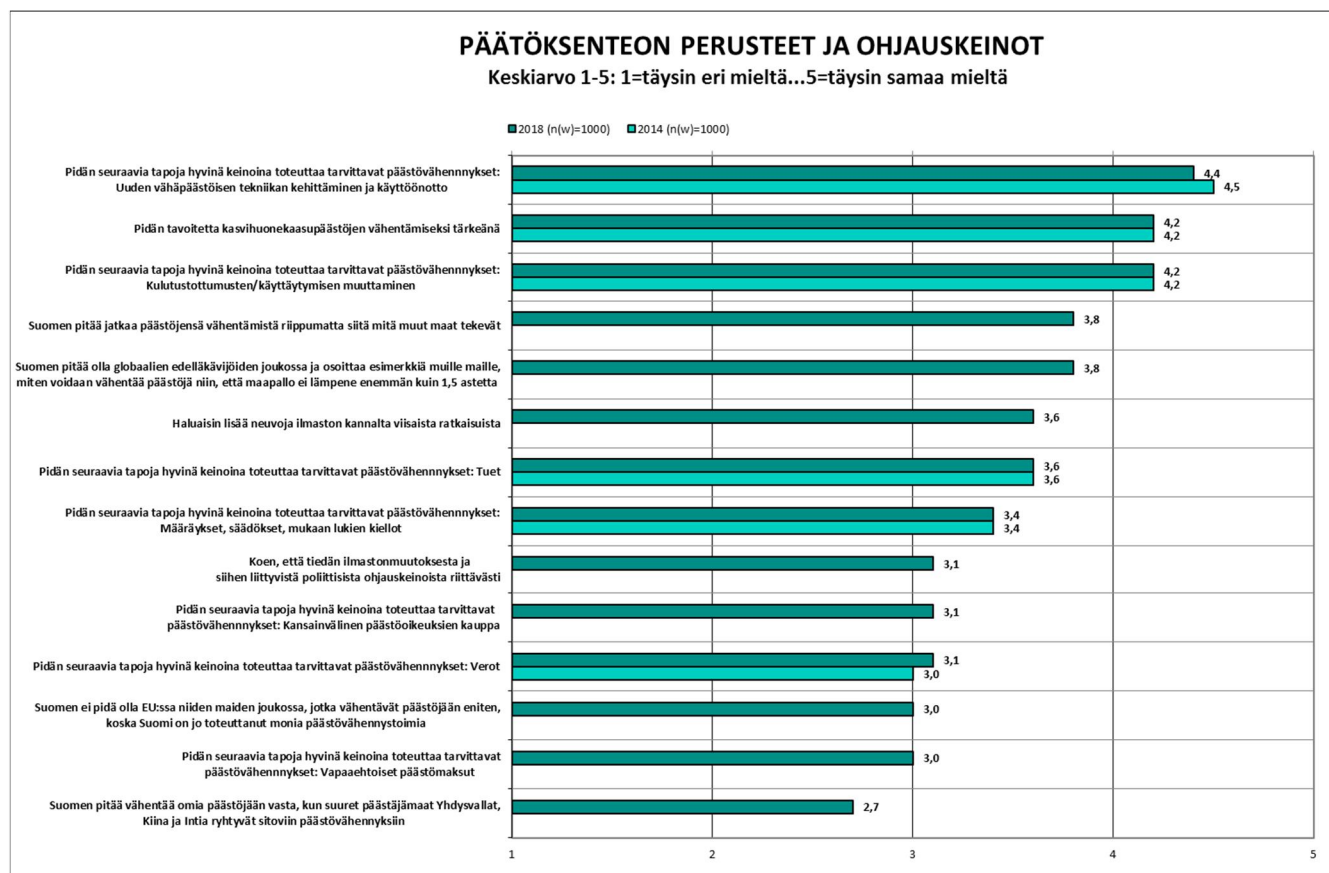
8.3. Tulokset

Päätöksenteon perusteet ja ohjauskeinot

Päätöksenteon perusteita koskevat tulokset (Kuva 47) viittasivat samaan kuin vuoden 2014 LCFinPlat-hankkeen kyselyn tulos, jonka mukaan kuluttajat näkevät ilmastonmuutoksen hillinnän tärkeänä tavoitteena. PITKO-hankkeen kyselyn vastaajista 75 % oli täysin tai melko samaa mieltä tavoitteen tärkeydestä (79 % v. 2014). Naiset pitivät asiaa tärkeämpänä kuin miehet ja vanhemmat ikäluokat (yli 70-vuotiaat) tärkeämpänä kuin nuoremmat. Tulokset ovat sopusoinnissa myös muiden viime vuosina tehtyjen kyselytutkimustulosten kanssa, joihin tuloksia verrattiin. Tällä tasolla ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia viimeisen 10 vuoden aikana – vuonna 2008 tehty kooste päättyi samankaltaisiin tuloksiin⁹⁴.

Edelläkävijyyttä koskevan kysymyksen tulosten mukaan Suomen tulisi kantaa vastuuta: 65 % vastaajista katsoo, että Suomen pitää jatkaa päästöjen vähentämisestä riippumatta muiden maiden teoista. Vuoden 2015 ilmastobarometrin mukaan 60 % vastaajista oli samaa tai lähes samaa mieltä vastaavan väittämän kanssa.⁹⁶ PITKO-hankkeen kyselyssä 63 % vastaajista oli samaa tai osittain samaa mieltä väittämästä, jonka mukaan Suomen pitää olla globaalien edelläkävijöiden joukossa pyrittäessä rajoittamaan maapallon lämpeneminen korkeintaan 1,5 celsiusasteeseen.

Kuva 47. Päätöksenteon perusteet ja ohjauskeinot -kysymysten tuloksia ja vertailua vuoden 2014 LCFinPlat-tutkimuksen kyselyyn (grafiikka: Tietoykkönen Oy).

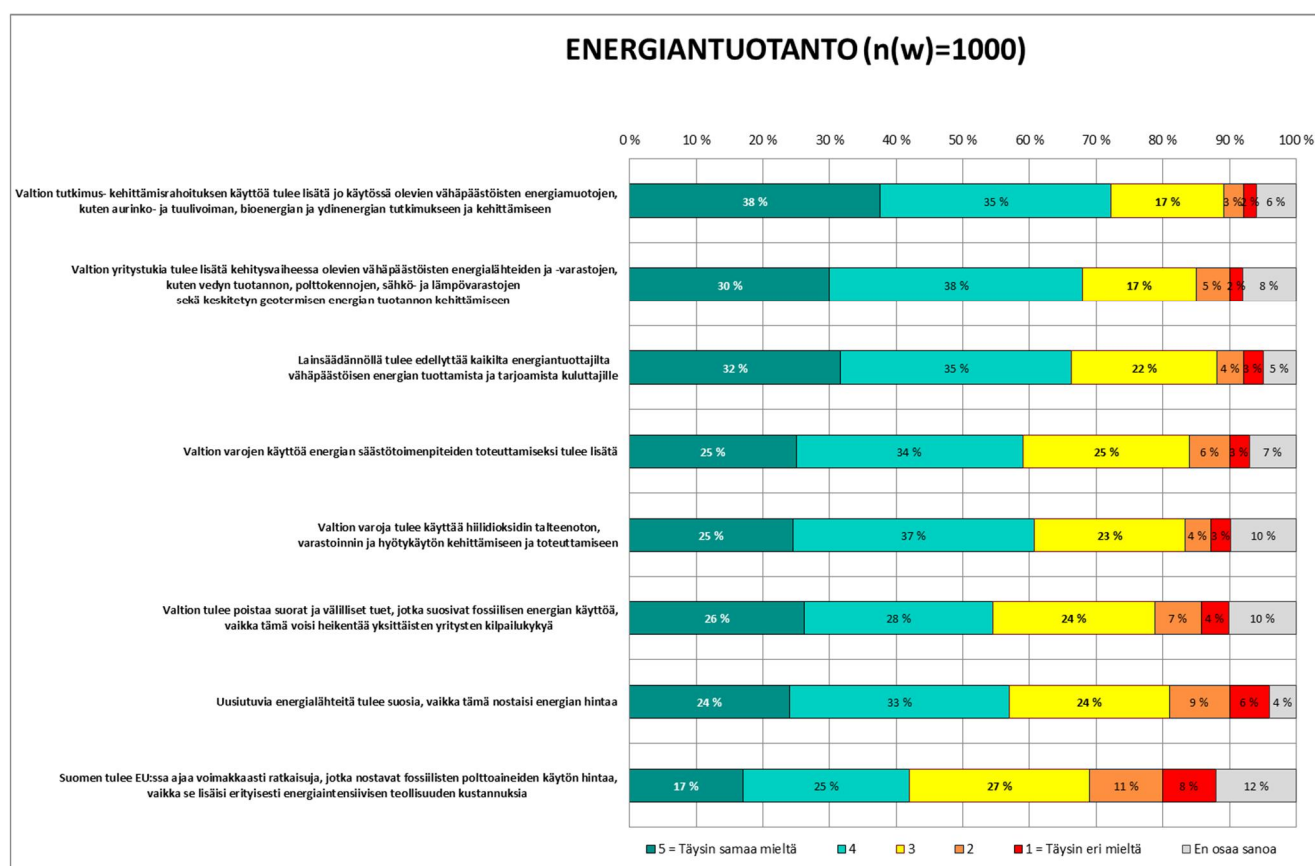


⁹⁶ <http://www.ym.fi/download/noname/%7BFCABEE7D-0A45-46E7-835A-4770D5831B34%7D/108390>

Kuluttajien suosimissa päästövähennyskeinoissa korostuivat yleisesti uuden teknologian kehittäminen ja käyttöönotto (85 % vastaajista vähintään osittain samaa mieltä) ja kulutustottumusten/käyttäytymisen muuttaminen (77 %). Keinoista tuet (53 %), kiellot ja muut rajoitukset (49 %) ja verot (39 %) eivät saavuttaneet yhtä suurta suosiota. Tulokset ovat samansuuntaisia vuoden 2014 kyselyn kanssa. Vapaaehtoiset päästömaksut (32 %) ja päästökauppa (31 %) saivat edellä mainittuihin keinoihin verrattuna vähemmän kannatusta.

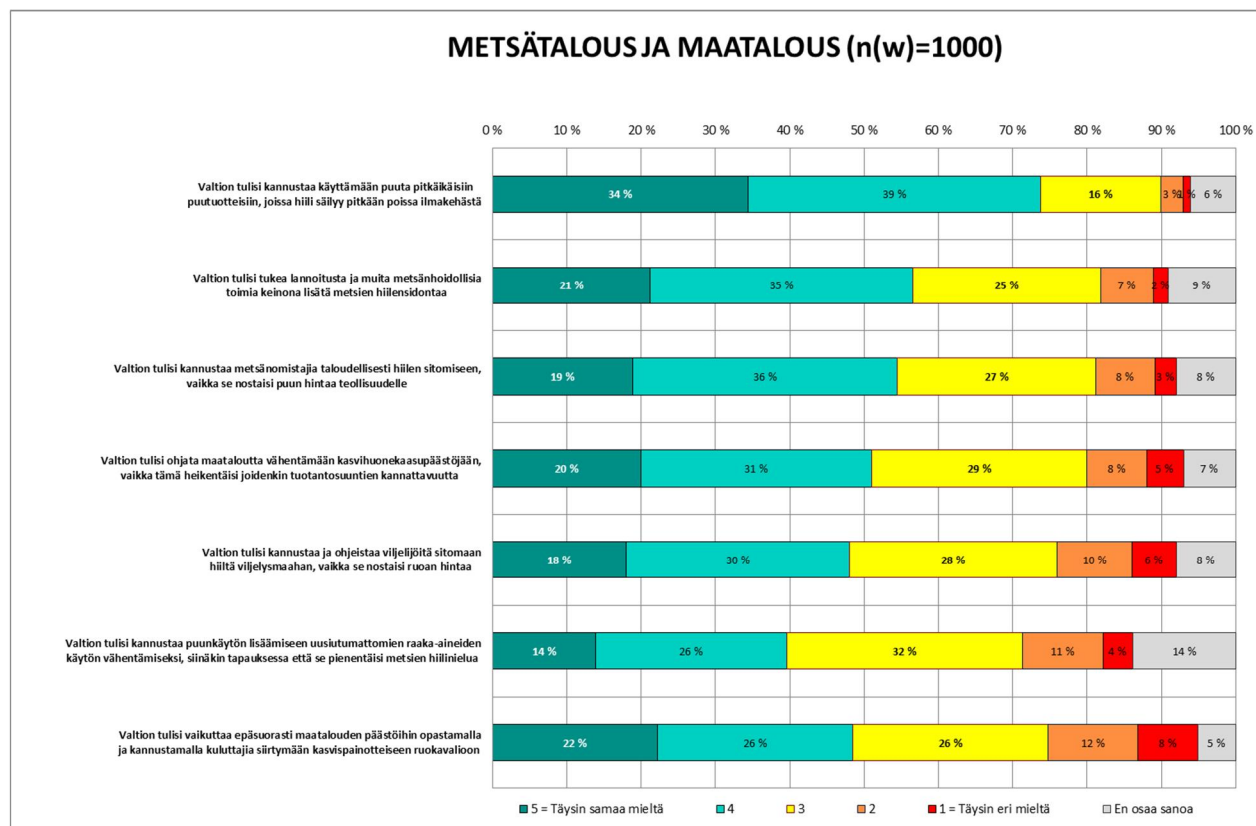
Energiantuotantoon liittyvien valtion toimenpiteitä koskevien tulosten mukaan (Kuva 48) tutkimus- ja kehittämisrahoituksen lisäämisellä on vankka kannatus, mikä näkyy sekä kehitteillä olevien (68 % vastaajista vähintään osittain samaa mieltä) että jo käytössä olevien energiamuotojen (73 %) kannatuksessa. Vähiten kannatettiin väittämää ”Suomen tulee EU:ssa ajaa voimakkaasti ratkaisuja, jotka nostavat fossiilisten polttoaineiden käytön hintaa, vaikka se lisäisi erityisesti energiantensiivisen teollisuuden kustannuksia”.

Kuva 48. Energiantuotanto-osion kysymysten tulokset (grafiikka: Tietoykkönen Oy).



Maa- ja metsätalouden valtion toimia käsittelevän osion (Kuva 49) tulosten mukaan suosittu toimi on ennen kaikkea kannustimien lisääminen puun käyttämiseksi pitkäikäisiin puutuotteisiin (73 % vähintään osittain samaa mieltä kannustuksen tarpeellisuudesta). Myös hiilensidontaan liittyviä ohjauskeinoja pidettiin vastaajien piirissä enemmän hyväksyttävänä (+/- 50 %) kuin vastustettavana siitä huolimatta, että ohjauskeinojen käyttöönotto saattaisi aiheuttaa kustannuksia teollisuudelle. Toisaalta fossiilisista polttoaineista luopuminen nielujenkin kustannuksella on tulosten perusteella melko hyväksyttävää (40 %).

Kuva 49. Metsätalous- ja maatalousosion kysymysten tulokset (grafiikka: Tietoykkönen Oy).



Henkilökohtaiset päästövähennyskeinot

Kyselyn tulosten perusteella henkilökohtaisia päästövähennystoimia on jo toteutettu kuluttajien toimesta verrattain laajalti. Noin 70 % vastaajista on oman ilmoituksen mukaan tehnyt vähintään jotain toimia. Vastaajaryhmistä naiset ovat toimineet enemmän kuin miehet ja opiskelijat enemmän kuin muut. Tämä tulos poikkeaa merkittävästi vuoden 2015 ilmastobarometrin tuloksista, joissa alle 30 % vastasi, että väittämä ”olen muuttanut liikkumistani, ruokailutottumuksiani tai asumisratkaisujani ilmastomuutoksen hillitsemiseksi” kuvaa omaa toimintaa hyvin tai melko hyvin. Muutos saattaa johtua osittain siitä, että tietoisuuden kasvaessa, se mitä mielletään ilmastotoimiksi, on laajentunut.

Jätteiden lajittelu on laajasti omaksuttu toimi, esimerkiksi Estrellan tutkimus⁹⁷ osoitti, että 64 % vastaajista lajittelee jätteitä päivittäin ja vain 5 % jättää kokonaan lajittelematta. Suomen Kuvalehden tutkimuksessa 84 % ilmoitti muuttaneensa käyttäytymistapoja jätteiden lajittelussa.⁹⁸ Sama tutkimus viittaa muutoksiin myös muilla elämäntiloilla, mutta muutosta tehneiden osuus on selvästi pienempi. Esimerkiksi autoilua tai lentämistä ilmoitti vähentäneensä jonkin verran tai paljon noin kolmasosa vastaajista. Lähes puolet ilmoitti siirtyneensä jonkin verran tai melko paljon kasvispainotteiseen ruokavalioon. Estrellan tutkimuksen mukaan kasvispainotteisen ruokavalion toteuttaa vähintään viikoittain noin 38 % vastaajista.⁹⁷ Tulokset viittaavat siihen, että muutoksia on tapahtumassa. Toistaiseksi suurin osa muutoksista on vielä verrattain helppo toteuttaa siirtymällä kohti vähäpäästöisiä ratkaisuja muuttamatta elämäntapaa kokonaan.

⁹⁷ <https://www.epressi.com/tiedotteet/vmparisto-ja-luonto/tutkimus-suomalaisten-huoli-ilmastomuutoksesta-ei-nay-arjen-valinnoissa.html>

⁹⁸ Vento, H. (2019). Ilmastouutiset vaikuttivat arkeen. Suomen Kuvalehti 11.1. 2019, s. 22-25.

Esteistä nousi esiin tärkeimpänä vähäpäästöisten ratkaisujen (suhteellinen) kalleus (54 % vastaajista vähintään osittain samaa mieltä). Korkea hinta nousi esiin merkittävimpana tekijänä myös vuoden 2014 LCFinPlat-kyselyssä. Tarjonnan suppeus, käytännön hankaluudet ja tiedon puute (n. 40 %) olivat PITKO-hankkeen kyselyn tuloksissa myös merkittäviksi koettuja esteitä. Kyselyyn vastanneista kuitenkin vain pieni vähemmistö pitää vähäpäästöisten ratkaisujen käyttöä tarpeettomina (11 %), mikä viittaa samaan kuin aiemmin mainittu kansalaisten näkemys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen tärkeydestä.

Valmius toteuttaa uusia henkilökohtaisia toimia päästöjen vähentämiseksi

Monista tutkimuksista tiedetään, että on helppoa ilmoittaa olevansa valmis muutoksiin, vaikka todellisuudessa muutokset jäävät vähäisiksi.⁹⁹ PITKO-kyselyssä tätä yleistä ongelmaa pyrittiin lieventämään tarjoamalla vaihtoehtoja, joissa vastaaja saattoi selvästi ilmoittaa, että muutos ei ole mahdollinen. Lisäksi kysyttiin konkreettisista toimista seuraavan viiden vuoden aikana, ei yleisestä valmiudesta. Näin vastaukset antoivat todennäköisesti realistisemman kuvan kuin yleinen kysely valmiuksista ilman ehtoja olisi antanut.

Tulosten mukaan päästöjen edelleen vähentäminen henkilökohtaisilla ratkaisuilla vaikuttaa todennäköiseltä, mutta suurta kehitysharppausta ei ole odotettavissa seuraavan viiden vuoden aikana.

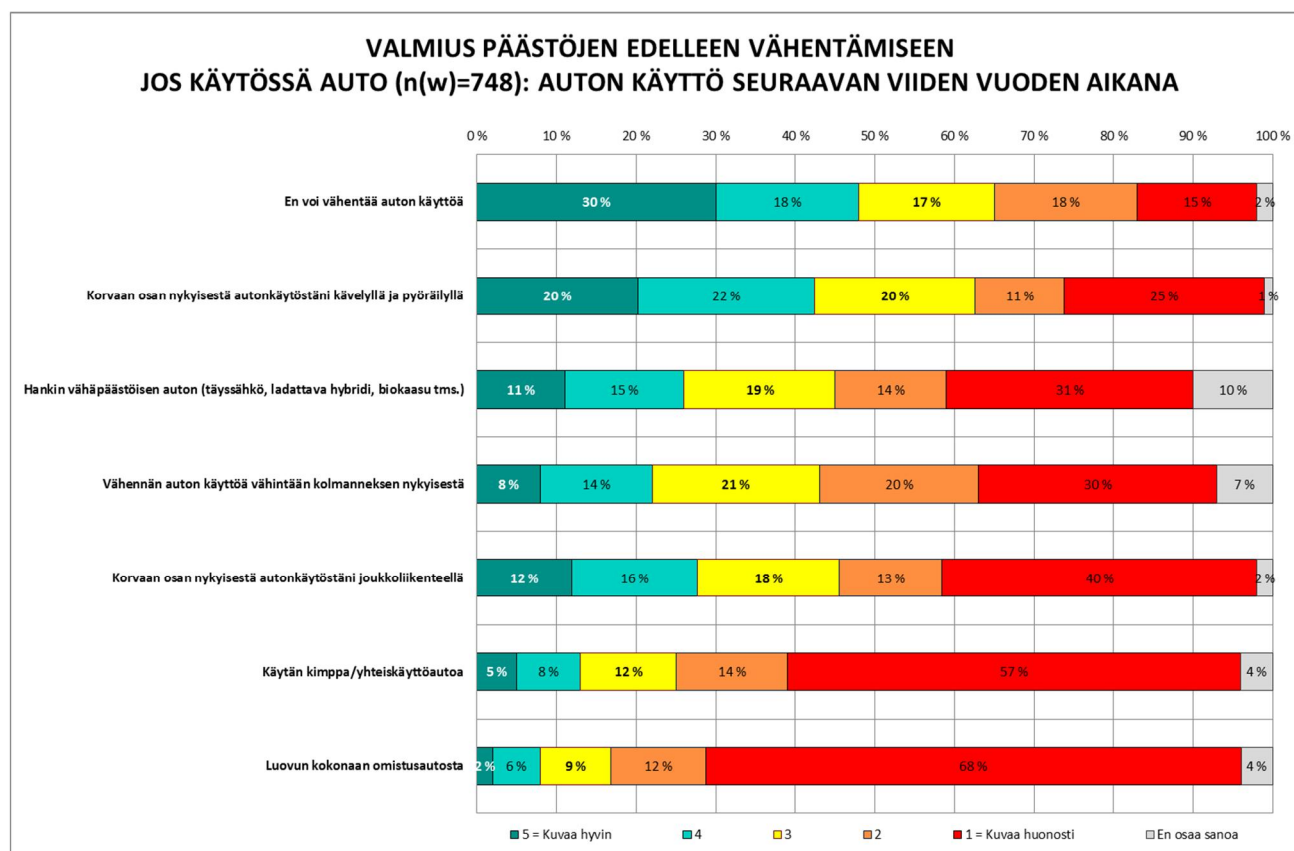
- **Liikkumiseen** liittyvissä tuloksissa on huomattavaa (Kuva 50), että lähes puolet autoilijoista ei vastauksensa mukaan voi vähentää auton käyttöönsä ja ainoastaan 8 % saattaa luopua autostaan. Yhteiskäyttö- tai kimppa-auton käyttöä suunnittelee pieni, 13 %:n osuus kuluttajista. Vähäpäästöisen auton hankkimista suunnittelee 11 % (kuvaa hyvin) ja 15 % pitää sitä mahdollisena (kuvaa osittain). Luvut ovat lähellä Maaseudun Tulevaisuuden saamia tuloksia seuraavan auton hankinnasta, joiden mukaan noin 20 % ilmoittaa, että seuraava auto on hybridi (15 %) tai sähköauto (4 %).¹⁰⁰ Lentomatkustajista puolet ei vähennä lentämistä, mutta neljännes-viidesnes aikoo vähentää lentämistä työ- tai vapaa-ajanmatkustamisessa eri tavoin. Tämä poikkeaa vuonna 2007 saadusta tuloksesta, jonka mukaan puolet oli erittäin tai melko valmiit vähentämään lentämistä.⁹⁴
- Puolet vastaajista ei muuta **asumistaan**. Toimenpiteistä energiatehokkuuden lisääminen ja vähäpäästöisen sähkön ostaminen saavat kannatusta (noin 45 %) ja verrattain vähän vastustusta (20 %). Keinoista kulutusjousto ei vielä nauti yleistä hyväksyntää (24 %), ja useampi (38 %) näkee, ettei se etene. Myös halukkuus toteuttaa aurinkosähköratkaisuja on vielä pientä (19 %), ja lähes puolet (49 %) ei näe sen etenemistä omalta osaltaan.
- **Ruoan ja tavaroiden kulutukseen** liittyvissä valmiuksissa peruskäyttäytymiseen liittyvät toimet, kuten ruokahävikin vähentäminen (75 %) ja tavaroiden hankkimisen vähentäminen ja niiden kierrätyksen lisääminen (68 %) ovat selvästi suosittuja toimenpiteitä kuin radikaalimmat muutokset, kuten ruokavalion muuttaminen kasvispainotteiseen suuntaan (31 %). Estrellan tutkimus arjen toimenpiteistä viittaa samankaltaisiin painotuksiin.¹⁰¹

⁹⁹ Kuittinen, O., Neuvonen, A., Mokka, R., Riala, M., Sivonen, R. (2008). Ilmastoasenteiden muutos ja muuttajat - Selvitys Vanhasen II hallituksen tulevaisuusselontekoa varten. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 9/2008

¹⁰⁰ Palokallio, J. (2019). Ministeriön toiveille tyrmäys: MT:n kyselyn mukaan sähköauton aikoo ostaa vain 4 prosenttia suomalaisista. Maaseudun tulevaisuus. Koneet & autot 09.01.2019 <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/koneet-autot/artikkeli-1.358382>

¹⁰¹ <https://www.epressi.com/tiedotteet/ymparisto-ja-luonto/tutkimus-suomalaisten-huoli-ilmastomuutoksesta-ei-nay-arjen-valinnoissa.html>

Kuva 50. Esimerkki henkilökohtaisten päästöjen edelleen vähentämisen valmiuksien tuloksista: auton käyttö (grafiikka: Tietoykkönen Oy).



Kustannusten kohdentuminen

Kustannusten kohdentuminen -osion tulokset osoittavat, että vastaajat korostavat oikeudenmukaisuutta vahvana ilmastotoimia ohjaavana periaatteena. Vastauksissa tämä näkyy sekä kansainvälisenä että kansallisena asiana. Vastaajien mukaan globaalisti teollisuusmaiden tulisi kantaa suurempi vastuu (65 % vähintään osittain samaa mieltä), ja tulleilla tai muilla maksuilla tulisi varmistaa, että vapaamatkustajia päästöjen vähentämisessä ei ole (50 %). Samansuuntaisia tuloksia saatiin 2000-luvun alkupuolella kyselyissä: hillinnän toteuttamisessa korostettiin sitovia, laaja-alaisia ympäristösopimuksia sekä Kiinan, Intian ja Yhdysvaltain mukanaoloa ilmastotalkoissa.⁹⁴ PITKO-kyselyssä globaali oikeudenmukaisuus näkyy myös väittämässä ”Suomessa tulee olla valmiuksia jäädyttää kulutus nykyiselle tasolle tai jopa alentaa sitä, jotta kulutus kehitysmaissa voisi nousta hyvinvoinnin lisäämiseksi”. Yli kolmannes (35 %) oli vähintään osittain samaa mieltä tämän väittämän kanssa ja eniten kannatusta se sai nuorten (alle 30 vuotta) ja iäkkäiden (yli 60 vuotta) keskuudessa.

PITKO-kyselyssä selvitettiin myös erilaisia tulkintoja oikeudenmukaisuudesta henkilökohtaisen taakanjaon osalta. Vastausten perusteella yleiset veronkorotukset nähtiin parempina (40 %) kuin tiukasti kulutukseen sidotut maksut/hinnankorotukset (22 %), joista pienituloiset voivat kärsiä suhteellisesti enemmän. Vastaukset viittaavat siihen, että vastaajat uskovat yhteiskunnan kykyyn toteuttaa oikeudenmukaista taakanjakoa. Tätä korostaa myös havainto, että pelkkiä vapaaehtoisia maksuja ei koeta uskottavina (45 % vastustaa ja vain 19 % kannattaa yksinomaan vapaaehtoisuutta).

8.4. Pohdintaa PITKO-hankkeen pääkertomuksen ja vähäpäästöskenaarioiden näkökulmasta

Tarkasteltaessa PITKO-hankkeen vähäpäästöpolkuja yleisestä, valtakunnallisten päästövähennyspolkujen ja ohjauskeinojen suunnittelun näkökulmasta, voidaan todeta, että kansalliset näkevät ilmastomuutoksen hillinnän tärkeänä tavoitteena. Toimenpiteet ilmastomuutoksen hillitsemiseksi ovat yleisesti hyväksyttäviä. Tulokset ovat tältä osin sopusoinnussa mm. 2015 tehdyn ilmastobarometrin tulosten kanssa.⁹⁰ Myös Suomen Kuvalehden kyselyssä 43 % vastaajista hyväksyy Suomea edelläkävijäksi EU:ssa, vaikka tämä aiheuttaisi merkittäviä lisäkustannuksia liikenteelle, asumiselle ja jätehuollolle.⁹³ PITKO-hankkeen kyselyn mukaan noin kolmannes vastaajista oli osittain tai täysin samaa mieltä siitä, että Suomessa tulee olla valmiuksia jähdyttää kulutus nykyiselle tasolle tai jopa alentaa sitä, jotta kulutus kehitysmaissa voisi nousta hyvinvoinnin lisäämiseksi. Pienempi osa (26 %) oli täysin tai osittain eri mieltä väittämästä.

PITKO-hankkeen kyselyn perusteella suomalaisilla on vahva usko siihen, että tutkimus ja kehitystoiminta tuottaa haluttuja ratkaisuja ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. T&K-panostuksia kannatetaan enemmän kuin esim. kieltoja ja rajoituksia, mutta lähes 80 % vastaajista pitää käyttäytymisen muutoksia hyvänä keinona vähentää päästöjä. Koska vapaaehtoisuuteen uskoo vain vähemmistö, ohjauksen kehittämiseksi on edellytyksiä. Toisaalta ohjauksen kehittämisen tekee vaikeaksi se, että sitä vastustavien on erittäin helppo vedota oikeudenmukaisuuteen ja sen avulla kyseenalaistaa suunniteltavia keinoja. Poliittikkatoimien kehittämisessä ja esittämisessä reiludella on erittäin suuri merkitys.

Koska PITKO-hankkeen kyselytutkimus käsitteli osittain samoja aihekokonaisuuksia, jotka esiintyvät PITKO-vähäpäästöskenaarioiden taustatarinoissa ja -oletuksissa, voidaan jossain määrin spekulatiivisesti tarkastella skenaarioiden toteutumisen haasteita ja mahdollisuuksia kansalaisten näkökulmasta. Kyselytutkimuksen tulokset eri keinojen haasteista ja mahdollisuuksista kansalaisten näkökulmasta ovat painoarvoltaan erilaisia eri skenaarioiden näkökulmista tarkasteltuna. Lähtökohtaisesti PITKO-vähäpäästöskenaarioiden laadinnassa ei tavoiteltu eroja eri skenaarioiden toivottavuuden välille (poikkeuksena *Pysähdys*-skenaario riskiskenaariona).

Haasteista merkittävin, vähäpäästöisten ratkaisujen korkeampi hinta, koskee jossain määrin kaikkia vähäpäästöskenaarioita. Kuitenkin kustannukset poikkeavat skenaarioiden välillä ja kohdistuvat eri tavoin. Ohjauskeinoista T&K-panostusten näkökulmasta teknologian nopea kehitys on keskeinen *Jatkuva kasvu* -skenaarioiden edellytys. Teknologian kehitykseen voidaan kansallisilla T&K-panostuksilla tietyssä määrin vaikuttaa. Jatkuvan kasvun skenaariossa taloudellinen liikkumavara mahdollistaa yleisesti hyväksyttävää panostusta juuri T&K-toimintaan. Muissa skenaarioissa joudutaan tekemään selvemmin näkyviä valintoja T&K-tuen ja yhteiskunnan muiden menojen välillä. Skenaarioiden keskeinen riski on, että teknologia ei kehity toivotulla tavalla, minkä seurauksena päästövähennystavoitteita ei saavuteta ja valtio joutuu ottamaan käyttöön laajemmassa mittakaavassa ja nopealla aikataululla muita, vähemmän kannatettuja, keinoja. Kiinnostava yksityiskohta on, että PITKO-hankkeen kyselyssä päästökauppaa pidettiin veroja huonompana ohjauskeinona.

Toinen selkeä yhtymäkohta kyselytutkimuksen tulosten ja PITKO-vähäpäästöskenaarioiden välillä on *Muutos*-skenaarioiden edellyttämä radikaali kulutuskäyttäytymisen muutos. Kyselytutkimuksessa kulutustottumusten ja käyttäytymisen muutosta pidetään suosittuna yleisellä tasolla. Toisaalta kun kyselyssä tiedusteltiin kuluttajien valmiuksia henkilökohtaisella tasolla, he suosivat vähemmän radikaaleja toimenpiteitä ainakin seuraavan viiden vuoden ajan. Tämä

voi viestiä siitä, että radikaalimmat toimet (esim. kulutusjousto, aurinkosähkö, autojen yhteiskäyttö, ruokavalion muutokset) vaativat vielä näyttöjä kokeilujen avulla tai muulla tavalla toteutettavaa edellytysten parantamista ennen kuin skenaarion toteutettavuus kohoaa. *Säästö*-skenaariossa keskeinen energiatehokkuus ja sen lisääminen asumisen toimenpiteenä on kuluttajien taholta suhteellisen suosittua, ja myös kierrätyksen lisääminen saa kannatusta. Myös valtion panostukset energiansäästötoimenpiteiden lisäämiseksi saa kannatusta (59 % vastaajista vähintään osittain samaa mieltä).

9. YMPÄRISTÖVAIKUTUSARVIOT (SOVA)

EU-komissiolle toimitettava Suomen vähähiilistrategia, Ilmastolain mukainen pitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma ja Pariisin ilmastopöytäkirjan mukainen pitkän aikavälin vähähiilistrategia kuuluvat SOVA-lain (200/2005) yleisen soveltamisalan piiriin. SOVA-lain mukaan viranomaisen tulee selvittää ja arvioida valmistelemiensä suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutukset (SOVA) riittävässä määrin valmistelun kuluessa, jos suunnitelman tai ohjelman toteuttaminen voi vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi ihmiseen, luontoon ja sen monimuotoisuuteen, rakennettuun ympäristöön, maisemaan tai luonnonvaroihin (§ 3).

Tässä luvussa tarkastellaan hankkeessa laadittujen vaihtoehtoisten vähäpäästöskenaarioiden mahdollisia ympäristövaikutuksia. Vähäpäästöskenaariot kuvaavat erilaisia polkuja toteuttaa Suomen ja EU:n asettama kasvihuonekaasupäästöjen vähäpäästötavoite vuoteen 2050 mennessä. SOVA-laissa ympäristövaikutuksella tarkoitetaan suunnitelman tai ohjelman välitöntä ja välillistä vaikutusta Suomessa ja sen alueen ulkopuolella:

- a) ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen;
- b) maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen, eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen;
- c) yhdyskuntarakenteeseen, rakennettuun ympäristöön, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön;
- d) luonnonvarojen hyödyntämiseen;
- e) a–d alakohdassa mainittujen tekijöiden keskinäisiin vuorovaikutussuhteisiin.

SOVA-lain tarkoittamien ympäristövaikutusten määritelmän laajuudesta johtuen suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arvioinnissa ei yleensä pystytä huomioimaan läheskään kaikkia mahdollisia vaikutuksia, vaan pyritään tunnistamaan keskeisimpiä vaikutuksia. Esimerkiksi hallituksen energia- ja ilmastostrategian (2016) vaikutusten arvioinnissa¹⁰² keskittyttiin strategiassa esitettyjen linjausten oletettuihin merkittävimpiin ympäristönäkökulmiin ja sellaisiin osa-alueisiin, joiden ympäristövaikutuksiin tulisi paneutua energia- ja ilmastostrategian toimeenpanovaiheessa ja vaikutusten seurannassa. Tällaisiksi valittiin erityisesti vaikutukset kasvihuonekaasujen päästöihin, ilmastomuutokseen, ilmansaasteisiin, luonnon monimuotoisuuteen, metsien hiilinieluihin ja vesistöihin. Myös ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen ja hyvinvointiin liittyvät tekijät, joita linjausten tai niitä toimeenpanevien ohjauskeinojen, kuten verojen ja maksujen myötä eri väestöryhmille aiheutuu, saattavat olla keskeisiä näkökulmia SOVA:n kannalta.

Työssä tarkastellut neljä eri vähäpäästöskenaariota ovat luonteeltaan kvantifioituja tarinallisia kuvauksia mahdollisista tulevaisuuksista, joissa asetetut ilmastopoliittiset tavoitteet saavutetaan. Skenaariot ovat: Jatkuva kasvu, Muutos, Säästö, ja Pysähdys (ks. luku 4.2). Skenaariot eivät sisällä poliittisia linjauksia siitä, miten asetettuihin tavoitteisiin pyritään. Näin ollen SOVA:ssa arvioidaan skenaarioiden elementtejä niiden keskeisimpien, mahdollisten, ympäristövaikutusten näkökulmasta. EU-80%-n skenaariota (ks. luku 2.2) ei SOVA:ssa tarkasteltu.

¹⁰² Soimakallio, S., Hildén, M., Lanki, T., Eskelinen, H., Karvosenoja, N., Kuusipalo, H., Lepistö, A., Mattila, T., Mela, H., Nissinen, A., Ristimäki, M., Rehunen, A., Repo, A., Salonen, R., Savolahti, M., Seppälä, J., Tiittanen, P., Virtanen, S. 2017. Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman ympäristövaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 59/2017.

Tässä työssä tarkasteltiin samoja ympäristövaikutuksia kuin hallituksen energia- ja ilmastostrategiassa (2016). Näitä olivat vaikutukset ilmastonmuutokseen, luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin, uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöön, ilmansaasteisiin ja ilman laatuun sekä ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen ja hyvinvointiin.

Merkittävä osa arvioinnista on laadullista ja suuntaa-antavaa. Skenaarioiden elementtejä tarkasteltiin sekä itsenäisti että yhdessä. Itsenäisessä tarkastelussa pyrittiin tunnistamaan vaikutuksia, joita elementin itsenäinen toteutuminen voisi aiheuttaa tilanteessa, jossa muut elementit eivät toteudu skenaarion kuvauksen mukaisesti. Toisin sanoen elementtien ympäristövaikutuksia on arvioitu erikseen siten, että muiden elementtien on oletettu pysyvän muuttumattomina (ns. *ceteris paribus* -periaate). Lisäksi arvioinnissa on pyritty tunnistamaan keskeisiä ympäristövaikutuksiin liittyviä haasteita tai riskejä, joita elementin toteutuminen voi aiheuttaa, mikäli vaikutusten hallinnassa epäonnistutaan. Yhteistarkastelussa pyrittiin muodostamaan kokonaiskuva kunkin skenaarion useiden eri elementtien toteutumisen mahdollisista vaikutuksista ja keskeisimmistä riskeistä, joita skenaariotarinan toteutumiseen ympäristövaikutusten näkökulmasta liittyy. Elementtien erillistarkastelun tulokset on esitetty liitteessä 2 ja myös soveltuvilta osin tässä luvussa.

Skenaarioiden elementit kohdistuvat toteutuessaan joko välittömästi tai välillisesti energian, materiaalien ja ruoan tuotantoon ja kulutukseen. Osa elementeistä vähentää näiden hyödykkeiden kulutusta, osa puolestaan kasvattaa sitä. Tällä on sekä hyödyllisiä että kielteisiä vaikutuksia ympäristöön ja yhteiskuntaan. Hyödyllisillä vaikutuksilla tarkoitetaan tässä seurauksia, jotka edistävät muissa yhteyksissä aiemmin asetettuja yhteiskunnallisia tavoitteita ja kielteisillä taas seurauksia, jotka vaikeuttavat muiden kuin ilmastotavoitteiden saavuttamista. Osa vaikutuksista voi ilmetä Suomen rajojen ulkopuolella. Lisäksi välittömät vaikutukset voivat aiheuttaa erilaisia kerrannaisvaikutuksia, jotka voivat sekä lisätä että vaimentaa välittömiä vaikutuksia. Välilliset vaikutukset voivat olla hyvin polkuriippuvaisia ja kauaskantoisia niin ajallisesti kuin tilallisestikin, ja niitä on työssä pystytty tunnistamaan vain rajallisesti.

Arvioinnissa tarkasteltuja vähäpäästöskenaarioita verrattiin esitettyyn perusuraan (ns. "with existing measures" eli WEM-skenaario). WEM-skenaario kuvaa arvioitua kehitystä vuoteen 2050 saakka nykyisten, vuoteen 2020 saakka ulottuvien politiikkatoimien jatkuessa. WEM-skenaariossa kasvihuonekaasupäästöt vähentyvät noin 60 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä (luku 5.2).

Arvioinnissa on hyödynnetty VTT:n tässä hankkeessa laatimia arvioita energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä (luku 5) sekä Luken MALULU-hankkeessa laatimia arvioita maatalouden ja maankäyttösektorin (ml. metsänielujen) kehityksestä vuoteen 2050 saakka⁸¹. Lisäksi on hyödynnetty hallituksen energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (KAISU:n) vaikutusten arviointia¹⁰², muita kirjallisuuslähteitä ja hankkeen järjestämän 3. työpajan tuloksia.

9.1. Ilmastovaikutukset

Sampo Soimakallio, SYKE

Kaikissa vähäpäästöskenaarioissa kasvihuonekaasujen päästöt vähentyvät merkittävästi sekä lähtötasoon että WEM-skenaarioon verrattuna. Skenaariosta riippuen vähennys kasvihuonekaasujen päästöissä on 85–93 % vuoden 1990 tasoon (n. 70 Mt CO₂-ekv.) nähden. WEM-skenaariossa päästöt ovat vuonna 2050 noin 27 Mt CO₂-ekv., kun ne vähäpäästöske-

naarioissa ovat 5–11 Mt CO₂-ekv. Kasvihuonekaasujen päästöt vähentyvät eri sektoreilla, erityisesti energiateollisuudessa, liikenteessä ja teollisuudessa polttopöytäisten CO₂-päästöjen vähentyessä. Bioenergiaan kytketty hiilidioksidin talteenotto ja varastointi tuottaa negatiivisia päästöjä 0–10 Mt CO₂ vuonna 2050. Maankäyttösektorin nettonielu on skenaariosta ja epävarmuuksista riippuen 20–100 Mt CO₂ vuonna 2050. Kokonaisuudessaan Suomi on kaikissa vähäpäästökenaarioissa kasvihuonekaasutaseeltaan selvästi nettonegatiivinen vuonna 2050 (ks. luku 7.2).

Energiantuotanto ja -kulutus

Vähäpäästöskenaarioissa vähentyvät erityisesti energiateollisuuden ja liikenteen fossiiliset CO₂-päästöt, jotka ovat vuonna 2050 yhteensä alle 5 Mt CO₂, kun ne vuonna 1990 olivat yhteensä noin 30 Mt CO₂. Tämä on seurausta fossiilisten polttoaineiden käytön vähentymisestä. Mikäli fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyminen Suomessa vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä vastaavalla määrällä myös globaalisti, vähentyvät myös fossiilisten polttoaineiden tuotannon, kuljetusten ja jalostuksen päästöt. Nämä päästöt ovat nykyisin arviolta noin 5–10 % fossiilisen polttoaineen polton päästöistä¹⁰³. Näiden päästöjen vähentyminen on mahdollista erityisesti niissä skenaarioissa, joissa Pariisin ilmastopöytäistuksen tavoitteet on arvioitu saavutettavan ja fossiilisten polttoaineiden käytön globaalisti vähentyvän (Jatkuva kasvu, Muutos ja Säästö). On kuitenkin myös mahdollista, että fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyminen Suomessa kompensoituu osittain kasvavalla käytöllä toisaalla, mikäli käyttöä ei rajoiteta globaalisti esimerkiksi päästökatoilla tai verotuksella¹⁰⁴. Tällainen tilanne on mahdollinen erityisesti skenaarioissa, joissa Pariisin sopimuksen tavoitteisiin ei päästä globaalisti (Pysähdys).

Negatiivisilla päästöteknologioilla, erityisesti bioenergiaan kytketyllä hiilidioksidin talteenotolla ja varastoinnilla (*bioenergy with carbon capture and storage, BECCS*) arvioidaan poistettavan noin 0–10 Mt CO₂ vuonna 2050 skenaariosta riippuen. CCS-teknologian käyttäminen kasvattaa kuitenkin energiankulutusta, joka vastaa CCS-teknologiaan liitettävien voimalaitosten polttoaineresurssitarpeena noin 15–30 %¹⁰⁵. Tämä nostaa CCS-teknologiaan liitettävien laitojen biomassan käyttöä ja sen tuotantoon ja korjaukseen liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä sekä pienentää metsien hiilinielua (ks. tämän luvun Maatalous ja maankäyttösektori -osuu).

Puuperäisten polttoaineiden käyttö primäärienergiana on vuonna 2030 kaikissa vähäpäästöskenaarioissa suurempaa (401–436 PJ) kuin vuonna 2017 (362 PJ¹⁰⁶). Erityisesti kasvaa kiinteiden puupolttoaineiden käyttö. Mustalipeän energiakäyttö pysyy suurin piirtein vuoden 2017 tasolla tai jopa alentuu siitä. Ilman CCS-teknologiaa puuperäisten polttoaineiden käytöstä aiheutuu CO₂-päästöjä 44–48 Mt CO₂ vuonna 2030. Vuoteen 2050 mennessä puuperäisten polttoaineiden käyttö kasvaa Pysähdys-skenaariossa (noin tasolle 470 PJ), alentuu Muutos-skenaariossa vuoden 2017 tasoa alhaisemmaksi (tasolle 350 PJ) ja pysyy Jatkuva kasvu ja Säästö -skenaarioissa suurin piirtein vuoden 2030 tasolla.

¹⁰³ s. 536; Bruckner T., I. A. Bashmakov, Y. Mulugetta, H. Chum, A. de la Vega Navarro, J. Edmonds, A. Faaij, B. Fungtammasan, A. Garg, E. Hertwich, D. Honnery, D. Infield, M. Kainuma, S. Khennas, S. Kim, H. B. Nimir, K. Riahi, N. Strachan, R. Wiser, and X. Zhang, 2014: Energy Systems. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

¹⁰⁴ Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... & Fargione, J. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *GCB Bioenergy*, 7(5), 916-944.

¹⁰⁵ Rubin, E.S., Chen, C. and Rao, A.B., 2007. Cost and performance of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage. *Energy policy*, 35(9), pp.4444-4454.

¹⁰⁶ Tilastokeskus, Energian hankinta ja kulutus. <https://www.stat.fi/til/ehk/index.html> (viitattu 29.12.2018)

Toistaiseksi voimassa olevien päästöjen laskenta- ja raportointisääntöjen puitteissa biomassan polton CO₂-päästöjä ei huomioida energiasektorilla, vaan biomassan hiilitaseet lasketaan ja raportoidaan varastonmuutoksina maankäyttösektorilla¹⁰⁷. Metsähakkeen käytön lisäys pienentää maankäyttösektorilla laskettavaa ja raportoitavaa metsien hiilinielua (ks. tämän luvun Maatalous ja maankäyttösektori -osuus). Jos biomassan CO₂-päästöt laskettaisiin, kuten ne todellisuudessa tapahtuvat, muodostuisi energiantuotannon ja -kulutuksen dekarbonisoinnista haastavampaa¹⁰⁸.

Merkittävä osa (noin kolmannes vuonna 2015) kiinteistä puupolttoaineista käytetään kiinteistöjen takoissa, lämmityskattiloissa ja kiukaissa. Tämä ns. puun pienpoltto on suurin mustan hiilen päästöjen aiheuttaja Suomessa (Suomen ympäristökeskus 2018). Mustan hiilen päästöillä on voimakas ilmastoa lämmittävä vaikutus erityisesti Pohjoisilla leveyspiireillä, jossa ne vaikuttavat lumipeitteen heijastavuuteen. Suomen vuosittaiset mustan hiilen päästöt aiheuttavat 25 vuoden aikajänteellä tarkasteltuna arviolta jopa 30%:n lisän hiilidioksidipäästöistä syntyvään ilmastoa lämmittävään vaikutukseen (Kupiainen ym. 2018). WEM-skenaariossa polttopuiden käyttö asuinrakennusten lämmityksessä pysyy noin nykytasolla vuoteen 2030, jonka jälkeen se kääntyy laskuun, ollen noin 15% alhaisempi vuonna 2050 kuin 2015. Vähäpäästöskenaarioissa polttopuiden käyttö laskee joko WEM-skenaariota mukaisesti tai vielä voimakkaammin. Vähentyvä polttopuiden käyttö pienentää mustan hiilen päästöjä ja kasvattaa metsän hiilinielua ja siten pienentää polttopuiden käytöstä aiheutuvia ilmastovaikutuksia.

Biopolttoainejalosteiden kulutus on Pysähdys-skenaariossa noin 10 % suurempaa kuin niiden kotimainen tuotanto vuonna 2050. Näin ollen ainakin Pysähdys-skenaariossa osa kulutuksesta perustuu tuontiraaka-aineeseen tai -biopolttoaineisiin, joiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöt syntyvät Suomen rajojen ja osittain energiasektorin ulkopuolella. Nämä päästöt voivat olla biopolttoaineen energiasisältöön suhteutettuna merkittäviä tuotannossa tarvittavien resurssipanosten (mm. energia, lannoitteet, entsyymit, maa-ala) vuoksi raaka-aineesta ja tuotantoteknologiasta riippuen¹⁰⁹. Viljeltyjen kasvien käyttäminen biopolttoaineiden raaka-aineena saattaa aiheuttaa hyvin merkittävät, jopa fossiilisten polttoaineiden elinkaarisia kasvihuonekaasupäästöjä suuremmat päästöt lannoitteiden käytön, prosessienergian tarpeen ja epäsuorien maankäytön muutosten vuoksi¹¹⁰. Metsäbiomassan korjuu puolestaan pienentää metsien hiilinielua, erityisesti, mikäli korjuu kohdistuu elävään puustoon, jolloin nielun pienentyminen voi aiheuttaa tuotettua energiayksikköä kohden vuosikymmenten ajan jopa selvästi suuremman kasvihuonekaasuvaikutuksen kuin kivihiilen tai öljyn energiakäyttö¹¹¹. Tuontibiopolttoaineiden saatavuus ja raaka-ainepohja riippuvat hyvin voimakkaasti erilaisten jakeiden taloudellisesta hyödynnettävyydestä, jota ohjaavat muun muassa raaka-aineiden kysynnän ja biopolttoaineisiin sovellettavien kestävyyskriteerien kehittyminen^{112,113}.

Sähkön kulutus on kaikissa vähäpäästöskenaarioissa vuonna 2050 (105–122 TWh) selvästi vuoden 2017 tasoa (85 TWh¹¹⁴) suurempaa. Aurinko- ja tuulivoima ja sen myötä vaihteleva

¹⁰⁷ IPCC, Frequently asked questions, Q2-10, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>

¹⁰⁸ Kaksoislaskennan välttämiseksi maankäyttösektorillakin tulisi tällöin laskea biomassan hiilen virtoja varastonmuutoksen sijasta, jolloin biomassan mukana korjattu hiili ei näyttäytyisi maankäyttösektorilla CO₂-päästönä, eikä sitä olisi tarpeen korjata puutuotteiden hiilivaraston muutoksella. Maankäyttösektorilla laskettaisiin siten vain siellä tapahtuvaa todellista hiilen sidontaa ja aiheutuvia todellisia kasvihuonekaasujen päästöjä.

¹⁰⁹ Soimakallio, S., Antikainen, R., Thun, R. (Eds). 2009. Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies - A Finnish approach. VTT Research Notes 2482. Espoo, 2009. 220 p. + app. 41 p.

¹¹⁰ Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... & Fargione, J. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. GCB Bioenergy, 7(5), 916-944.

¹¹¹ Matthews, R., Sokka, L., Soimakallio, S., Mortimer, N., Rix, J., Schelhaas, M.-J., Jenkins, T., Hogan, G., Makie, E., Morris, A. and Randle, T. 2014. Review of literature on biogenic carbon and life cycle assessment of forest bioenergy. Final Task 1 report, DG ENER project, 'Carbon impacts of biomass consumed in the EU'. The Research Agency of the Forest Commission. May 2014.

¹¹² Searle, S., & Malins, C. (2015). A reassessment of global bioenergy potential in 2050. GCB Bioenergy, 7(2), 328-336.

¹¹³ Chum, H., A. Faaij, J. Moreira, G. Berndes, P. Dhamija, H. Dong, B. Gabrielle, A. Goss Eng, W. Lucht, M. Mapako, O. Masera Cerutti, T. McIntyre, T. Minowa, K. Pingoud, 2011: Bioenergy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

¹¹⁴ Energiatietoisuus, Sähköntuotanto ja -käyttö, Sähkönhankinta 2017. <https://energia.fi/ajankohtaista-ja-materiaalipankki/tilastot/sahkotilastot/sahkon-tuotanto-ja-kaytto> (viitattu 29.12.2018)

sähköntuotanto lisääntyvät kaikissa vähäpäästöskenaarioissa merkittävästi. Keskeinen tekijä tulevaisuuden sähköjärjestelmän kokonaispäästöissä on se, miten sähkötehon ajallinen kulutus ja sähkön varastointi kehittyvät ja millä energianlähteellä tuotetaan energiajärjestelmässä tarvittava säätövoima. Kaikissa vähäpäästöskenaarioissa sähköntuotannon ja kaukolämmön energiasektorilla raportoitavat päästöt ovat vuonna 2050 hyvin lähellä nollaa tai bio-CCS:n myötä jopa negatiiviset. Ainoastaan Jatkuvan kasvun skenaariossa aiheutuu sähkön ja kaukolämmön tuotannossa vähäisiä päästöjä vuonna 2050 jätteenpolton vuoksi (n. 0,4 Mt-CO₂-ekv.).

Energian tuotantoon tarvittavien voimalaitosten, laitteistojen ja muun infrastruktuurin, kuten tuulivoimaloiden, aurinkopaneelien, ydinvoimaloiden, hiilidioksidin talteenotto- ja varastointijärjestelmien, sähkö- ja lämpövarastojen sekä energian siirtoyhteyksien rakentaminen ja siihen tarvittavien materiaalien tuottaminen aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä. Nämä päästöt aiheutuvat merkittävästi osin siellä, missä tarvittavien materiaalien ja komponenttien tuotanto tapahtuu. Näiden päästöjen on arvioitu olevan nykyisin tuotettua sähköenergiaa kohden tuulivoimalle 7–56 g CO₂-ekv./kWh, aurinkopaneelille 18–180 g CO₂-ekv./kWh ja ydinvoimalle 4–110 g CO₂-ekv./kWh¹¹⁵. Näillä yksikköpäästöillä vähäpäästöskenaarioissa vuonna 2050 käytettävän tuulivoiman, aurinkopaneelien ja ydinvoiman rakentaminen aiheuttaisivat yhteensä 0,3–7,5 Mt CO₂-ekvivalentin suuruiset päästöt.

Asuinrakennusten lämmityksessä lämpöpumppujen käyttö kasvaa. Lämpöpumppujen kiertoaaineina on yleisesti käytetty voimakkaina kasvihuonekaasuina toimivia HFC-yhdisteitä (fluorihiilivetyjä). Lämpöpumppujen kiertoaaineissa ollaan kuitenkin siirtymässä enenevässä määrin pois HFC-yhdisteiden käytöstä, mikä on edellytyksenä sille, etteivät F-kaasujen päästöt lämpöpumppujen käytöstä kasva. Vähäpäästöskenaarioissa F-kaasujen päästöt vähenevät yli 90 % vuoteen 2050 mennessä vuoden 2010 ja 2015 tasosta (Taulukko 8).

Teollisuusprosessit

Teollisuusprosessien kasvihuonekaasupäästöt vähenevät kaikissa vähäpäästöskenaarioissa vuoteen 2050 mennessä merkittävästi vuoden 2010 tasosta (Taulukko 8). Merkittävä osa päästövähennystä on seurausta F-kaasujen metalliteollisuuden ja kemianteollisuuden päästöjen vähentymisestä, mineraaliteollisuuden päästöjen pysyessä suurin piirtein vuosien 2010 tai 2015 tasolla. Eniten teollisuusprosessien päästöissä tapahtuu vähennystä (n. 80 %) Jatkuvan kasvun skenaariossa, jossa CCS ei ole käytettävissä.

Maatalous ja maankäyttösektori

Maatalouden ja maankäyttösektorin päästöjen ja poistumien kehitystä vuoteen 2050 saakka on tarkasteltu erikseen Luonnonvarakeskuksen MALULU-hankkeessa⁸¹. PITKO:n vähäpäästöskenaarioissa maa- ja metsätalouden päästöjen ja poistumien (nielujen) kehitystä arvioitiin karkeammin ja arviot on esitetty luvussa 7.1. Seuraavassa käsitellään maatalouden ja maankäyttösektorin päästöjen ja poistumien kehitykseen vaikuttavia keskeisiä tekijöitä.

Maatalouden, rakentamisen ja metsätalouden kehitys vaikuttavat oleellisesti maankäyttöön ja siten maankäyttösektorin kasvihuonekaasutaseiden kehitykseen. Lisäksi maatalouden kehi-

¹¹⁵ s. 538–540, s. 536; Bruckner T., I. A. Bashmakov, Y. Mulugetta, H. Chum, A. de la Vega Navarro, J. Edmonds, A. Faaij, B. Fungtammasan, A. Garg, E. Hertwich, D. Honnery, D. Infield, M. Kainuma, S. Khennas, S. Kim, H. B. Nimir, K. Riahi, N. Strachan, R. Wiser, and X. Zhang, 2014: Energy Systems. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

tys vaikuttaa maatalouden kasvihuonekaasupäästöihin, kuten karjatalouden metaanipäästöihin, maatalousmaiden typpioksiduulipäästöihin ja lannan käsittelystä aiheutuviin päästöihin. Metsätalous vaikuttaa metsien hiilitaseeseen. Lisäksi metsien hävittäminen rakentamisen ja pellon raivauksen vuoksi pienentää metsien hiilitasetta ja erityisesti turvemaiden kohdalla myös maaperän hiilitasetta.

Vähäpäästöskenaarioissa maatalouden päästöt vähenevät vuoden 2015 tasosta noin 10–40 % vuoteen 2050 mennessä. Maatalouden päästöjen vähentäminen on sopusoinnussa EU komission julkistamien yhteisen maatalouspolitiikan uudistusta ohjaavien tavoitteiden kanssa. Pakollisiksi vähimmäisvaatimuksiksi komissio esittää mm. runsashiilisen maaperän säilyttämistä kosteikkoja ja turvemaita suojelemalla sekä erilaisten ravinnetyökalujen käyttöä veden laadun parantamiseksi ja ammoniakki- ja typpioksiduulipäästöjä vähentämiseksi.¹¹⁶ Maaperän typpioksiduulipäästöt vähentyvät turvepeltojen alan pienentymisen, peltojen metsityksen, kosteikkometsityksen, säätösalaoituksen ja muokkauksen vähentymisen myötä enimmillään noin 1 Mt CO₂-ekv. vuoden 2016 tasoon ja WEM-skenaarioon verrattuna⁸¹. Lisäksi erityisesti Muutos-skenaariossa maatalouden kasvihuonekaasupäästöt vähenevät karjatalouden vähentyessä.

Turvemaiden raivaamisen loppuminen ja turvemaiden tehtävät toimet vähentävät Muutos-skenaariossa viljelysmaiden maankäyttösektorilla raportoivia kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi, noin 70 % vuoden 2016 tasoon verrattuna ja yli 5 Mt CO₂-ekv. WEM-skenaarioon verrattuna⁸¹ (luvut 7.1 ja 7.2). Kasvihuonekaasupäästöt pienenevät vuoteen 2050 mennessä ruohikkoalueilla metsityksen myötä lähes nollaan ja kosteikoissa turpeen korjuun loppumisen myötä noin kolmannekseen vuoden 2016 tasoon ja WEM-skenaarioon verrattuna⁸¹ (luvut 7.1 ja 7.2).

Rakennetun maan ala kasvaa WEM-skenaariossa vuoden 2016 tasosta (1,5 miljoonaa hehtaaria) noin 1,8 miljoonaa hehtaariin vuoteen 2050 mennessä. WEM-skenaariossa suurin osa (70–80 %) rakennetun maan alan kasvusta tulee metsämaasta. Rakennetun maa-alan vuosittaiset päästöt kuitenkin pienenevät vuoden 2016 tasosta noin 0,4 Mt CO₂ vuoteen 2050 mennessä¹¹⁷. Vaikka kaikki rakentaminen tapahtuisi enimmäkseen puuttomilla alueilla, tulee myös metsäisten alueiden käyttöönottoa todennäköisesti tapahtumaan. Vähäpäästöskenaarioissa asuin- ja palvelurakennusten, auto- ja raidevälien sekä esimerkiksi tuulivoimaloiden rakentaminen vaativat osittain metsäisten alueiden käyttöönottoa. MISA-hankkeessa arvioitiin, että mikäli rakennetun maa-alan pinta-alan kasvu vähentyisi 20 % WEM-skenaariota tasosta, olisivat rakennetun maa-alan päästöt noin 0,6 Mt CO₂ pienemmät vuonna 2050 vuoden 2016 tasoon verrattuna. MALULU-hankkeessa arvioitiin, että rakennetun maan päästöt voisivat pienentyä enimmillään n. 1 Mt CO₂ vuoden 2016 tasosta vuoteen 2050 mennessä skenaariossa, joka oli lähinnä Muutos-skenaariota.

Metsien puuston hiilinielun kehittyminen riippuu puuston kasvun ja poistuman kehityksestä¹¹⁸. Puuston hiilinielu on sitä suurempi, mitä suurempi on puuston kasvun ja hakkuupoistuman välinen erotus. Lisäksi luonnonpoistuma pienentää puuston hiilinielua. Metsien hiilinieluun vaikuttaa myös maaperän hiilitase, jota kasvattaa maaperään tuleva kuollut puu, hakkuutähteet ja kärke ja pienentää puolestaan maahengitys ja puunkorjuu.

¹¹⁶ https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/future-cap_fi (viitattu 11.2. 2019)

¹¹⁷ Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhainen, L., Järvi, 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 selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018.

¹¹⁸ Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T., Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016.

MALULU-hankkeen WEM-skenaariossa aines- ja energiapuun hakkuukertymän arvioitiin nousevan tasolle 80 Mm³ vuodessa ja hakkuutähteiden ja kantojen korjuun tasolle 7 Mm³ vuodessa vuoteen 2025 mennessä ja pysyvän sen jälkeen suurin piirtein vakiona⁸¹. Puuston kasvun arvioitiin nousevan tasolle 130 Mm³, ja metsien hiilinielun arvioitiin kasvavan noin tasolle 60 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2050 mennessä⁸¹. PITKO-skenaarioissa puuston korjuumäärät poikkeavat MALULU-hankkeen skenaarioista (ks. Taulukko 11). Oletetut epävarmuudet huomioiden metsien hiilinielun arvioitiin olevan 30–110 Mt CO₂ vuonna 2050, suurimmillaan Muutos-skenaariossa, jossa hakkuut olivat alhaisimmat, ja pienimmillään WEM-, Säästö- ja Pysähdys-skenaarioissa, joissa hakkuut olivat korkeimmat (ks. luku 7.1). Puutuotteiden arvioitiin pysyvän muutaman miljoonan CO₂-tonnin suuruisena laskennallisena hiilinieluna koko tarkastelujakson ajan (luku 7.1).

Arvio metsien hiilinielun tulevasta tasosta on herkkä oletuksille puuston kasvusta ja maaperän hiilitaseiden kehittymisestä. Esimerkiksi hallituksen energia- ja ilmastostrategian vaikutusten arvioinnissa⁹ MALULU-hankkeen WEM-skenaariota vastaavalla hakkuumäärällä metsien vuotuisen hiilinielun arvioitiin olevan vuosina 2025–2044 noin 25 Mt CO₂ pienempi kuin MALULU-hankkeessa⁸¹ arvioitiin. Suomen ilmastopaneelin selvityksessä¹¹⁹ vertaillun kuuden eri metsämallin tuottama keskimääräinen metsänielu vuosina 2015–2050 on suuruusluokaltaan 0–30 Mt CO₂ pienempi kuin mitä MALULU-hankkeessa arvioitiin (ks. luku 7.1). Syitä mallien tuottamien tulosten eroavaisuuksiin on selvityksen mukaan lukuisia. Tämä osoittaa, että epävarmuuksien syihin tulee jatkossa paneutua ja että nielujen tarkastelussa on hyödyllistä käyttää useita malleja epävarmuuden seurausten arvioimiseksi.

Nielun absoluuttista tasoa paremmin tunnetaan hakkuutason muutosten vaikutus nieluun, joka saadaan selville vertaamalla suuremman hakkuukertymän skenaariota pienemmän hakkuukertymän skenaarioon. Eri skenaarioanalyysien perusteella nielu jää sitä pienemmäksi, mitä enemmän puuta metsästä korjataan^{81,120,121,122}. Luonnonvarakeskuksen MELA-ohjelmiston skenaarioiden perusteella jokainen metsästä vuosittain korjattava lisäpuukuutio (m³) pienentää skenaarioiden välillä nielua noin 1,3–1,7 t CO₂ vuoteen 2050 saakka sekä alhaisemmilla²⁷ että korkeammilla⁸¹ puuston kasvuarvioilla. Suomen ilmastopaneelin selvityksessä tarkastellun kuuden eri mallin antama vastaava vaihteluväli vuoteen 2055 saakka oli 0,9–1,7 t CO₂ jokaista metsästä korjattua lisäpuukuutiota kohden¹¹⁹.

Metsityksellä voidaan vähentää maankäyttösektorin päästöjä ja lisätä hiilinielua, mutta vuoteen 2050 mennessä metsityksen vaikutus maankäyttösektorin nettonieluun on vähäinen, ja metsitetyt alueet muuttuvat hiilinieluksi vasta 2040-luvulla^{81, 117}. Maankäytön muutokset ja maankäyttö vaikuttavat ilmastomuutokseen myös muun muassa maanpinnan heijastusominaisuuksien, haihdunnan ja pilvien muodostumiseen vaikuttavien aerosolien kautta^{102,123}. Osalla näistä tekijöistä on ilmastoa lämmittäviä ja osalla viilentäviä vaikutuksia, mutta vaikutusten suuruuteen liittyy merkittäviä epävarmuuksia.

¹¹⁹ Kalliokoski, T., Heinonen, T., Holder, J., Lehtonen, A., Mäkelä, A., Minunno, F., Packalen, T., Peltoniemi, M., Pukkala, T., Salminen, O., Schelnaas, M.-J., Vauhkonen, J., Kanninen, M. 2019. Skenaarioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista. Suomen ilmastopaneeli (painossa).

¹²⁰ Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., ... & Eerikäinen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*, 134(3), 415–431.

¹²¹ Kallio, M., Salminen, O., Sievänen, R. (2016). Forests in the Finnish low carbon scenarios. *Journal of Forest Economics* 23, 45–62.

¹²² Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas, J. and Peltola, H., 2017. Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics*, 80, pp.80–98.

¹²³ Spracklen DV., Bonn B. & Carslaw SK. 2008. Boreal forests, aerosols and the impacts on clouds and climate. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2008 Dec 28;366(1885):4613–26. doi: 10.1098/rsta.2008.0201.

9.2. Vaikutukset resurssitehokkuuteen

Sampo Soimakallio, Laura Saikku, SYKE

Hallituksen energia- ja ilmastostrategian vaikutusten arvioinnissa⁹ resurssitehokkuuden kehittymistä tarkasteltiin kolmen elinkaari-indikaattorin avulla: materiaalitehokkuutta mitattiin raaka-aineiden kokonaiskäytöllä (raw material requirement, RMR), mineraalivarantojen köyhtymistä mitattiin sivukivi-indeksillä (surplus ore potential, SOP) ja ympäristötehokkuutta mitattiin elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen (eKHK) avulla. Kunkin indikaattorin osalta tunnistettiin vuoden 2010 tilastoihin perustuvaa ympäristölaajennettua panos-tuotos mallia (ENVIMAT) hyödyntäen Suomen kansantalouden kannalta keskeisimmät toimialat, kulutushyödykkeet ja tuotevirrat. Hallituksen energia- ja ilmastostrategian toimia verrattiin tunnistettuihin tekijöihin ja tarkasteltiin, kuinka hyvin toimet kohdentuivat keskeisiin toimialoihin ja tuotevirtoihin. Seuraavassa tarkastellaan vastaavalla periaatteella tässä työssä tarkasteltujen vähäpäästöskenaarioiden keskeisimpiä elementtejä materiaalitehokkuuden, mineraalivarantojen köyhtymisen ja elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta.

Materiaalitehokkuus

Materiaalitehokkuuden näkökulmasta vähäpäästöskenaarioissa aiheutuvat keskeisimmät muutokset liittyvät kivihiilen käytön alasajoon, fossiilisen öljyn energiakäytön vähenemiseen sekä biopolttoaineiden tuotannon lisäykseen. Näiden seurauksena tuontiöljyn ja kivihiilen vaikutukset vähenevät, mutta toisaalta voidaan olettaa metsätalouden materiaalivirtojen kasvavan, erityisesti Säästö- ja Pysähdys-skenaariossa. Puurakentamisen lisääntyminen erityisesti Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioissa voi vähentää raaka-aineiden käytön kannalta intensiivisten betonituotteiden käyttöä. Maatalouden tehostuminen Jatkuvan kasvun skenaariossa vähentää tuotantoa kohden käytettäviä panoksia ja kuormitusta. Säästö-skenaariossa edistetään maa- ja metsätalouden materiaalitehokkuutta kiertotalouden avulla.

Raaka-aineiden käytön kannalta keskeisimmät toimialat ovat hiekan, soran ja saven otto, maanrakennus, metsänhoito ja metallimalmien louhinta. Säästö-skenaariossa raskaan teollisuuden volyymit kasvavat, mihin liittyy usein paljon luonnonvarojen käyttöä. Energiatehokkuutta parantavat teolliset symbioosit sekä kiertotalouden edistäminen tehostavat kuitenkin materiaalien käyttöä Säästö-skenaariossa. Vähäpäästöskenaariot poikkeavat toisistaan talouskasvun suhteen. Talouden kasvu on voimakkainta Jatkuvan kasvun skenaariossa ja heikointa Pysähdys-skenaariossa. Yleensä talouskasvu lisää myös kulutusta, mikä lisää elinkaarista materiaalinkulutusta. Voimakas digitalisaatio ja palveluvaltaistuminen kuitenkin osittain hillitsevät raaka-aineiden kulutusta Jatkuvan kasvun skenaariossa, mutta niihin liittyy myös takaisinkytkentöjä ja epävarmuuksia (liite 2). Ilmastomuutoksen ääri-ilmiöihin sopeutuminen voi lisätä infrastruktuurin rakentamista, mikä lisää kokonaismateriaalin käyttöä, erityisesti Pysähdys-skenaariossa, jossa Pariisin ilmastositomuksen tavoitteita ei saavuteta.

Mineraalivarantojen köyhtyminen

Tuuli- ja aurinkoteknologiat ovat keskeisessä roolissa etenkin Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioissa. Aurinkopaneelien ja tuulivoimaloiden valmistus kasvattaa harvinaisten materiaalien käyttöä, mikä voi aiheuttaa ongelmia materiaalien riittävyydessä ja saatavuudessa. Tuulivoimaloiden rakentaminen lisää tiettyjen harvinaisten materiaalien, kuten dysprosiumin, neodmiumin, molybdeenin, kromin, nikkelin ja magnesiumin käyttöä. Aurinkopaneelien valmistuksessa käytetään harvinaisia metalleja, kuten telluuri (Te), indium (In), tina (Sn), hopea (Ag),

gallium (Ga), germanium (Ge), seleeni (Se) ja rutenium (Ru)¹²⁴. Tähän saakka tapahtunut tuotantomenetelmien kehittyminen on merkinnyt aurinkopaneelien nopeaa hinnan laskua, mikä on edistänyt aurinkopaneelien käyttöönottoa. Tekninen kehitys on toistaiseksi alentanut myös tuulivoiman tuotantokustannuksia merkittävästi. Vaikka tekninen kehitys todennäköisesti lieventää harvinaisten metallien käyttöä tuotettua energiaa kohden, lisää aurinko- ja tuulivoiman voimakas kasvu kuitenkin niiden kysyntää.

Ehtyvien luonnonvarojen käytön näkökulmasta keskeisin kotimainen toimiala vuonna 2010 oli metallimalmien louhinta⁹. Tätä merkittävämpää oli kuitenkin tuontituotteiden käyttö, etenkin metallimalmien ja rikasteiden, peruskemikaalien sekä raudan ja teräksen tuonti. Tuotenäkökulmasta nämä liittyivät värimetallien valmistukseen vientiä varten, talonrakentamiseen, raudan ja teräksen valmistukseen sekä massan ja paperin valmistukseen (peruskemikaalien ja mineraalien käyttö prosesseissa). Näiden lisäksi erilaisten koneiden ja elektroniikan valmistus vientiä varten oli merkittävä tekijä, vaikka sen vaikutus jakautui usealle toimialalle. Yksittäisistä tuotevirroista merkittävimpiä olivat tuontimalmien käyttö värimetallien sekä raudan ja teräksen valmistuksessa.

Ehtyvien luonnonvarojen käyttö jatkuu vähäpäästöskenaarioissa. Säästö-skenaariossa raskaan teollisuuden (teräs, sellu, pakkaus, sementti) volyymien kasvu lisää ehtyvien luonnonvarojen käyttöä. Infrastruktuurin rakentaminen ja käytössä olevan teknologian, kuten autokannan, nopea uusiminen päästövähennysten toteuttamiseksi, etenkin Jatkuvan kasvun skenaariossa, lisää koneiden ja elektroniikan tuotantoa, mikä myös nopeuttaa mineraalivarantojen köyhtymistä. Uudis- ja korjausrakentaminen on korkeimmillaan Jatkuva kasvu ja Muutos-skenaarioissa. Massa- ja paperiteollisuuden volyymit ovat suurimpia Pysähdys- ja Säästö-skenaarioissa.

Elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt

Elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen kannalta oleelliset toimialat olivat Suomessa vuonna 2010 sähkön tuotanto ja jakelu, kaukolämmön tuotanto ja jakelu, raudan ja teräksen valmistus, tierahdiliikenne ja kotieläintalous⁹. Lisäksi sähkön, raakaöljyn ja peruskemikaalien tuonnilla oli merkittäviä vaikutuksia ulkomailla. Tuotenäkökulmasta nämä liittyivät asumiseen ja rakentamiseen, massan ja paperin, öljytuotteiden, peruskemikaalien, raudan ja teräksen vientiin sekä eläinperäisten elintarvikkeiden kulutukseen. Näiden lisäksi julkinen hallinto sekä koulutus- ja terveyspalvelut olivat merkittävä julkinen kuluttaja. Toimialojen käyttämän väli-tuotekäytön kannalta merkittäviä tuotevirtoja olivat raakaöljyn käyttö öljynjalostuksessa sekä kaukolämmön käyttö omistus- ja vuokra-asunnoissa. Lopputuotteiden kulutukselle kohdentuvien kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta eläinperäisten elintarvikkeiden käyttö oli merkittävä tekijä. Teollisuudessa vientiin suuntautuvan massan ja paperin, öljytuotteiden, raudan ja teräksen sekä peruskemikaalien valmistuksen elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt olivat merkittävimmät tekijät.

Kaikissa vähäpäästöskenaarioissa elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen kannalta keskeisimpien sektoreiden, sähkön ja lämmön tuotannon, teollisuuden ja liikenteen hiilidioksidipäästöt vähentyvät merkittävästi. Sähkön nettotuonti lisääntyy vähäpäästöskenaarioissa, joten sen osalta riippuvuus ulkomaisista elinkaarivaikutuksista kasvaa, mutta raakaöljyn käytön vähentyminen vähentää sen riippuvuutta ulkomaisista elinkaarivaikutuksista. Myös rakentamisen materiaalien päästöintensivisyyden vähentyminen ja rakennusten energiatehokkuuden parantuminen vähentävät talonrakentamisen ja asumisen kasvihuonekaasupäästöjä. Ravinnon

¹²⁴ Leskinen, P., Holma, A., Manninen, K., Sinkko, T., Pasanen, K., Rantala, M., Sokka, L. (2014). Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit. Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio. Ympäristöministeriön raportteja 9/2014.

elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt vähentyvät kasvispainotteiseen ruokavalioon siirtymisen ja maatalouden ravinteita kierrättävien ja maaperän tuottavuutta säilyttävien käytäntöjen myötä, erityisesti Muutos- ja Säästö-skenaarioissa.

Kiertotaloudessa monet toimet voivat pienentää ilmastopäästöjä, esimerkiksi jo käytössä olevien muovien sekä alumiinin, teräksen ja betonin kiertotalouden mukaisella uudelleenkäytöllä voitaisiin vähentää globaaleja ilmastopäästöjä vuosittain arviolta jopa neljä miljardia hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Määrä vastaa noin 40 prosenttia nykyisin teollisuuden tuottamista vuosipäästöistä¹²⁵. Kiertotalous voimistuu erityisesti Säästö-skenaariossa.

Turvetuotannon ja turvepeltojen raivaamisen vähentyminen ja loppuminen vähentävät maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöjä. Suopelloilla pohjaveden pinnan nostolla, kasvipeitteisyyden lisäämisellä ja vähennetyllä muokkauksella voidaan vähentää turvepeltojen ja metsäojitettujen soiden ilmastopäästöjä¹²⁶. Ojitetuissa suometsissä kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää säätelemällä veden pinnan tasoa puuston määrän avulla välttämällä kunnostusojituksia ja kasvattamalla metsää jatkuvapeitteisenä ilman avohakkuita¹²⁶. Muutos-skenaariossa on kivennäismailla otettu käyttöön toimenpiteitä, joilla hidastetaan hiilen hajoamista ja mahdollisuuksien mukaan lisätään maaperän hiiltä. Metsien hiilinielu on vähäpäästöskenaarioissa pienimmillään Säästö- ja Pysähdys-skenaarioissa, joissa puunkäyttö on suurinta.

9.3. Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

Sampo Soimakallio, Pekka Punttila, Saija Kuusela, Aira Kokko, Katariina Mäkelä, Mikko Kuussaari, SYKE

Suomen luontotyyppien toisen uhanalaisuusarvioinnin^{127,128} mukaan uhanalaisimpia ovat perinnebiotoopit, joista valtaosa äärimmäisen uhanalaisia, ja toiseksi uhanalaisimpia ovat metsäluontotyytit. Tärkeimmiksi luontotyyppien uhanalaistumisen syiksi arvioitiin metsien uudistamis- ja hoitotoimet, ojitus, pellonraivaus sekä rakentaminen ja vesien rehevöityminen. Viimeisten vuosikymmenten aikana luontotyyppien tila on heikentynyt. Ilmastonmuutoksen vaikutuksen on toistaiseksi arvioitu olevan vähäinen uhanalaistumisessa (poikkeuksena tunturi-alue), mutta tulevaisuuden uhkatekijänä sen merkityksen arvioidaan kasvavan huomattavasti^{127,128}.

Metsäluonnon monimuotoisuus

Noin puolet Suomen lajimäärästä on metsälajeja, ja suurin osa maamme uhanalaisista lajeista elää ensisijaisesti metsissä^{129,130,131}. Viimeisimmän Suomen lajien uhanalaisuusarvion mukaan¹³¹ metsissä esiintyy 814 uhanalaiseksi luokiteltua lajia eli 36 % kaikista uhanalaisista lajeista. Merkittävimmät metsälajien uhanalaisuuden syyt ja uhkatekijät ovat metsien uudista-

¹²⁵ Material economics, 2018. The circular economy – a powerful force for climate mitigation. 2018.

¹²⁶ Luonnonvarakeskus 2019. STN SOMPA -hanke. Hyviä esimerkkejä. <https://www.luke.fi/sompa/hyvia-esimerkkeja/>

¹²⁷ Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1 - tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018: 1-388.

¹²⁸ Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 2 - luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristö 5/2018: 1-925.

¹²⁹ Ympäristöministeriö (1994). Suomen metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen. Ympäristöministeriö, Alueiden käytön osasto. Muistio 3/1994. Painatuskeskus Oy, Helsinki.: 1-90.

¹³⁰ Siitonen J., Hanski I. (2004). Metsälajiston ekologia ja monimuotoisuus. In: Kuuluvainen T., Saaristo L., Keto-Tokoi P., Kostamo J., Kuuluvainen J., Kuusinen M., Ollikainen M., Salpakivi-Salomaa P. (eds.), Metsän katkoissa - Suomen metsäluonnon monimuotoisuus. Edita Publishing Oy. p. 76-109.

¹³¹ Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (toim.) (2010). The 2010 Red List of Finnish Species. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.

mis- ja hoitotoimet, metsien puulajisuhteiden muutokset, vanhojen metsien ja kookkaiden puiden väheneminen, lahoppuun väheneminen ja kuloalueiden sekä muiden luontaisen suksession alkuvaiheiden väheneminen. Yleisin metsälajien uhanalaisuuden syy ja uhkatekijä on lahoppuun väheneminen. Se on myös tärkein ensisijaisesti metsässä elävien silmälläpidettävien lajien taantumisen tai heikon tilanteen syy sekä uhkatekijä¹³¹. Kuolleen puun keskitilavuus on Suomessa, erityisesti Etelä-Suomessa merkittävästi alhaisempi kuin luonnontilaisissa metsissä^{132,133}.

Suoluontotyyppisiin sisältyvät korvet ovat metsäluontotyyppien ohella tärkeitä vanhojen elävien ja kuolleiden puiden lajeille¹³⁴ sekä suojaisuutta tai puuston sulkeutuneisuutta tarvitseville metsälajien elinkiertoaiheille, kuten esimerkiksi metsäkanalintujen poikueille¹³⁵. Metsien uudistamis- ja hoitotoimet ovat ojituksen ohella keskeisiä syitä myös puustoisten suoluontotyyppien, erityisesti korpien tilan heikkenemiseen ja uhanalaistumiseen¹³⁶.

Vähäpäästöskenaarioissa runkopuun hakkuut ovat Säästö-skenaariossa vuonna 2030 suurin piirtein samalla tasolla kuin hallituksen Energia- ja ilmastostrategian tavoiteskenaariossa, jossa vuoteen 2025 mennessä hakkuut lisääntyivät 80 Mm³:iin runkopuuta vuodessa ja metsähakkeen käyttö lisääntyi 14–18 Mm³:iin vuodessa. Muissa vähäpäästöskenaarioissa jäädään tämän tason alapuolelle vuoteen 2030 saakka. Vuonna 2040 ja 2050 Säästö- ja Pysähdys-skenaarioissa runkopuun hakkuut nousevat yli 80 Mm³:n, Jatkuvan kasvun skenaariossa vakiintuvat noin 77 Mm³:n tasolle ja Muutos-skenaariossa kasvavat noin 77 Mm³:in vuoteen 2030 mennessä ja alenevat sen jälkeen vajaan 65 Mm³:iin vuoteen 2040 mennessä.

Runkopuun hakkuukertymän nostaminen ja energiapuun lisääntyvä korjuu vaikuttavat monimuotoisuudelle tärkeisiin metsien rakennepiirteisiin, kuten puuston määrään ja rakenteeseen, metsien ikäluokkajakaumaan ja kuolleen puun määrään. Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen vuoteen 2054 ulottuvissa skenaariotarkasteluissa¹³⁷ runkopuun hakkuukertymän kasvattaminen Kansallisen metsästrategian 2025 mukaisesti nykyisestä 65 miljoonasta kuutiometristä 80 miljoonaan kuutiometriin vuodessa kasvatti uudistushakkuualaa 1,4-kertaiseksi verrattuna skenaarioon, jossa hakkuita kasvatettiin noin 65 miljoonasta kuutiometristä 73 miljoonaan kuutiometriin vuodessa. Uudistushakkuiden voimakas lisääminen vähentää järeiden vanhojen lehti- ja havupuiden määrää ja nuorentaa metsien ikärakennetta nykyisestä, mikä voimistaa vanhoista metsistä riippuvaisten lajien taantumista. Jos lisähakkuut kohdistuvat pääosin kasvatushakkuihin, mallilaskelmissa metsien ikäluokkajakauma vanhennee. Tällöin lahoppuun määrä puuntuotannon metsämaalla lisääntyy nykytasoon verrattuna, koska mallilaskelmissa kuolleen puuston tilavuus kasvaa elävän puuston kokonaistilavuuden kasvaessa. Joissakin vähäpäästöskenaarioissa (erityisesti Jatkuva kasvu) kuitenkin myös puurakentaminen lisääntyy, mikä voi lisätä kotimaisen tukkipuun kysyntää ja siten uudistushakkuiden määrää, mikä voi siten vähentää lahoppuun potentiaalia. Nykyistä Intensiivisempi metsätalous voi myös muuttaa maaperän ravinnekiertoa, vesitaloutta ja vaikuttaa metsäisten luontotyyppien tilaan haitallisesti¹³⁷. Ilmastonmuutos on itsessään merkittävä uhka luonnon

¹³² Peltola, A (toim.), (2014). Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2014, Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.

¹³³ Siitonen, J., (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 49, 11–41.

¹³⁴ Haapalehto ym. 2015. Suoelinympäristöt. Teoksessa: Kotiaho, J.S., Kuusela, S. Nieminen, E., & Päivinen J. (toim.) 2015. Elinympäristöjen tilan edistäminen Suomessa. Suomen ympäristö. 8/2015.

¹³⁵ Huhta, E., Helle, P., Nivala, V. and Nikula, A., 2017. The effect of human-modified landscape structure on forest grouse broods in two landscape types. *Ecosphere*, 8(9).

¹³⁶ Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J.-P., Kondelin, H., Lindholm, T., Nousiainen, H., Rehell, S., Ruuhijärvi, R., Sallantausta, T., Salminen, P., Tahvanainen, T., Tuominen, S., Turunen, J., Vasander, H. & Virtanen, K. 2018. Suot. Julk.: Kontula T., Raunio A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 2 : luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. S. 321-474. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161234>

¹³⁷ Korhonen, K.T., Auvinen, A.-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J.-P., Kolström, T. (2016). Biotalouskennan muokkauksen vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016.

monimuotoisuudelle, sillä se muuttaa lajien levinneisyysalueita ja voi hävittää lajeja sukupuuttoon¹³⁸.

Kotimaisen metsähakkeen käyttö lisääntyy vähäpäästöskenaarioissa 2–2,5-kertaiseksi vuoden 2015 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Suurimmillaan metsähakkeen käyttö on Pysähdys-skenaariossa vuonna 2050, ollen noin 20 Mm³. Metsähakkeen käytön lisäyksen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen riippuvat siitä, mihin jakeisiin lisäys kohdistuu. Lisääntyvä energiapuun korjuu vähentää metsien lahopuumäärää ja voi aiheuttaa merkittäviä muutoksia metsälajistossa^{131,139,140} erityisesti, jos korjuu vähentää järeän kuolleen puun määrää^{141,142}. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen korostavat, että järeä kuollut puu tulee jättää korjaamatta¹⁴³.

Rakentamisen ja pellonraivauksen vuoksi tapahtuvan metsäpinta-alan pientymisen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen riippuu voimakkaasti siitä, mihin ja minkä tyyppisiin metsiin metsien hävittäminen tulevaisuudessa kohdistuu. Metsän hävityksen vaikutukset ovat avohakkuihin ja metsän uudistamiseen verrattuna pitkäikäisempiä tai jopa pysyviä ja siten voimakkaammin negatiivisia. Pellonraivaus on Suomessa historiallisesti kohdistunut viljaviin metsä- ja turvemaihin, kuten lehtoihin tai lehtomaisiin kankaisiin ja erilaisiin lettoihin, joiden monimuotoisuusarvot ovat yleensä korkeammat kuin kangasmetsän. WEM-skenaariossa pellonraivaus jatkuu, kun taas Muutos-skenaariossa raivaus loppuu jo vuonna 2020.

Metsäluonnon uhanalaistumisen kannalta Muutos-skenaario on selvästi vähäriskisin alhaisemman hakkuutason vuoksi. Muissa vähäpäästöskenaarioissa puunkäytön lisäyksestä johtuvia metsien monimuotoisuuteen kohdistuvia lisäpaineita voidaan pyrkiä rajoittamaan luomalla samalla uusia kannustimia monimuotoisuuden ylläpitämiseksi. Hakkuiden lisäämisen monimuotoisuudelle haitallisia vaikutuksia voidaan pyrkiä lieventämään esimerkiksi jättämällä järeitä eläviä säästöpuita uudistushakkuualoille nykyistä enemmän, välttämällä puun korjuuta arvokkaita luontokohteilta, säästämällä kuollutta puuta nykyistä enemmän hakkuukohteilla¹⁴⁷ sekä alueellisen metsäsunnittelun¹⁴⁴, ekologisen päätösanalyysin ja spatiaalisen priorisoinnin avulla^{145,146}. Riittävän laajoilla toimenpideyhdistelmillä voidaan merkittävästi rajoittaa haitallisia vaikutuksia. Laaditun arvion mukaan tämä edellyttää mm. Metso-ohjelman toteuttamista täysimääräisenä.¹⁴⁷ Jos paineiden suuntaamisessa ja rajoittamisessa epäonnistutaan, puukäytön lisääminen voi hankaloittaa kansainvälisen biodiversiteettisopimuksen ja sen toteuttamiseen pyrkivien strategioiden tavoitteiden saavuttamista.

¹³⁸ IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

¹³⁹ Riffell, S., Verschuyt, J., Miller, D., & Wigley, T. B. (2011). Biofuel harvests, coarse woody debris, and biodiversity—a meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 261(4), 878–887.

¹⁴⁰ Johansson, V., Felton, A. & Ranius, T. (2016). Long-term landscape scale effects of bioenergy extraction on dead wood-dependent species. *Forest Ecology and Management*, 371, 103–113.

¹⁴¹ Antikainen, R., Tenhunen, J., Ilomäki, M., Mickwitz, P., Punttila, P., Puustinen, M., Seppälä, J. & Kauppi, L. (2007). Bioenergian uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat: nykytilakatsaus. Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja, 11.

¹⁴² Bouget, C., Lassauce, A. & Jonsell, M., 2012. Effects of fuelwood harvesting on biodiversity — a review focused on the situation in Europe. *Canadian Journal of Forest Research* 42(8), 1421–1432.

¹⁴³ Koistinen, A., Luuro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) 2016. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja

¹⁴⁴ Triviño, M., Pohjanmies, T., Mazziotto, A., Juutinen, A., Podkopaev, D., Le Tortorec, E., & Mönkkönen, M. (2016). Optimizing management to enhance multifunctionality in a boreal forest landscape. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12790>

¹⁴⁵ Kareksela, S., Moilanen, A., Tuominen, S., & Kotiaho, J. S. (2013). Use of inverse spatial conservation prioritization to avoid biological diversity loss outside protected areas. *Conservation Biology*, 27(6), 1294–1303.

¹⁴⁶ Lehtomäki, J., 2014. Spatial conservation prioritization for Finnish forest conservation management. Helsingin yliopisto, väitöskirja.

¹⁴⁷ Korhonen, K.T., Auvinen, A.-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J.-P. ja Kolström, T. 2016. Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016.

Maatalousluonnon monimuotoisuus

Maataloustuotannon ja maankäytön tehostuminen, lypsykarjatalouden supistuminen ja tilojen ja laajempien alueiden tuotannon erikoistuminen ovat aiheuttaneet monimuotoisuutta ylläpitävien elinympäristöjen vähentymistä maatalousluonnossa. Eliölajien kannalta tärkeimmät ongelmat ovat avoimien ja viljelemättömien elinympäristöjen pinta-alojen väheneminen, tuotannon ja maankäytön tehostuminen peltolohkojen sisällä ja maatalousmaiseman rakenteen yksipuolistuminen.^{148,149}

Peltojen metsittäminen vähentää avoimien alueiden lajistojen elinympäristöjä. Ilman huolellista monimuotoisuusvaikutusten ennakoarviointia heikkotuottoisten avointen alueiden metsittäminen voi merkittävästi heikentää maatalouden ympäristökorvausjärjestelmän pitkäaikaisen kehitystyön saavutuksia luonnon monimuotoisuuden säilyttämisessä. Huonotuottoisten peltolohkojen metsittäminen esimerkiksi keskellä peltoaukeaa voi kuitenkin tuoda hyötyjä monimuotoisuuteen reuna-alueen alan kasvaessa¹⁵⁰. Vähäpäästöskenaarioissa haasteita maatalousluonnon monimuotoisuuden ylläpitämiselle voi aiheutua erityisesti maatalouden tehostumisesta (Jatkuvan kasvun skenaario) sekä viljelysmaiden ja ruohikkoalueiden metsityksestä tai metsittämisestä. Monimuotoisuuden kannalta arvokkaiden peltojen määrä ja sijainti olisi tärkeää selvittää, mikäli laajamittaista metsittämistä harkitaan.

9.4. Vaikutukset vesistöihin

Sampo Soimakallio, Laura Saikku, SYKE

Metsätalouden vesistövaikutukset

Ilmastonmuutoksen hillintätoimenpiteiden vesistövaikutukset liittyvät läheisesti puunkäytön kehitykseen. Puunkäyttö lisääntyy vuoden 2015 tasosta vuoteen 2030 mennessä kaikissa vähäpäästöskenaariossa, mikä kasvattaa vesien kuormitusta. Typpi- ja fosforikuormitus aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä ja kiintoainekuormitus sameutumista, liettymistä ja umpeenkasvua. Kuormituksen aiheuttamat vesistövaikutukset riippuvat mm. maankäytön alueellisesta laajuudesta, toimenpiteiden voimaperäisyydestä sekä valuma-alueen että vastaanottavan vesistön ominaisuuksista. Metsätalouden osuus ihmistoiminnan aiheuttamasta typpikuormituksesta oli n. 5 % ja fosforikuormituksesta 8 % Suomessa vuonna 2016¹⁵¹. Metsätaloudessa vesistökuormitusta aiheutuu lähinnä hakkuista, lannoituksista ja kunnostusojituksista, joita toteutetaan vuosittain pienellä osalla koko metsäalasta¹⁵².

Hakkuiden lisääminen lisää vesistökuormitusta. Esimerkiksi fosforikuormituksen on suomensävaltaisilla koealueilla havaittu kohoavan eri tavoin toteutettujen hakkuiden ja kokopuukor-

¹⁴⁸ Toivonen, M., Herzon, I. & Kuussaari, M. 2015: Differing effects of fallow type and landscape structure on the occurrence of plants, pollinators and birds on environmental fallows. – *Biological Conservation* 181:36-43.

¹⁴⁹ Alanen, E.-L., Hyvönen, T., Lindgren, S., Härmä, O. & Kuussaari, M. 2011: Differential responses of bumblebees and diurnal Lepidoptera to the succession of experimental long-term set-asides. – *Journal of Applied Ecology* 48:1251-1259.

¹⁵⁰ Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhainen, L., Jaturi, 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 selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2019.

¹⁵¹ Suomen Ympäristökeskus 2017. Fosfori- ja typpikuormitus eri lähteistä sekä arvio laskeumasta ja luonnon huuhtoumasta Suomessa vuonna 2016. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma

¹⁵² Launiainen Samuli, Sarkkola Sakari, Laurén Ari, Puustinen Markku, Tattari Sirkka, Mattsson Tuija, Piirainen Sirpa, Heinonen Jaakko, Alakukku Laura, Finér Leena. (2014). KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33/2014. 55 p.

juun jälkeen. Fosforikuormitus kasvaa etenkin silloin, kun intensiiviset hakkuut nostavat pohjaveden pinnan lähelle maanpintaa¹⁵³. Mikäli puuston kasvun tai metsän hiilinielun lisäämiseksi käytetään metsälannoitusta, uhkaa vesistöjä kasvava ravinnekuormitus. Metsien fosforilannoituksen voimakas väheneminen 1990-luvulla näkyi selvästi vähentyneenä fosforikuormituksena vesiin¹⁵⁴.

Energiapuun korjuun lisäämisessä ongelmallista vesistöjen kannalta on etenkin kantojen nosto metsämaasta. Se lisää orgaanisen aineksen eroosiota ja kuormitusta. Kokopuukorjuu, jossa myös kannot nostetaan, lisää orgaanisen aineksen huuhtoutumista selvästi¹⁵⁵. Humuksen mukana liikkeelle lähtee myös metalleja.

Metsäbiomassan lisääntyvän käytön haitallisia vesistövaikutuksia voidaan rajoittaa muun muassa käyttämällä metsämaaperän käsittelyssä mahdollisimman kevyitä menetelmiä. Painotamalla biomassan lisäkäyttöä harvennushakkuihin ja hakkuutähteisiin, vesistövaikutukset jäävät myös todennäköisesti huomattavasti pienemmiksi verrattuna hyödyntämiseen, johon liittyy laajamittaista kantojen nostoa ja kokopuukorjuuta. Ongelmallisimpia vesistöjen kannalta ovat voimaperäiset hakkuut ja maaperän muokkaus suometsissä. Metsien monimuotoisuuden ylläpitämistä edistävät toimet ovat hyödyllisiä myös vesistöjen kannalta.

Maatalouden vesistövaikutukset

Suomessa maatalouden osuus vesistökuormituksesta oli noin 59 % fosforikuormituksesta ja 49 % typpeikuormituksesta vuonna 2016¹⁵¹. Viimeisten vuosikymmenten aikana viljelymenetelmiä on kehitetty ja lannoitusmäärät ovat pienentyneet huomattavasti. Tästä huolimatta maatalouden ravinnekuormitus ei ole pienentynyt peltoihin kertyneen ravinnevaraston takia¹⁵⁶. Lisäksi ilmaston muuttumisen myötä lyhentyneet talvet ja talviaikaiset vesisateet ja sulanta ovat voimistaneet ravinteiden huuhtoutumista pääosin lumettomilta pelloilta vesistöihin.

Maatalouden ravinnekuorma syntyy, kun pelloilta valuu ravinteita vesistöihin. Pelloille tuodaan ravinteita ulkopuolisina panoksina lannoitteissa, lannassa tai biologisen typensidonnan keinoin ilmakehästä. Kasvit eivät käytä kaikkia ravinteita kasvuunsa, vaan osa valuu pelloilta sekä kiintoaineen mukana että veteen liuenneena. Kiintoainevalumaa voidaan vähentää hallitsemalla peltojen eroosiota. Paljas maa on eroosioherkempää kuin kasvintähteiden tai nurmikasvuston peittämä. Lisäksi juuristo pitää maata paikallaan ja parantaa maan murukestävyyttä. Maaperän luonnollinen eroosipotentiaali määrittää sen, kuinka suuri eroosioriski kulkakin loholla on ja kuinka paljon erilaisilla toimenpiteillä riskejä voi vähentää.

Vahva maatalous Pysähdys-skenaariossa vaikuttaa merkittävästi koko Suomen vesistökuormitusta nostavasti. Toisaalta Pysähdys-skenaariossa elintarvikkeita myös tuodaan merkittävästi, minkä vuoksi merkittävä osa elintarvikkeiden tuotantoon liittyvistä ympäristövaikutuksista syntyy Suomen rajojen ulkopuolella. Maatalouden tehostuminen Jatkuvan kasvun skenaariossa vähentää tuotantoa kohden käytettäviä panoksia ja kuormitusta. Kotimainen ruoka aiheuttaa ravinnekuormitusta kotimaisissa sisävesistöissä ja Itämeressä. Säästö-skenaariossa maataloudessa ravinnepestöjä vähennetään kiertotalouden avulla.

¹⁵³ Kaila A., Sarkkola S., Laurén A., Ukonmaanaho L., Koivusalo H., Xiao L., O'Driscoll C., Asam Z., Tervahauta A. & Nieminen M. (2014). Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325: 99–107.

¹⁵⁴ Tattari S., Koskiahio J., Kosunen M., Lepistö A., Linjama J., Puustinen M. (2017). Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2011 – is the efficiency of water protection measures seen? *Environmental Monitoring & Assessment* 189 (3): 95.

¹⁵⁵ Kiikkilä, O., Nieminen, T.M., Starr, M., Mäkilä, M., Loukola-Ruskeeniemi, K., Ukonmaanaho, L. (2014). Leaching of dissolved organic carbon and trace elements after stem-only and whole-tree clear-cut on boreal peatland. *Water, Air & Soil Pollution*. 255, 1–11.

¹⁵⁶ Heiskanen, A.-S., Hellsten, S., Vehviläinen, B., Putkuri, E., ym. 2017. YMPÄRISTÖN TILA -KATSAUS 1/2017 | 21.3.2017. <http://hdl.handle.net/10138/177569>

Suomessa ruokaketjut vaikuttavat merkittävästi vesistöjä rehevöittävän ravinnekuormituksen syntyyn ja tätä kautta maamme vesistöjen tilaan. Suomessa viljasadosta käytetään 55 % rehuksi¹⁵⁷. Suurimmat rehevöittävät päästöt syntyvät eläintuotannosta. Lihan tuottamiseksi tarvitaan paljon kasvintuotantoa, sillä eläin ei käytä kaikkea syömäänsä ravinnetta kasvuunsa. Kasvintuotannossa saadaan tietty osuus ravinnepanoksista kasviin, mutta kun eläin syö kasvin vain pieni osa kokonaisfosforista päätyy eläimen ruuhon tai maitoon. Muutos-skenaariossa, joissa lihansyönti vähenee ja karjantuotanto supistuu, myös kuormittavat vesistö-päästöt pienenevät koko Suomen tasolla huomattavasti.

9.5. Vaikutukset ilmanlaatuun

Mikko Savolahti, Sampo Soimakallio, SYKE

Ilmansaasteet aiheuttavat Suomessa vuosittain arviolta 2000 ennen aikaista kuolemantapausta, joista 1600 on seurausta hengitysilman pienhiukkaspitoisuuksista (Lehtomäki ym. 2018). Pienhiukkasten aiheuttamista ennen aikaisista kuolemista reilu puolet on arvioitu olevan seurausta kaukokulkeumasta. Kotimaisista päästölähteistä suurimmat terveyshaitat tulevat puun pienpolton ja liikenteen pienhiukkaspäästöistä, sekä ilmakehässä eri ilmansaasteista muodostuvista sekundäärihiukkasista. Ilmanlaadun oletetaan parantuvan Suomessa nykytasosta vuoteen 2030 mennessä, mikä johtuu voimaan tulevasta tai jo voimassa olevasta EU-lainsäädännöstä, joka rajoittaa erityisesti liikenteen pakokaasupäästöjä ja polttolaitosten päästöjä.¹⁰²

Kotimaisista päästövähennystoimista saadaan suurimmat terveyshyödyt silloin, kun ne kohdistuvat matalan päästökorkeuden lähteisiin tiheästi asutuilla alueilla. Näitä lähteitä ovat erityisesti liikenne, työkoneet ja puun pienpolto. Moottoritekniikan kehitys ja autokannan uusiutuminen ovat jo vähentäneet liikenteen pakokaasupäästöjä merkittävästi, ja tulevat vähentämään edelleen. Liikennesuoritteiden vähentyminen liikenteen tehostumisen ja kulutusmuutosten kautta sekä liikenteen sähköistyminen nopeuttavat ilmanlaadun parantumista kaupunkialueilla, joissa päästöille altistuu suuri määrä ihmisiä. Vaikutus kaupunkien ilmanlaatuun riippuu viime kädessä ajoneuvosuoritteiden kehittymisestä ja niiden alueellisesta jakautumisesta.¹⁰² Katupölypäästöjen suhteellinen vaikutus ilmanlaatuun kasvaa tulevaisuudessa ajoneuvojen pakokaasupäästöjen vähentyessä. Katupölypäästöjä vähentävät joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen lisääntyminen (erityisesti Muutos-skenaario).

Ilmanlaadun kannalta puun pienpolton pienhiukkaspäästöt takoista ja kiukaista ovat olennaisia. Pienpolton päästöjen ei odoteta vähenevän lähitulevaisuudessa yhtä selvästi kuin liikenteen, sillä laitteille ei ole tähän mennessä ollut hiukkaspäästöjä rajoittavaa lainsäädäntöä. Vuonna 2020 pienkattiloille ja 2022 takoille voimaan tuleva ekosuunnitteludirektiivi (EU) 2015/1185 ja 2015/1189) asettaa markkinoilla oleville uusille laitteille mm. pienhiukkaspäästörajan. Direktiivin vaikutus alkaa kuitenkin olla merkittävä vasta vuoden 2030 jälkeen, sillä laitekanta uusiutuu hitaasti. Muita keinoja vaikuttaa pienpolton päästöihin ovat esimerkiksi informaatio-ohjaus tulisi-jojen käyttäjille ja kansalliset laatuvaatimukset, jotka koskevat ekosuunnitteludirektiivin ulkopuolelle jääviä laitteita, kuten kiukaita. Tehokkain keino vähentää pienpolton ilmansaastepäästöjä on kuitenkin vähentää polttopuiden käyttöä. Sekä WEM-että vähäpäästöskenaarioissa polttopuiden käyttö asuinrakennusten lämmityksessä kääntyy laskuun erityisesti vuoden 2030 jälkeen. Skenaarioissa käyttö on noin 15–35 % alhaisempaa vuonna 2050 kuin 2015. Säästö-skenaariossa käyttö alenee eniten.

¹⁵⁷ Luke (Luonnonvarakeskus), 2018. Viljatase. <http://stat.luke.fi/viljatase>

9.6. Vaikutukset ihmisten hyvinvointiin ja elinoloihin

Antti Rehunen, Sampo Soimakallio, SYKE

Yhdyskuntarakenteen muutosten vaikutukset

Vähäpäästöskenaarioissa kaupungistuminen jatkuu voimakkaana (Muutos), keskinopeana (Jatkuva kasvu ja Pysähdys) tai nykyistä hitaampana (Säästö). Kaupungistumisen tapa ja kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenteen kehitys vaikuttavat mm. liikkumismahdollisuuksiin, arjen sujuvuuteen, asuinoloihin, rakennetun ympäristön ja infrastruktuurin ylläpitoon, asuin-ympäristön laatuun ja yhdyskuntatalouteen (liite 2).

Voimakas kaupungistuminen kasvattaa maan eri osien välisiä eroja rakennetun ympäristön kehittämisessä. Uudisrakentaminen ja mahdollisuudet vaikuttaa maankäytön suunnittelulla yhdyskuntarakenteen kehitykseen painottuvat kasvuseuduille. Kaupungistuminen samalla lisää yhdyskuntarakentamisen kustannuksia kasvavilla alueilla. Väestöään menettävillä alueilla kasvaa rakennetun ympäristön vajaakäyttö ja infrastruktuurin ylläpidon käyttäjäkohtaiset kulut. Kasvavilla kaupunkialueilla on saatavilla kasvava kirjo erilaisia palveluja, kun väestötappioalueilla palvelujen fyysinen saavutettavuus usein heikkenee. Toisaalta tiivis kaupunkiympäristö, vaihtelunhaluinen elämäntapa ja hyvät liikenneyhteydet voivat lisätä vapaa-ajan matkojen määrää ja päästöjä juuri kaupungeissa. Asumisen tiivistyminen Muutos- ja Pysähdys-skenaarioissa pienentää oletettavasti asumisväljyyttä. Ahtaasti asuvien asuntokuntien osuus kasvaa oletettavasti tällöin erityisesti pääkaupunkiseudulla.

Kaupungistumisen etenemisen myötä yhä useampi asuu kaupunkialueilla, joilla arkimatkat ovat keskimäärin lyhyempiä ja kulkutapavaihtoehtoja on useampia kuin kaupunkien kehysalueella tai maaseutualueella. Kaupunkialueiden sisällä on kuitenkin merkittäviä eroja joukkoliikenteen tarjonnassa sekä palvelujen ja työpaikkojen saavutettavuudessa. Alueet, joilla on tiiviisti asutusta ja työpaikkoja, lähipalveluja ja hyvät joukkoliikenneyhteydet tarjoavat parhaat mahdollisuudet autottomaan arkeen. Mahdollisuudet itsenäiseen arkiliikkumiseen ilman omaa autoa ovat tärkeitä autottomille asuntokunnille, nuorille ja ikääntyneille. Väestön ikääntyminen korostaa arjen matkakohteiden saavutettavuuden merkitystä.

Joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen kehittäminen ja yksityisautoilun vähentäminen erityisesti isoissa kaupungeissa liikennesuoritteiden vähentämiseksi korostuvat kaikissa vähäpäästöskenaarioissa. Joukkoliikenteen kehittämisen edellytykset ovat parhaimpia suurimmilla kaupunkiseuduilla. Erityisesti pääkaupunkiseudulla painottuu intensiivisten poikittaisten joukkoliikenneyhteyksien kehittäminen. Kaupunkien kehysalueella toimivilla liityntäyhteyksillä ja -pysäköinnillä voidaan lyhentää autolla kuljettavien matkojen pituutta. Pienillä kaupunkiseuduilla kevyen liikenteen kehittäminen ja lyhyen automatkan päässä sijaitsevat matkakohteet auttavat vähentämään henkilöautolla ajettavia kilometrejä.

Kaupunkiseutujen viime vuosien uudisrakentaminen on sijoittunut sekä autottoman arkiliikkumisen näkökulmasta edullisille keskusta-alueilla ja joukkoliikennekäytäviin että taajamien reunojen autoriippuvaisille alueille. Kaupunkirakenne kokonaisuudessaan on tiivistynyt, mutta seutujen toiminnallinen rakenne on hajautunut, mikä on näkynyt mm. työ- ja asiointimatkojen pituuden ja autoriippuvuuden kasvuna. Viime vuosina työ- ja asiointimatkojen autoriippuvuuden kasvu on kuitenkin hidastunut¹⁵⁸. Autoriippuvuus vähenee ja arjen liikkumismahdollisuu-

¹⁵⁸ Rehunen A, Ristimäki M, Strandell A, Tiitu M & Helminen V (2018). Katsaus yhdyskuntarakenteen kehitykseen Suomessa 1990–2016. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2018.

det monipuolistuvat myös kaikissa vähäpäästöskenaarioissa. Suurin muutos tapahtuu voimakkaimman kaupungistumisen Muutos-skenaariossa. Myös Pysähdys-skenaariossa kaupunkirakenteen tiivistyminen lyhentää arkimatkojen keskipituuksia. Jatkuvan kasvun skenaariossa keskinopea kaupungistuminen tuo yhä suuremman osan asukkaista suhteellisen lyhyiden arkimatkojen alueelle, mutta taajamien laajenemiskasvu lisää autoriippuvaisten taajaman reuna-alueiden osuutta asutuksesta. Säästö-skenaariossa maltillinen kaupungistuminen ja tiivistyminen lyhentävät jonkin verran arkimatkojen keskipituutta ja lisäävät kestävien kulkumuotojen osuutta, minkä lisäksi etätyön ja -palvelujen kehitys vähentää liikkumistarvetta. Etätyön lisääntymisen päästövaikutukset ovat kuitenkin epävarmoja (liite 2).

Kaupungistuminen lisää paineita asuinrakennusten ja muun infrastruktuurin rakentamiselle kaupunkialueilla, joissa viheralueiden säilyttämiseen kohdistuu haasteita. Viheralueet ovat tärkeitä kaupunkiympäristön viihtyvyydelle, mutta tämän lisäksi uudet tutkimukset viittaavat viheralueiden lähellä asumisen olevan yhteydessä parempaan terveyteen¹⁵⁹. Tätä voivat selittää viherympäristöjen stressiä vähentävät ja virkistysliikuntaa lisäävät vaikutukset. Viheralueiden vähentyminen voi heikentää myös kaupunkien kykyä sietää ilmastonmuutosta, jolloin esim. helleaaltojen ja tulvien aiheuttamat haitat voivat lisääntyä¹⁶⁰. Toisaalta asumistiiveyden lisääntyminen muissa paitsi Jatkuvan kasvun skenaariossa lieventää asuinrakennusten pinta-alan tarvetta ja tilatehokkuuden parantuminen erityisesti Muutos- ja Säästö-skenaarioissa lieventää palvelurakennusten pinta-alan tarvetta.

Kaupungistumisen myötä entistä suurempi osa väestöstä altistuu ilmansaasteille ja niihin liittyvät kuolemat saattavat kasvaa nykyisestä. Suurin osa pienhiukkasiin yhdistyvistä terveyshaitoista aiheutuu pitkäaikaisesta, vuosia kestävästä altistumisesta¹⁰². Vaikka liikenteen pakokaasupäästöjen aiheuttama altistuminen vähenee voimakkaasti liikenteen sähköistymisen sekä joukko liikenteen ja kevyen liikenteen lisääntymisen myötä, pysyy puun pienpoltton ja katupölyn pienhiukkasille altistuminen skenaarioissa merkittävänä, ellei puun pienpoltossa pienhiukkaspäästöjen ja katupölypäästöjen merkittävässä vähentämisessä onnistuta (ks. luku 9.5).

Liikunnan ja ravinnon terveysvaikutukset

Kävelyn ja pyöräilyn lisääntyminen, kasvispainotteiseen ruokavalioon siirtyminen sekä arjen sujuvuuden ja ympäristön viihtyisyyden parantuminen muun muassa ruuhkien ja melun vähentymisen myötä tuovat terveyshyötyjä. Väestön kulutustottumukset eivät perustu pelkästään yksilöllisiin valintoihin, vaan niihin voidaan merkittävästi vaikuttaa väestöryhmäkohtaiset erot huomioivalla liikenne-, kuluttaja-, ruoka-, liikunta, ympäristö- ja terveyspolitiikalla¹⁰².

Muut vaikutukset ihmisten hyvinvointiin

Ilmastotavoitteet ovat niin vaativat, että ilmastonmuutoksen hillintätoimilla voi olla myös merkittäviä ihmisten elinoloihin kohdistuvia vaikutuksia, mukaan lukien tuloeroja korostavia vaikutuksia, jos energian, ruoan ja muiden hyödykkeiden hinta nousee merkittävästi. Eri väestöryhmät voivat olla hyvin erilaisessa asemassa myös sen suhteen, kuinka helposti he voivat osallistua jakamistalouteen tai kuinka tehokkaasti he voivat hyödyntää esimerkiksi liikennepalvelujen digitalisaatiota. Keskeisenä haasteena vaaditun muutoksen toteuttamisessa on se,

¹⁵⁹ Hartig T, Mitchell R, de Vries S, Frumkin H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35, 207-28.

¹⁶⁰ Depietri Y, Renaud FG, Kallis G. (2012). Heat waves and floods in urban areas: a policy-oriented review of ecosystem services. *Sustainability Science*. 7, 95-107.

miten sosiaalista eriarvoistumista ja asenteiden koventumista vältetään. Tämä riippuu voimakkaasti siitä, minkälaisia ohjauskeinoja muutoksen toteuttamisessa hyödynnetään ja miten kustannukset eri väestöryhmille kohdentuvat.

10. SKENAARIOIDEN TOTEUTUMISEEN LIITTYVIÄ NÄKÖKOHTIA

Lassi Similä, Tiina Koljonen, VTT, Sampo Soimakallio, Mikael Hildén, SYKE

PITKO-hankkeessa laaditut skenaariot eroavat toisistaan sekä teknologisesta että taloudellisesta näkökulmasta, mutta myös muun muassa skenaarioon liitettyjen arvokehitysten ja kansainvälisen yhteistyön lähtökohdista. Skenaarioiden toteutumiseen liittyy erilaisia riskejä. Lisäksi on tärkeää tunnistaa, mitkä ovat tärkeät toimenpiteet ja toimijat, jotta päästään tavoitellulle kehitysuralle, eli tässä tapauksessa kohti vähäpäästöisyyttä. Skenaarioiden keskeiset elementit (globaali kehitys, teknologinen muutos ja sen nopeus, arvot ja asenteet, yhteiskunnan rakenteelliset muutokset, jne.) on valittu toisistaan poikkeaviksi, eikä niiden yhdistelmän mukainen kehitys ole välttämättä todennäköisin, vaikka tietty kehityskulku tiettyjen elementtien toteutumiseksi muodostuisikin suotuisaksi ja skenaarioissa oletetun mukaiseksi. Samasta syystä on myös todennäköistä, että skenaarioiden toteutuminen vallitsevissa olosuhteissa edellyttää erilaisia toimenpiteitä ja keskeiset toimijat vaihtelevat sekä skenaarioiden että skenaarioiden keskeisten elementtien välillä. Kuten luvussa 4.1 todettiin, työpajaprosessi suunniteltiin siten, että sen tulokset antavat aineksia riski- ja toimenpidenäkökulmien analysoimiseksi. Tässä luvussa tuodaan esille eri skenaarioiden toteutumiseen liittyviä näkökohtia pääasiassa työpajoissa esitettyihin asiantuntija-arvioihin nojautuen.

10.1. Riskit

Skenaarioiden toteutumiseen liittyviä riskejä käsiteltiin lähinnä hankkeen toisessa ja kolmannessa työpajassa, joissa skenaarioiden lähtökohtia ja alustavia laskentatuloksia oli käytettävissä arvioinnin pohjaksi. Riskit edustavat toisaalta skenaarion yleislogiikkaan ja toisaalta jonkun keskeisen elementin, kuten tietyn teknologian tai arvomuutoksen toteutumiseen, liittyviä kriittisiä huomioita.

Kaikkien skenaarioiden näkökulmasta nousi esille kaksi keskeistä riskiä, eli hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin liittyvät riskit (l. toteutuuko koskaan ja jos toteutuu kuinka nopeasti ja millä edellytyksillä) sekä biomassan käytön lisäämiseen liittyvät riskit. Lisäksi merkittävä riski (ja toisaalta myös mahdollisuus) liittyy negatiivisiin päästövähennyksiin, eli hiilidioksidin talteenottoon biomassaa käyttävien energia-, biojaloste- ja metsäteollisuusprosessien savukaasuista (l. bio-CCS). Bioenergiaan kytkettyyn CCS-teknologiaan liittyvä avoin erityiskysymys on se, laskettaisiinko talteen otettu ja varastoitu CO₂ negatiivisena päästönä (poistumana) vastoin nykyisiä kansainvälisiä laskentasääntöjä ja kohdennettaisiinko negatiivinen päästö talteen ottavan vai loppusijoittavan maan kasvihuonekaasujen tilinpitoon.

Kaikissa vähäpäästöskenaarioissa metsäbioenergian käyttö kasvaa nykyisestä 40–80 % vuoteen 2050 mennessä vuoden 2015 tasosta. Tämä tarkoittaa sitä, että metsäbiomassan poltosta syntyvät hiilidioksidipäästöt nousevat vastaavasti, jos hiilidioksidia ei oteta talteen ja varastoida CCS-teknologian avulla. Erityisenä riskinä tällaisten kehityskulkujen toteutumiselle voidaan nähdä puun poltolle tai laajemmin bioenergialle mahdollisesti käyttöön otettava CO₂-päästökerroin tai tiukentuvat tavoitteet maankäyttösektorille ja muut biomassan käyttöön liittyvät rajoitteet, kuten kilpailu biomassan materiaalikäytön kanssa, raaka-aineiden kestävä saatavuus ja käytön hyväksyttävyys.

Näitä edellä mainittuja keskeisiä elementtejä tarkasteltiin PITKO-skenaarioissa, jotta riskin suuruutta pystyttiin paremmin arvioimaan. Seuraavassa käydään läpi työpajaprosessin tuottamia riskiarviota skenaarioittain niiden päästövähennyksen toteutumiseen liittyvien keskeisten elementtien näkökulmasta.

Säästö-skenaariossa CCS-teknologian rooli on suurin, ja teknologian hyödyntämisen toteutuminen esitetyllä tavalla nousikin työpajan osallistujien piirissä esiin riskinä. CCS-teknologian kaupallistumiseen liittyy merkittävää epävarmuutta, ja erillisenä nostettiin esiin hiilidioksidin varastoinnin toteuttaminen¹⁶¹. Säästö-skenaariossa oli myös suurin biomassan käyttö paitsi teollisuudessa myös liikenteen biojalosteiden tuotannossa. Biomassan käyttöön ja biopoltto-aineisiin liittyvät kysymykset, kuten raaka-aineiden saatavuus, nieluvaikutukset ja luonnon monimuotoisuudelle aiheutuvat uhat nousivatkin myös esiin kommentoissa. Lisäksi Säästö-skenaariossa bio-CCS:n rooli korostui, mikä nähtiin merkittävänä riskinä erityisesti Säästö-skenaarion osalta.

Ydinvoiman hyväksyttävyys nähtiin myös Säästö-skenaarion energiateknologiavalintoihin liittyvänä riskinä. Eräässä kommentissa Säästö-skenaario nähtiin tietynlaisena nykyisen kehityksen jatkeena, jolloin polkuriippuvuus, lukkiutuminen nykyiseen teolliseen rakenteeseen ja tukiin nähtiin tietynlaisena riskinä kehitykselle. Tässä kehityskulussa älyteknologian käyttöön-otto ei välttämättä realisoidu, ja uhkana voi olla liian hitaasti toteutuva kehitys päästötavoitteen saavuttamiseksi. Säästö-skenaarion yleinen lähtöajatus vahvasta omavaraisuudesta, mutta myös samaan aikaan toteutuvasta raskaan vientiteollisuuden volyymin kasvusta, nähtiin jos-sain määrin epäuskottavana.

Muutos-skenaariossa oletetaan voimakas aurinko- ja tuulivoimateknologioiden sekä energian varastoinnin kehittyminen. Näihin oletuksiin liittyy merkittäviä riskejä, esimerkiksi siitä näkökulmasta, edellyttääkö kehitys merkittävästi tukia, mikä vaikeuttaa skenaarion toteutettavuutta. Toisaalta tuulivoimateknologian kannattavuus näyttää lähivuosina kehittyvän jopa oletettua nopeammin. Monet työpajoissa esitetyistä riskeistä liittyivät vaihtelevan aurinko- ja tuulivoimatuotannon tuomiin haasteisiin, esim. sähkötehon pulatilanteisiin varautumiseen ja energian toimitusvarmuuteen. Skenaariossa oletettu arvopohjan muutos on epävarma, eivätkä yritykset tai kuluttajat välttämättä sitoudu muutokseen oletetulla tavalla ja nopeudella. Tätä riskin mahdollisuutta tukee myös luvussa 8 esitetty kyselyn tulos, jonka mukaan päästöjen edelleen vähentämisessä henkilökohtaisilla ratkaisuilla ei ole odotettavissa suurta kehitysharppausta seuraavan viiden vuoden aikana. Toisaalta työpajakeskusteluissa tuli myös esille näkökulma, että suomalainen yhteiskunta on jo Muutos-skenaarion mukaisessa kehityskulussa.

Jatkuva kasvu -skenaarion osalta työpajoissa esiin tulleista energiantuotantoteknologioihin liittyvistä riskeistä korostuivat Muutos-skenaarion tapaan vaihtelevaan tuotantoon ja varastointiin liittyvät epävarmuudet. Voimakkaasti sähköautoihin tukeutuvana skenaariona sähköautojen elinkaaripäästöihin ja akkujen kriittisiin raaka-aineisiin liittyvät kysymykset nostettiin esiin erityisinä tekijöinä, mukaan lukien kaivostointaan liittyvät riskit. Digitalisoituvaa kehitystä varjostavat työpajojen tulosten valossa merkittävästi myös kyberturvallisuusriskit. Jatkuva kasvu -skenaarion osalta kannattaa myös huomata, että PITKO-skenaarioista tämä oli ainoa, jossa CCS ei toteutunut lainkaan. Näin ollen päästötavoitteen saavuttamiseen ja siihen liittyviin kustannuksiin liittyy merkittävät riskit, mikäli kalleimpia päästövähennystoimia ei voi kompensoida hiilinieluilla tai ostamalla päästöoikeuksia.

¹⁶¹ Hiilidioksidin varastoinnilla CCS:n yhteydessä tarkoitetaan sen pysyvää ns. loppusijoitusta maanalaisiin geologisiin muodostelmiin, kuten vanhoihin öljy- ja kaasulähteisiin tai suolavesikerrostumiin. Suomessa ei ole hiilidioksidin varastointiin soveltuvia geologisia muodostelmia, joten se täytyisi kuljettaa Suomen rajojen ulkopuolelle.

Pysähdys-skenaario edustaa lähtökohtaisesti ei-toivottua kehityskulkua, joten riskien käsittelyä samalla tavalla kuin muissa skenaarioissa siitä näkökulmasta, mikä voisi estää skenaarion toteutumisen, ei pidetty relevanttina. Kuitenkin voidaan nähdä, että oletetuissa olosuhteissa myös Pysähdys-skenaarioon liittyy elementtejä, jotka vievät kehitystä suotuisampaan suuntaan kuin ilman niiden toteutumista. Riskejä liittyy esimerkiksi ydinvoiman ja bioenergian käytön hyväksyttävyyteen sekä CCS:n toteutumiseen. Riskinä on myös vähäpäästöisen teknologian käyttöönoton hitaus ja muihin skenaarioihin verrattuna korkeammat kustannukset.

10.2. Toimenpide-ehdotukset ja keskeisimmät toimijat

Työpajassa 2 osallistujille jaettiin edellisessä työpajassa tuotettujen skenaarioiden sisältöjä kuvaava yhteenvedotaulukko, joiden perusteella osallistujat ohjeistettiin ideoimaan toimenpiteitä, joilla päästään päästövähennystavoitteeseen skenaarion reunaehdot huomioiden sekä skenaarion toteutumisen kannalta keskeisiä toimijoita. Tuloksena saatiinkin runsas joukko eri sektoreita koskevia toimenpide-ehdotuksia (ks. Taulukko 1). Työpajassa 3 osallistujat ohjeistettiin priorisoimaan keskeisimpiä keinoja, ja kutakin skenaariota käsitteli kaksi rinnakkaista ryhmää. Näiden tulosten pohjalta seuraavassa on esitetty tiivistelmä keskeisimmistä toimenpide-ehdotuksista ja toimijoista. On syytä korostaa, että tulokset eivät edusta eksplisiittisiä arviota skenaarioiden toteutumiseen tarvittavista toimenpiteistä, vaan ne tulee nähdä suuntaa-antavina asiantuntija-arvioina ja mallilaskelmien tuloksia täydentävinä ajatuksina.

Säästö-skenaarion ehdotetuissa toimenpiteissä korostuivat kansallisen ohjauksen (metsäpolitiikka, energiapolitiikka, liikennepolitiikka) toimenpiteiden tärkeys skenaarion toteuttamisessa, jolloin myös valtion rooli toimijana nähtiin merkittävänä. Ydinvoiman lisääminen edellyttää kansallista päätöstä, ja skenaarioissa korostuvan biomassapohjaisen energian lisääntyminen saattaa edellyttää tukien säilymistä. T&K -panostusten nähtiin tarpeelliseksi kohdistua CCS-teknologian kehittämiseen ja energiatehokkuuteen. CCS-teknologian kehittämisessä olennaisena kansainvälisenä toimenpiteenä nähtiin kannusteen kehittäminen päästökauppajärjestelmään (ETS). "Loppusijoitustoimijat" ja kv. sopimukset ovat merkittävässä roolissa, ja lisäksi tarvitaan tieteellisiä arvioita ja laskentasaäntöjä, joihin voidaan paneutua mm. Hallitustenvälisessä ilmastomuutospaneelissa (IPCC). Liikenteessä keskeiset ehdotetut keinot liittyvät päästöperusteiseen verotukseen, jakeluvelvoitteeseen ja liikennesuoritteiden verottamiseen. Asumisen osalta merkittävä toimenpide on tilojen yhteiskäytön edistäminen osana yhteisöllisyyttä ja siihen liittyvä norminpurku. Erilaiset kiertotalouden edistämistoimenpiteet nähtiin mahdolliseksi erilaisilla veroratkaisuilla, esimerkkinä hukkalämpöjen hyödyntäminen ja neitseellisten luonnonvarojen verotus. Verotuksen lisäksi myös informaatio-ohjauksella nähtiin keskeinen roolinsa (kasvisruokailu, kuluttaminen). Toisaalta vero-ohjaus herätti laajalti ristiriitaisia näkökulmia, eli esitettiin myös kritiikkiä vero-ohjauksen lisäämisen hyväksyttävyydestä.

Muutos-skenaarion keskeisimmiksi ehdotetut toimenpiteet jaoteltiin neljään kokonaisuuteen (1) T&K&I-toimintaan (esim. T&K -panosten nosto 4 %:iin BKT:stä); (2) uusiutuviin energia-teknologioihin liittyviin toimenpiteisiin (esim. varastoinnin ratkaisuihin panostaminen, datakeskusten lisääntyminen, sähköveron laskeminen, investointituet uusiutuviin), (3) Palveluiden ja digitalisaation edistämiseen (esim. inventaari säädöksistä, jotka liittyvät palveluiden lisääntymiseen ml. alustatalous) ja (4) Osaamisen ja koulutuksen edistämiseen yli hallituskausien ulottuvalla työllä.

Jatkuva kasvu -skenaarion keskeisimmiksi esitetyissä toimenpiteissä korostuivat yleisesti T&K-toiminta, aurinko- ja tuulienergiainvestoinnit ja näiden edellytykset (edistäminen, hyväksyttävyys, kokeilut, käyttöönoton esteiden selvittäminen, vaihtelevan tuotannon hallitseminen)

sekä liikenteen kehitys. Liikenteen toimenpide-ehdotukset keskittyvät liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien, erityisesti sähkön, edistämiseen ja samanaikaiseen panostukseen julkisen liikenteen kehittämiseksi. Molemmat aihetta käsitelleet ryhmät esittivät, että autoilun veron kokonaisuudistus on keskeinen Jatkuva kasvu -skenaarion toteutumisen vaatima toimenpide. Liikenteen sähköistyminen vaatii jakeluverkoston ja sähköjärjestelmien kehittämistä. Pidemmällä aikavälillä sähköistymisen edettyä myös sähkön verotuksen uudistaminen on ehdotettujen toimenpiteiden joukossa.

Vaikka laadullisesti kuvailtujen toimenpidekokonaisuuksien keskinäinen vertailu on jossain määrin tulkinnanvaraista, on havaittavissa, että verotus ja taloudelliset ohjauskeinot, mukaan lukien hiilen hinnoittelu, ovat varsin laajasti ehdotettujen toimenpiteiden joukossa eri sektoreilla. Veroreformien toteuttamisessa on taas omat riskinsä, kuten oikeudenmukaisuus- ja hyväksyttävyysskysymykset ja poliittinen toteutettavuus. Toimijoista valtion rooli on kenties korostunein Säästö-skenaariossa, kun taas Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioissa korostuvat enemmän teknologinen murros, norminpurku ja kokeilut. Lisäksi esitetyt arvomuutokset viittaavat enemmän kuluttajien ja yritysten suuntaan, jolloin muutos toteutuisi enenemässä määrin markkinaehtoisesti kuin poliittisella ohjauksella ja regulaatiolla.

11. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tiina Koljonen, VTT, Sampo Soimakallio, Mikael Hildén, SYKE

Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (PITKO) -hankkeen analyysit perustuivat sekä laadullisiin että laskennallisiin arvioihin Suomen mahdollisuuksista saavuttaa vähäpäästötavoite vuoteen 2050 mennessä. EU:n linjaukset ja ilmastolaki Suomessa edellyttävät, että kasvihuonekaasu (KHK) -päästöjen tulee vähentyä minimissään 80 % vuoden 1990 päästöihin verrattuna. Pariisin ilmastosopimuksen mukaisesti ilmaston lämpeneminen tulisi rajoittaa selvästi alle kahden celsiusasteen ja lähtökohtaisesti tavoitella maksimissaan 1,5 celsiusasteen lämpötilan nousua esiteolliseen aikaan verrattuna. Tämä edellyttää yllä mainittua suurempaa päästöjen vähentämistä teollisuusmaissa vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta. PITKO-hankkeen keskeinen tavoite oli arvioida, mikä on Suomelle sopiva päästövähennystavoite vuodelle 2050 ja mitkä ovat keskeiset toimialakohtaiset etenemisvaihtoehdot tavoitteen saavuttamiseksi. Tätä varten biotalouden ja puhtaiden ratkaisujen ministerityöryhmä asetti syyskuussa 2018 PITKO-hankkeen laskelmien lähtökohdaksi, että Suomi vähentää vuoteen 2050 mennessä kasvihuonekaasupäästöjään 85–90 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. LULUCF-sektorille ei sen sijaan asetettu laskelmissa erillistä tavoitetta, vaan lähtökohdaksi otettiin arvioida kokonaispäästökehitys laskelmien tuloksena.

Suomen hiilineutraalisuustavoite on saavutettavissa ennen vuotta 2050

PITKO-hankkeen keskeinen johtopäätös on, että Suomi voi saavuttaa hiilineutraalisuustavoitteen vuoden 2040 tienoilla tai jopa aiemmin, mikäli KHK-päästöt vähenevät ja hiilinielut kehittyvät tarkastelluissa skenaarioissa oletetulla tavalla. Tavoitteen saavuttamiseksi Suomen on ensisijaisesti panostettava nopeaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen kaikilla päästösektoreilla. Lisäksi tarvitaan keinoja, joilla hiilidioksidia poistetaan ilmakehästä. Metsien hiilinielujen kasvattaminen on tässä tärkeässä roolissa. Bioenergian käytön yhteydessä toteutettava hiilidioksidin talteenotto ja varastointi voi nousta tulevaisuuden keinoksi.

Suomella on merkittävät metsäluonnonvarat. Metsäraaka-aineella on perinteisten käyttökohteiden lisäksi kehitteillä useita uusia käyttökohteita esimerkiksi muovin ja muiden ympäristölle haitallisten tuotteiden korvaajana. Toisaalta hakkuiden lisääminen pienentää metsien hiilinielua. Metsänielujen kokoon vaikuttaa hakkuumäärien lisäksi voimakkaasti se, miten puuston kasvu ja maaperän hiilitaseet kehittyvät. Mikäli hiilinielujen kasvu kääntyy laskuun metsäraaka-aineen käytön lisääntymisen tai esimerkiksi ilmastonmuutoksen aiheuttamien puuston kasvua rajoittavien tekijöiden voimistumisen tai metsätuhojen vuoksi, muodostuu hiilineutraaliuden saavuttamisesta hankalampaa. Tulokset osoittavat, että ilman 85–90 %:n KHK-päästöjen vähentämistä on epävarmaa, voiko Suomi saavuttaa hiilineutraaliuden edes vuonna 2050. Pitkän aikavälin päästökehitykseen liittyy kaiken kaikkiaan merkittäviä epävarmuustekijöitä, joita on arvioitu laskennallisten ja laadullisten skenaarioanalyysien avulla.

On useita mahdollisia polkuja edetä kohti hiilineutraalisuutta

Suomi voi valita monen eri polun välillä, joka johtaa tavoiteltuun hiilineutraalisuuteen ennen vuotta 2050. Toisaalta globaali ja EU:n kehitys myös vaikuttavat toimintaympäristöön, joka tulee huomioida valinnoissa. Vaihtoehtojen havainnollistamiseksi luotiin neljä vähäpäästöpol-

kua, joille annettiin nimet Jatkuva kasvu, Muutos, Säästö ja Pysähdys. Lisäksi laadittiin vuoteen 2050 ulottuva vertailu- eli referenssiskenaario WEM (With Existing Measures), joka noudatti energia- ja ilmastostrategian sekä KAISU:n WEM-skenaarioiden lähtökohtia vuoteen 2030 asti. WEM:n rinnalle luotiin myös vähäpäästöskenaario nimeltään EU-80%, joka toteuttaa energia- ja ilmastostrategian sekä KAISU:n vuoteen 2030 ulottuvat linjaukset ja toimet ja lisäksi vuoteen 2050 mennessä 87,5 %:n vähäpäästötavoitteen Suomessa. Kaikissa vähäpäästöpoluissa EU:n tavoitteeksi asetettiin 40 %:n KHK-päästövähennys vuonna 2030 ja 80 %:n vähennys vuonna 2050 (verrattuna vuoden 1990 päästöihin).

PITKO-skenaarioiden (eli Jatkuva kasvu, Muutos, Säästö ja Pysähdys) polkujen elementit ja niin sanotut "tarinat" tuotettiin työpajoissa. Lähtökohdaksi otettiin pääministeri Kataisen hallituskautena toteutetun Low Carbon Finland 2050 -platform-hankkeessa muodostetut neljä vaihtoehtoista vähähiiliskenaariota. Keskeinen huomio oli, että vaikka Low Carbon Finland ja PITKO -tarinoiden reunaehdot olivat samat, PITKO-työpajojen tuloksena muodostettujen skenaarioiden sisällöt ja keskeiset elementit poikkesivat edellisen hankkeen aikana rakennettujen tarinoiden sisällöistä. PITKO-tarinoissa korostuivat uusina keskeisinä elementteinä erityisesti kiertotalous sekä käyttäytymisen muutos liittyen ruokavalioon, liikkumiseen ja yleisesti kuluttamiseen. Digitalisaatio sekä uuden teknologian kehitys ja nopeutettu käyttöönotto olivat mukana keskeisinä elementteinä molemmissa tarkasteluissa. Luottamus hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin (CCS), mukaan lukien biomassan käyttöön liittyvä bio-CCS, jolla voidaan poistaa hiilidioksidia ilmakehästä (eli tuottaa ns. nettonegatiivisia päästöjä), oli kuitenkin hiipunut edellisestä hankkeesta. Työpajaosallistujien keskuudessa vallitsi aiempaa voimakkaampi näkemys, ettei Suomi ylipäänsä tarvitse CCS:ää vähäpäästöisyystavoitteensa saavuttamiseksi. Tässä yhteydessä kannattaa huomata, että PITKO-skenaarioiden sisällöt luotiin ennen kuin IPCC:n 1,5 asteen raportti julkaistiin. IPCC:n skenaarioissa bio-CCS on nostettu yhdeksi mahdollisuudeksi saavuttaa 1,5 asteen hiilintätavoite. On kuitenkin vaikea arvioida, mikä vaikutus IPCC:n analyyseillä olisi ollut asenteisiin CCS:n tarpeellisuudesta.

Mallitarkastelut antavat määrällisiä arvioita polkujen välisistä eroista

PITKO-hankkeen laskennalliset arviot laadittiin TIMES-VTT-energiajärjestelmämallin ja FINAGE-kansantaloudenmallin avulla. Lähtökohtaisesti kullekin PITKO-skenaariolle luotiin numeerinen lähtöaineisto, jonka avulla voitiin analysoida polkujen energia- ja KHK-päästötaseita sekä vaikutuksia luonnonvarojen käyttöön, investointeihin ja laajemmin koko energia- ja kansantalouteen. WEM-skenaariossa KHK-päästöt vähenevät 2050 mennessä 63 % vuoteen 1990 verrattuna. Syynä päästöjen merkittävään laskuun WEM-skenaariossa on EU:n komission perusoletukset päästöoikeuden hinnasta, joka nousee tasolle 90 €/ CO₂ vuonna 2050. EU-80%-skenaariossa 87,5 %:n vähimmäistavoite saavutetaan skenaariossa huomattavalta osin bio-CCS:n tuottamien noin 10 miljoonan tonnin suuruisten negatiivisten päästöjen tuella. Bruttopäästöissä (ilman negatiivista päästökompensaatiota) vähennys on tässä skenaariossa noin 75 % vuonna 2050 vuoteen 1990 verrattuna.

Kaikkien skenaarioiden näkökulmasta nousi esille kaksi keskeistä epävarmuustekijää, eli edellä mainittu hiilidioksidin talteenotto ja varastointi sekä lisäksi biomassan käytön lisäämiseen liittyvät näkökulmat. Näiden keskeisten tekijöiden vaikutuksia Suomen vähäpäästötavoitteen saavuttamiseksi varioitiin eri skenaarioissa. Lisäksi keskeinen oletus liittyi käyttäytymisen ja arvojen muutokseen, mikä näkyy erityisesti oletuksina koskien ruokavaliomuutoksia.

Jatkuvan kasvun skenaariossa oletettiin, että CCS osoittautuu joko teknis-taloudellisesti tai hyväksyttävyyteen liittyvien esteiden takia toteuttamiskelvottomaksi Suomessa. Säästö-skenaariossa oletettiin sen sijaan CCS:n ja erityisesti myös bio-CCS:n olevan laajasti käytettä-

vissä. Muutos- ja Pysähdys-skenaarioissa CCS oletettiin olevan rajoitetusti käytössä. Vastavasti biomassan käytön laajuutta (ml. uudet korkean jalostusasteen tuotteet sekä kestävät biojalosteet) varioitiin siten, että Säästö-skenaariossa oletettiin merkittävät panostukset bio- ja kiertotalouteen, ja suurin metsäbiomassan ja muun biomassan käyttö oletettiin Säästö-skenaariossa. Muutos-skenaariossa oletettiin radikaali käyttäytymisen muutos, joka johti kaikkien teollisten tuotteiden, ml. metsäteollisuuden tuotteiden, merkittävään tuotantovolyymien alenemiseen. Toisaalta lähtökohtana Muutos-skenaariossa oli, että korkeamman jalostusasteen myötä teollisen tuotannon arvo ei laske. Muutos-skenaariossa oletettiin myös merkittävin käyttäytymisen muutos paitsi ruokavalion, myös liikkumisen ja asumisen suhteen sekä koko elinkeinorakenteen radikaali palveluvaltaistuminen.

PITKO-hankkeen laskelmien mukaan CCS:n puuttuminen keinovalikoimasta johtaa Jatkuvan kasvun skenaariossa erittäin tiukkoihin päästönvähennystoimiin kaikilla sektoreilla, mukaan lukien maataloudessa ja teollisuusprosesseissa, joissa päästöjen voimakas vähentäminen on teknis-taloudellisten arvioiden mukaan vaikeinta. Jatkuvan kasvun skenaariossa polttoaineiden polton päästöjä kyetään tulosten mukaan kustannustehokkaasti vähentämään noin 95 % ja teollisuusprosessien päästöjä 79 % vuoteen 2010 verrattuna, mutta myös maatalouden päästöjä joudutaan vähentämään merkittävästi, noin 50 %, jotta asetettu 87,5 % päästövähennystavoite saavutetaan. PITKO-hankkeelle rinnakkaisen Luonnonvarakeskuksen MA-LULU-hankkeen arvioiden mukaan maatalouden päästövähennys vuoteen 2050 mennessä olisi noin 18 % vuoden 2016 päästöihin verrattuna (l. 30 % 1990 päästöihin verrattuna) ilman ruokavaliomuutoksia, joten merkittävä osa maatalouden päästöjen vähennyksestä Jatkuva kasvu -skenaariossa johtuu oletetusta karjatalouden vähenemisestä. Säästö-skenaariossa CCS-tekniikan käyttö bioenergian tuotannossa johtaa puolestaan negatiivisiin polttoaineiden polton päästöihin vuonna 2050, jolloin erityisesti maatalouden päästöihin voidaan kohdistaa lievempiä toimia.

Energian kokonaiskulutus eli primaarienergian kulutus ja sen jakautuminen eri energialähteisiin on kasvihuonekaasupäästöjen kannalta keskeistä, sillä polttoaineperäiset päästöt ovat nykyisin noin 75 % kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä (LULUCF-sektori pois lukien). Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee kaikissa skenaarioissa merkittävästi jo vuoteen 2030 mennessä, jolloin uusiutuvan energian kokonaismäärä nousee vuoteen 2030 mennessä 60–70 % vuoden 2010 tasosta ja vuoteen 2050 mennessä vastaava lisäys on 100–130 %. Uusiutuvien energialähteiden lisäksi tuotetaan osa sähköstä kaikissa vähäpäästöskenaarioissa ydinvoimalla ja Jatkuva kasvu -skenaariossa myös osa yhdyskuntien lämpöenergiasta. Puuperäiset polttoaineet, mukaan lukien metsäteollisuuden sivuvirrat, ovat kaikissa skenaarioissa tärkein uusiutuvan energian lähde. PITKO-skenaarioissa 45–56 % uusiutuvasta primaarienergiasta oli puuperäisistä raaka-aineista vuonna 2050, vaikka suurin kasvu tapahtuikin tuuli- ja aurinkoenergian sekä lämpöpumppujen käytössä. Tulosten mukaan sähkön kokonaiskulutus nousee vuonna 2030 WEM-skenaariossa 94 TWh:iin ja vähäpäästöskenaarioissa käytännössä samalle tasolle, 90–92 TWh:iin.

Hiilineutraalius on saavutettavissa ilman suuria kansantaloudellisia uhrauksia

PITKO-skenaarioille laaditut kansantalouden vaikutusarviot FINAGE-kansantalousmallin avulla tuovat selvästi esille sen, että vähäpäästöisyystavoitteen saavuttaminen aiheuttaa vain pieniä vaikutuksia kansantalouteen suhteessa perus-, eli WEM-skenaarioon. Kun vakiodaan talouden yleiset ajurit, kansantuote kasvaa kaikissa skenaarioissa yli 120 % vuoden 2017 tasosta. Alhaisin kasvu saavutetaan Pysähdys-skenaariossa, jossa lähtökohtana oli globaali epävakaus ja hidastunut talouskasvu. Missään skenaariossa ei kuitenkaan oletettu, että maailmantalous romahtaa esimerkiksi ilmastonmuutoksen vuoksi. Skenaarioiden erot syntyvät

teknologian ja tuotannon eroista. Muun talouden osalta ei tehty skenaarioissa toisistaan poikkeavia oletuksia. Koska tarvittavat investoinnit, ohjaustoimet ja muut muutokset liittyen energiantuotantoon ja -käyttöön sekä päästöjen vähentämiseen eivät dominoi koko kansantaloutta, erot skenaarioiden välillä jäivät lopulta suhteellisen pieniksi. Vaikka skenaarioissa tehdään hyvinkin erilaisia valintoja teknologian ja päästöjen rajoittamisen osalta, valinnat välittyvät avaintoimialoilta muuhun talouteen maltillisesti, eikä missään skenaariossa ole kyse Suomen talouskasvun ja hyvinvointivaltion edellytysten vaarantumisesta. Kasvu kuitenkin suuntautuu hieman eri tavoin eri skenaarioissa. Teknologinen kehitys ja sen myötä kokonaistuotavuuden kasvu ovat tulevaisuudessakin keskeisellä sijalla. Uuden teknologian käyttöönotto vaatii kuitenkin entistä suurempia investointeja ja tämä näkyy pääoman kasvuvaihtelun kasvuna WEM-skenaarioon verrattuna. Päästötavoitteiden kiristyminen puolestaan näkyy taloudellisen ohjauksen, eli välillisten verojen, kasvukontribuution hyvinkin selvänä kasvuna.

Energiajärjestelmän sähköistyminen ja energian käytön tehostuminen vähäpäästöisyyden edellytyksenä

Vuoden 2030 jälkeen energiajärjestelmän sähköistyminen voimistuu kaikilla sektoreilla ja sähköä aletaan käyttää laajemmassa mitassa myös polttoaineiden valmistukseen (ns. power-to-X-teknologia). Vaihtelevan uusiutuvan energian osuus kasvaa merkittävästi kaikissa skenaarioissa, joka edellyttää laajamittaista kysynnän jouston sekä energiavarastojen, ml. kausivarastot, käyttöönottoa. Vuonna 2050 sähkön kokonaiskulutus on tulosten mukaan 105–122 TWh, jossa on kasvua 11–35% vuodesta 2030. Laaja yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto (CHP) on ollut pitkään yksi Suomen energiajärjestelmän keskeinen tehokkuutta lisäävä tekijä. Luopuminen fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtaa kuitenkin väistämättä yhteistuotannon taloudellisen potentiaalin supistumiseen, jollei kilpailukykyisiä hiilineutraaleja energialähteitä ole riittävästi saatavissa. Tulosten mukaan yhdyskuntien yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto supistuu kaikissa vähäpäästöskenaarioissa 6–8 TWh:iin vuonna 2050. CHP:n supistuminen yhdistettynä kasvavaan vaihtelevan uusiutuvan energian tuotantoon tuo eteen myös kysymyksiä sähkötehon riittävydestä.

Syvien päästönvähennysten toteuttaminen edellyttää huomattavaa energian käytön tehostamista kaikilla energian käyttösektoreilla. Asumisen ja palveluiden energian loppukulutus pienenee vähäpäästöskenaarioissa yli 30 % vuoden 2010 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Liikenteen energiankulutus pienenee 39–67 % vuoden 2010 tasosta ja liikenteessä saavutetaan jopa 99 %:n päästövähennys Jatkuva kasvu -skenaariossa, jossa liikenteen sähköistyminen on suurinta ja henkilöautoista noin 90 % on sähköautoja.

Kotimaisen puuraaka-aineen käyttö eroaa skenaarioiden välillä

Yksi keskeinen kysymys vähähiiliskenaariotarkasteluissa oli kotimaisen puuraaka-aineen käyttö. PITKO-skenaarioissa runkopuun hakkuut nousivat tulosten mukaan vuonna 2030 suurimmillaan noin 82 milj. m³:iin (Säästö), kun metsähakkeen runkopuu-osuudeksi oletettiin suunnilleen nykyinen, noin 50 %. Vuonna 2050 vastaava hakkuukertymä on Säästö-skenaariossa 86 milj. m³. Myös tuontipuun määrä oli suurin Säästö-skenaariossa, yhteensä 14 milj. m³. Keskeistä puunkäytön skenaarioissa ovat oletukset metsäteollisuuden kehityksestä. Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioissa oletettiin metsäteollisuuden rakenteen muuttuvan merkittävästi siten, että teollisessa tuotannossa siirrytään korkean jalostusasteen tuotteisiin ja samalla tuotantovolyymit laskevat.

Skenaarioiden kokonaispäästöarvioissa merkittävää epävarmuutta

Arvio kokonaispäästökehityksestä laadittiin huomioiden paitsi vähäpäästöskenaarioiden kasvihuonekaasupäästöjen kehitys myös vastaavat metsäsektorin ja muun maankäyttösektorin päästöt. Tätä varten arvioitiin yhteenlasketut metsästä korjatun biomassan määrät kaikille skenaarioille. Yhteenlaskettu runkopuun kertymä sekä hakkuutähteiden ja kantojen määrä oli alhaisimmillaan 73 Mm³/a (Muutos) ja suurimmillaan 94 Mm³/a (Säästö) vuonna 2050. Puunkorjuumääriä vastaavat hiilinielut laskettiin hyödyntämällä Luonnonvarakeskuksen MALULU-hankkeen ja Suomen ilmastopaneelin selvityksen tuloksia. Koska hiilinielujen kehitykseen liittyy merkittävää epävarmuutta, PITKO-hankkeessa laadittiin hiilinielujen kehityksille ylä- ja alaraja-arviot. Suurin hiilinielu saatiin Muutos-skenaariossa, jossa päädyttiin 54–109 Mt CO₂ ekv. metsämaan hiilinieluarvioon vuodelle 2050. Pienin metsämaan hiilinielu saatiin Säästö-skenaariolle, jossa se arvioitiin 28–56 Mt CO₂ ekv. tasolle vuonna 2050. Muun maankäyttösektorin päästöt arvioitiin MALULU-hankkeen tulosten avulla samoin kuin puutuotteiden hiilinielu. Näiden tulosten perusteella Säästö-skenaariossa saavutettiin -9 ...+8 Mt CO₂ nettopäästöt (päästöjen ja poistumien erotus) vuonna 2040. Muutos-skenaariossa nettopäästöt olivat selvästi negatiiviset, eli -50 ...-17 Mt CO₂ vuonna 2040. Sen sijaan WEM-skenaariossa, joka ei toteuttanut vähäpäästötavoitetta, päästöt olivat 5–23 Mt CO₂ vuonna 2040 ja -20 ...10Mt CO₂ vuonna 2050.

Skenaariot eroavat toisistaan useiden ympäristövaikutusten suhteen

Ilmastovaikutusten lisäksi vähäpäästöskenaarioiden toteutumisella olisi erilaisia vaikutuksia ympäristöön ja ihmisiin, kuten luonnon monimuotoisuuteen ja vesistöihin, resurssitehokkuuteen ja mineraalivarantojen köyhtymiseen, ilmansaasteisiin sekä ihmisten terveyteen ja elinoloihin. Nämä voivat olla hyvin erilaisia riippuen skenaariosta ja keinoista, joilla tavoiteltu muutos käytännössä toteutettaisiin vallitsevissa olosuhteissa. Koska PITKO-hankkeessa ei tarkasteltu yksityiskohtaisesti ohjauskeinoja, joilla tavoiteltu muutos vallitsevissa olosuhteissa toteutettaisiin, ei myöskään ollut mahdollista arvioida ohjauksen sivuvaikutuksia. Keskeisiä tekijöitä, joihin tulee kiinnittää huomiota, on lukuisia. Erityisen tärkeää olisi tunnistaa ja vahvistaa erilaisia synergiahyötyjä ympäristöön ja ihmisiin kohdistuvien haitallisten vaikutusten minimoimiseksi ja hyödyllisten vaikutusten vahvistamiseksi, jotta muutos voitaisiin toteuttaa hallitusti sekä ekologisesti ja yhteiskunnallisesti toteuttamiskelpoisella ja oikeudenmukaisella tavalla.

Skenaarioissa tavoiteltujen päästövähennysten toteutumiseen liittyy erilaisia teknologisia, ekologisia ja yhteiskunnallisia riskejä. Teknologisista riskeistä keskeisimmät liittyvät uusiutuvien ja tuotannoltaan vaihtelevien energialähteiden laajamittaiseen käyttöönottoon, sähköistymisen ja hiilidioksidin talteenoton kehitykseen sekä energian varastoinnin kehittymiseen. Ekologisista riskeistä keskeisimpiä ovat biomassojen ja maankäytön vaikutukset luonnon monimuotoisuudelle, hiilinieluille ja vesistöille sekä aurinko- ja tuulivoiman, akkujen ja muun infrastruktuurin rakentamisen vaikutukset mineraalivarantoihin ja materiaalien käyttöön. Ydinvoiman käytössä haasteet ovat erityisesti taloudellisia ja pitkän aikavälin turvallisuuteen liittyviä. Myös hiilidioksidin kuljetuksiin ja varastointiin liittyy avoimia teknisiä ja ympäristöllisiä kysymyksiä. Erilaisten toimien hyväksyttävyyteen ja siten toteutettavuuteen vaikuttaa myös ihmisten välisen eriarvoisuuden kehitys.

Kansalaiset pitävät vähäpäästöisyyden saavuttamista tärkeänä

PITKO-hankkeessa toteutetussa kyselytutkimuksessa haluttiin tuottaa yleisesti tietoa siitä, missä kansalaiset kokevat haasteita ja mahdollisuuksia erilaisten vähäpäästöpolkujen toteutuksessa. Kysely toteutettiin siten, että osaa tuloksista voitiin verrata LCFinPlat-hankkeessa vuonna 2014 toteutettuun vastaavaan kyselyyn. Näin saatiin viitteitä siitä, onko kansalaisten suhtautumisessa ilmastonmuutoksen hillintään tapahtunut muutoksia viime vuosien aikana. Tulokset osoittivat, että kansalaiset näkevät ilmastonmuutoksen hillinnän tärkeänä tavoitteena. Näkemykset tästä eivät kyselyn perusteella ole muuttuneet olennaisesti vuodesta 2014. PITKO-hankeen kyselyyn vastaajista 75 % oli täysin tai melko samaa mieltä tavoitteen tärkeydestä (79 % v. 2014). Naiset pitivät asiaa tärkeämpänä kuin miehet ja vanhemmat ikäluokat (yli 70-vuotiaat) hieman tärkeämpänä kuin nuoremmat. Erot ikäryhmien välillä olivat kuitenkin verrattain vähäiset.

Edelläkävijyyttä koskevan kysymyksen tulosten mukaan Suomen tulisi kantaa vastuuta: 65 % vastaajista katsoo, että Suomen pitää jatkaa päästöjen vähentämistä riippumatta muiden maiden teoista. Kuluttajien suosimissa päästövähennyskeinoissa korostuivat yleisesti uuden teknologian kehittäminen ja käyttöönotto (85 % vastaajista vähintään osittain samaa mieltä) ja kulutustottumusten/käyttäytymisen muuttaminen (77 %). Keinoista tuet (53 %), kiellot ja muut rajoitukset (49 %), ja verot (39 %) eivät saavuttaneet yhtä suurta suosiota. Tulokset ovat samansuuntaisia vuoden 2014 kyselyn kanssa.

Kyselyn tulosten perusteella noin 70 % vastaajista on oman ilmoituksensa mukaan tehnyt vähintään jotain toimia päästöjen vähentämiseksi. Tulosten mukaan päästöjen edelleen vähentäminen henkilökohtaisilla ratkaisuilla vaikuttaa todennäköiseltä, mutta suurta kehitysharppausta ei ole odotettavissa seuraavan viiden vuoden aikana. Esimerkiksi liikkumiseen liittyvissä vastauksissa ilmeni, että lähes puolet autoilijoista ei katso voivansa vähentää auton käyttöä ja ainoastaan 8 % saattaa luopua autostaan.

Vahvan ohjauksen kehittäminen edellyttää syvällisiä yhdennettyjä tarkasteluja

Vähäpäästöisyystavoitteen saavuttaminen edellyttää, että ohjauksella ja poliittisilla päätöksillä tehdään valintoja, jotka ohjaavat halutulle kehitysuralle. Lisäksi on tärkeää tunnistaa paitsi tärkeät toimenpiteet ja toimijat, myös riskit. Kaikkien skenaarioiden näkökulmasta nousi esille kaksi keskeistä riskiä, jotka olivat hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin sekä biomassan käytön lisäämiseen liittyvät riskit. Lisäksi merkittävä riski (ja toisaalta myös mahdollisuus) liittyy negatiivisiin päästöihin, eli hiilidioksidin talteenottoon biomassaa käyttävien energia-, biojaloste- ja metsäteollisuusprosessien savukaasuista (l. bio-CCS).

Asiantuntijatyöpajoissa korostettiin panostusta tutkimukseen ja uuden teknologian kehitykseen, jotka samalla ovat keinoja vähentää riskejä ja luoda mahdollisuuksia. Lisäksi verotus ja taloudelliset ohjauskeinot, mukaan lukien hiilen hinnoittelu, olivat varsin laajasti ehdotettujen toimenpiteiden joukossa eri sektoreilla. Verouudistusten toteuttamisessa on omat riskinsä, kuten oikeudenmukaisuus- ja hyväksyttävyyssuhteet ja poliittinen toteutettavuus. Toimijoista valtion rooli korostui tietyissä poluissa (l. Säästö ja Pysähdys), kun taas toisissa korostuvat enemmän teknologinen murros, norminpurku ja kokeilut (erityisesti Jatkuva kasvu ja Muutos). Jälkimmäisissä tapauksissa esitetyt arvomuutokset viittaavat erityisesti kuluttajien ja yritysten suuntaan, jolloin muutoksen oletetaan toteutuvan enenemässä määrin markkinanähtöisesti. Poliittisen ohjauksen ja sääntelyn muodot eroavat siten skenaarioiden välillä.

PITKO-hankkeen toteutuksen aikana nousi esille useita kysymyksiä, joihin ei pystytty aika-
taulun ja resurssien puitteissa syventymään. Keskeistä olisi panostaa erityisesti päästösektoreiden integroituihin tarkasteluihin, joita PITKO- ja MALULU-hankkeiden puitteissa pystyttiin ainoastaan vähäisessä määrin toteuttamaan. Toisaalta kaikkien päästösektorien osalta tarvitaan syvällisempää tarkastelua. Erityisesti teollisuussektori ja siihen liittyvät innovaatiot on tarkasteltu PITKO-työssä vain pintapuolisesti, vaikka nimenomaan teollisuuden päästöjen vähentäminen tulee olemaan yksi keskeinen haaste siirryttäessä vähäpäästöiseen yhteiskuntaan.

Ohjaustoimia tarkasteltiin PITKO-hankkeessa lähinnä laadullisesti. Ohjaustoimien tarkempi suunnittelu edellyttää laadullisten tarkasteluiden täydentämistä yksityiskohtaisemmillä laskennallisilla analyyseillä, joita ei PITKO:ssa voitu tehdä. Lisäksi tulisi tarkastella laajemmin niitä epävarmuuksia, jotka liittyvät EU:n ja globaaliin kehitykseen teknologian, talouden ja sääntelyn osalta.

Globaali 1,5 asteen hillintätavoite edellyttää ennen kaikkea teollisuusmailta todennäköisesti nettonegatiivisten KHK-päästöjen saavuttamista ennen vuotta 2050. Keskeistä kansallisten tavoitteiden asetannalle tai niiden riittävyyden arvioinnille on globaali ja EU-tason neuvotteluissa saavutettava oikeudenmukainen taakanjako sekä päästöjen että nielujen suhteen. Eri-tyisen keskeisiä mutta haastavia tulevat olemaan kansainväliset linjaukset siitä, kenen vastuulla ja millä keinoilla hiiltä sitovia nieluja tulee vahvistaa. Myös nielujen turvaamiseksi on kehitettävä toimivaa ohjausta.

PITKO-hankkeessa ei lähtökohtaisesti tarkasteltu päästöuria, jotka vastaavat 1,5 asteen globaalia hillintää, vaan tarkastelut perustuivat ministerityöryhmän linjaukseen, jonka mukaan Suomi vähentää vuoteen 2050 mennessä kasvihuonekaasupäästöjään 85–90 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. Tarkastelut eivät pyrkineet selvittämään 1,5 asteen lämpenemistä vastaavaa oikeudenmukaista päästötavoitetta Suomelle. Teollisuusmaille 1,5 asteen päästö-ura edellyttäisi mitä ilmeisimmin kiristettyä ilmastotavoitetta jo vuodelle 2030, mutta PITKO-skenaarioissa lähtökohtana oli, että EU-politiikka edelleen pyrkii 40 %:n KHK-päästöjen vähennykseen vuoteen 2030 mennessä ja 80 %:n vähennykseen vuoteen 2050 mennessä (vuoden 1990 päästöihin verrattuna). Nämä vastaavat pikemminkin 2 asteen hillintätavoitetta, jota EU:n tulisi kiristää, mikäli se haluaa toimia globaalina edelläkävijänä ilmastomuutoksen hillinnässä. EU-tason ja kansallisia 1,5 asteen hillintätavoitteen mukaisia päästöpolkuja tulisi siten tarkastella jäsenmaissa tarkemmin ja laajassa yhteistyössä tutkijoiden, eri alojen toimijoiden sekä poliittisten päättäjien kanssa.

12. LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA

Aakkula, J., Asikainen, A., Kohl, J., Lehtonen, A., Lehtonen, H., Ollila, P., Regina, K., Salinen, O., Sievänen, R. & Tuomainen, T. (2019). Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 20/2019.

Ala-Mantila, S., Heinonen, J. and Junnila, S. (2014). Relationship between urbanization, direct and indirect greenhouse gas emissions, and expenditures: A multivariate analysis. *Ecological Economics*, 104, pp.129-139.

Alanen, E.-L., Hyvönen, T., Lindgren, S., Härmä, O. & Kuussaari, M. (2011). Differential responses of bumblebees and diurnal Lepidoptera to the succession of experimental long-term set-asides. – *Journal of Applied Ecology* 48:1251-1259.

Antikainen, R., Tenhunen, J., Ilomäki, M., Mickwitz, P., Punttila, P., Puustinen, M., Seppälä, J. & Kauppi, L. (2007). Bioenergian uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat: nykytilakatsaus. Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja, 11.

Bouget, C., Lassauce, A. & Jonsell, M. (2012). Effects of fuelwood harvesting on biodiversity — a review focused on the situation in Europe. *Canadian Journal of Forest Research* 42(8), 1421–1432.

Bruckner T., I. A. Bashmakov, Y. Mulugetta, H. Chum, A. de la Vega Navarro, J. Edmonds, A. Faaij, B. Fungtammasan, A. Garg, E. Hertwich, D. Honnery, D. Infield, M. Kainuma, S. Khennas, S. Kim, H. B. Nimir, K. Riahi, N. Strachan, R. Wiser, and X. Zhang (2014). Energy Systems. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Chitnis, M., Sorrell, S., Druckman, A., Firth, S.K. and Jackson, T. (2014). Who rebounds most? Estimating direct and indirect rebound effects for different UK socioeconomic groups. *Ecological Economics*, 106, pp.12-32.

Chum, H., A. Faaij, J. Moreira, G. Berndes, P. Dhamija, H. Dong, B. Gabrielle, A. Goss Eng, W. Lucht, M. Mapako, O. Masera Cerutti, T. McIntyre, T. Minowa, K. Pingoud (2011). Bioenergy. In *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, R. DeFries, J. Gallo-way, M. Heimann, C. Jones, C. Le Quéré, R.B. Myneni, S. Piao and P. Thornton, (2013). Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... & Fargione, J. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *GCB Bioenergy*, 7(5), 916-944.

Czepkiewicz, M., Ottelin, J., Ala-Mantila, S., Heinonen, J., Hasanzadeh, K. and Kyttä, M., (2018a). Urban structural and socioeconomic effects on local, national and international travel patterns and greenhouse gas emissions of young adults. *Journal of Transport Geography*, 68, pp.130-141.

Czepkiewicz, M., Heinonen, J. and Ottelin, J. (2018b). Why do urbanites travel more than do others? A review of associations between urban form and long-distance leisure travel. *Environmental Research Letters*, 13(7), p.073001.

Danish Energy Agency (2018). Data sheet for Electricity and district heat production. Aug 2016. (Update December 2018).

Dator, J. (1981). Judging the future. University of Hawaii.

Depietri Y, Renaud FG, Kallis G. (2012). Heat waves and floods in urban areas: a policy-oriented review of ecosystem services. *Sustainability Science*. 7, 95-107.

Energiateollisuus (2018). Sähköntuotanto ja -käyttö, Sähkönhankinta 2017. https://energia.fi/ajankoh-taista_ja_materiaalipankki/tilastot/sahkotilastot/sahkontuotanto_ja_-kaytto (viitattu 29.12.2018)

European Climate Foundation, Cambridge Econometrics, (2018). Low-carbon cars in Europe: A socio-economic assessment.

EU (2018). Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EU) 2018/1999, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>

Euroopan komissio (2018). Komissio haluaa Euroopasta ilmastoneutraalin vuoteen 2050 mennessä. Lehdistötiedote 28.11.2018. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6543_fi.htm

European Commission (2016). EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf

European Union (2017). Special Eurobarometer 459. Survey requested by the European Commission, Directorate-General for Climate Action and co-ordinated by the Directorate-General for Communication. http://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/S2140_87_1_459_ENG

FINLEX (2015). Ilmastolaki. Edita Publishing Oy. 609/2015 <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>

Fuss, S., Lamb, W.F., Callaghan, M.W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T. and Luderer, G. (2018). Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters*, 13(6), p.063002.

Gill, B. and Moeller, S. (2018). GHG emissions and the rural-urban divide. A carbon footprint analysis based on the German official income and expenditure survey. *Ecological Economics*, 145, pp.160-1

Gode, J. et al. (2010). Potential for carbon capture and storage (CCS) in the Nordic region. Espoo: VTT, 2010. VTT Research Notes 2556.

Godfray, H.C.J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J.W., Key, T.J., Lorimer, J., Pierrehumbert, R.T., Scarborough, P., Springmann, M. and Jebb, S.A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399), p.eaam5324.

Grassi, G., House, J., Kurz, W.A., Cescatti, A., Houghton, R.A., Peters, G.P., Sanz, M.J., Viñas, R.A., Alkama, R., Arneeth, A. and Bondeau, A. (2018). Reconciling global-model estimates and country reporting of anthropogenic forest CO₂ sinks. *Nature Climate Change*, 8(10), pp.914-920.

Gupta, S., D. A. Tirpak, N. Burger, J. Gupta, N. Höhne, A. I. Boncheva, G. M. Kanoan, C. Kolstad, J. A. Kruger, A. Michaelowa, S. Murase, J. Pershing, T. Saijo, A. Sari (2007). Policies, Instruments and Co-operative Arrangements. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Haapalehto ym. (2015). Suoelinympäristöt. Teoksessa: Kotiaho, J.S., Kuusela, S. Nieminen, E., & Päivinen J. (toim.) 2015. Elinympäristöjen tilan edistäminen Suomessa. Suomen ympäristö. 8/2015.

Hartig T, Mitchell R, de Vries S, Frumkin H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35, 207-28.

- Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas, J. and Peltola, H. (2017). Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics*, 80, pp.80-98.
- Heiskanen, A.-S., Hellsten, S., Vehviläinen, B., Putkuri, E., ym. (2017). YMPÄRISTÖN TILA -KATSAUS 1/2017 | 21.3.2017. <http://hdl.handle.net/10138/177569>
- Helldán A, Raulio S, Kosola M, Tapanainen H, Ovaskainen M, Virtanen S. (2013). The national FINDIET 2012 survey. Helsinki: National Institute for Health and Welfare. Report No.: 16.
- Honkatukia, J (2009a): Yleisen tasapainon mallien käyttö työllisyyden kehityksen ennakkoinnissa ja talouspolitiikan vaikutusten analysoinnissa; Työpoliittinen Aikakauskirja 1/2009.
- Honkatukia, J (2009b): VATTAGE – yleisen tasapainon malli Suomen taloudesta; Kansantaloudellinen aikakauskirja 1/2009. <http://www.taloustieteellinenyhdistys.fi/images/stories/kak/kak12009/kak12009honkatukia.pdf>
- Honkatukia, J. & Lehmus, M. (2016). Suomen talous 2015-2030: Laskelmia politiikkatoimien vaikutuksista. VATT tutkimukset 183.
- 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>
- Huhta, E., Helle, P., Nivala, V. and Nikula, A., (2017). The effect of human-modified landscape structure on forest grouse broods in two landscape types. *Ecosphere*, 8(9).
- Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., ... & Eerikäinen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*, 134(3), 415-431.
- IEA (2015). World Energy Statistics and Balances, International Energy Agency, 2015
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- IPCC (2019). Frequently asked questions, Q2-10. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>
- IPCC (2019). Frequently asked questions. Q1-2-11. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>
- IPCC (2018). Global Warming of 1.5 °C. Special Report. The Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Ivanova, D., Vita, G., Wood, R., Lausset, C., Dumitru, A., Krause, K., Macsinga, I. and Hertwich, E.G. (2018). Carbon mitigation in domains of high consumer lock-in. *Global environmental change*, 52, pp.117-130.
- Johansson, V., Felton, A. & Ranius, T. (2016). Long-term landscape scale effects of bioenergy extraction on dead wood-dependent species. *Forest Ecology and Management*, 371, 103–113.
- Juutilainen, K., Mönkkönen, M., Kotiranta, H. and Halme, P. (2017). Resource use of wood-inhabiting fungi in different boreal forest types. *Fungal Ecology*, 27, pp.96-106.
- Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J.-P., Kondelin, H., Lindholm, T., Nousiainen, H., Rehell, S., Ruuhijärvi, R., Sallantausta, T., Salminen, P., Tahvanainen, T., Tuominen, S., Turunen, J., Vasander, H. & Virtanen, K. (2018). Suot. Julk.: Kontula T., Raunio A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 2 : luontotyyppien kuvaukset.

Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5 /2018. S. 321-474.
<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161234>

Kaaronen, R.O. (2017). Affording sustainability: adopting a theory of affordances as a guiding heuristic for environmental policy. *Frontiers in psychology*, 8, p.1974.

Kaila A., Sarkkola S., Laurén A., Ukonmaanaho L., Koivusalo H., Xiao L., O'Driscoll C., Asam Z., Ter-
vahauta A. & Nieminen M. (2014). Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling
and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325: 99–107.

Kallio, M., Salminen, O., Sievänen, R. (2016). Forests in the Finnish low carbon scenarios. *Journal of
Forest Economics* 23, 45-62.

Kalliokoski, T., Heinonen, T., Holder, J., Lehtonen, A., Mäkelä, A., Minunno, F., Packalen, T., Pelto-
niemi, M., Pukkala, T., Salminen, O., Schelnaas, M.-J., Vauhkonen, J., Kanninen, M. (2019). Skenaa-
rioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista. Suomen il-
mastopaneeli (painossa).

Kareksela, S., Moilanen, A., Tuominen, S., & Kotiaho, J. S. (2013). Use of inverse spatial conservation
prioritization to avoid biological diversity loss outside protected areas. *Conservation Biology*, 27(6),
1294-1303.

Kiikkilä, O., Nieminen, T.M., Starr, M., Mäkilä, M., Loukola-Ruskeeniemi, K., Ukonmaanaho, L. (2014).
Leaching of dissolved organic carbon and trace elements after stem-only and whole-tree clear-cut on
boreal peatland. *Water, Air & Soil Pollution*. 255, 1–11.

Kivimaa, P. & Virkamäki, V. (2014). Policy mixes, policy interplay and low carbon transitions: the case
of passenger transport in Finland. *Environmental Policy and Governance*, 24(1), pp.28-41.

Koistinen, A., Liiro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) 2016. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuu-
seen, työopas. Tapon julkaisuja

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

Koljonen T & Lehtilä, A (2015). Modelling Pathways to a Low Carbon Economy for Finland. In: Gian-
nakidis G et al (eds) *Informing Energy and Climate Policies Using Energy Systems Models*, Lecture
Notes in Energy, vol. 30. Springer, Cham.

Koljonen T, Soimakallio S, Asikainen A, Lanki T, Anttila P, Hildén M, Honkatukia J, Karvosenoja N,
Lehtilä A, Lehtonen H, Lindroos T J, Regina K, Salminen O, Savolahti M, Siljander R, Tiittanen P
(2017). Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja
tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017 [http://vnk.fi/documents/10616/3866814/21_Energia-+ja-il-
mastostrategian+vaikutusarviot+Yhteenvetoraportti/40df1f5f-c99c-47d1-a929-a4c825f71547?ver-
sion=1.0](http://vnk.fi/documents/10616/3866814/21_Energia-+ja-il-
mastostrategian+vaikutusarviot+Yhteenvetoraportti/40df1f5f-c99c-47d1-a929-a4c825f71547?ver-
sion=1.0)

Koljonen T, Soimakallio S, Ollikainen M, Lanki T, Asikainen A, Ekholm T, Hildén M, Honkatukia J, Leh-
tilä A, Saarinen M, Seppälä J, Similä L, Tiittanen P (2017). Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan
suunnitelman vaikutusarviot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 57/2017.
[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80284/57_Keskipitkan%20aikavälin%20il-
mastopolitiikan%20suunnitelman%20vaikutusarviot.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80284/57_Keskipitkan%20aikavälin%20il-
mastopolitiikan%20suunnitelman%20vaikutusarviot.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Koljonen, T. & Similä, L. (eds.) (2012). Low carbon Finland 2050. VTT clean energy technology strate-
gies for society, VTT Visions; 2. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2012/V2.pdf>

Koljonen, T., Similä, L., Lehtilä, A. et al. (2014). Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen
kiintopisteet ja virstanpylväät. Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä. VTT TECHNO-
LOGY 167. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T167.pdf>

Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) (2018). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien
punainen kirja. Osa 1 - tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018: 1-388.

Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) (2018). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien
punainen kirja. Osa 2 - luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristö 5/2018: 1-925.

- Korhonen, K.T., Auvinen, A-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J-P., Kolström, T. (2016). Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016.
- Kuittinen, O, Neuvonen, A, Mokka, R, Riala, M, Sivonen, R (2008). Ilmastoasenteiden muutos ja muuttajat - Selvitys Vanhasen II hallituksen tulevaisuusselontekoa varten. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 9/2008
- Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhainen, L., Iaturi, 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 selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018.
- Launiainen S, Sarkkola S, Laurén A, Puustinen M, Tattari S, Mattsson T, Piirainen S, Heinonen J, Alakukku L, Finér L (2014). KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33/2014. 55 p.
- Lehtilä, A & Koljonen, T (2018). Pathways to Post-fossil Economy in a Well Below 2°C World. In: Lect. Notes Energy, Vol. 64, George Giannakidis et al. (Eds): Limiting Global Warming to Well Below 2°C: Energy System Modelling and Policy Development.
- Lehtilä, A, Koljonen, T, et al. (2014). Low Carbon Finland 2050 -platform. Energy system pathways towards a low carbon society. Espoo 2014. VTT Technology 165. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T165.pdf>
- Lehtomäki H, Korhonen A, Asikainen A, Karvosenoja N, Kupiainen K, Paunu V, Savolahti M, Sofiev M, Palamarchuk Y, Karppinen A, Kukkonen J, Hänninen O (2018). Health Impacts of Ambient Air Pollution in Finland. International Journal of Environmental Research and Public Health 15:736. <http://www.mdpi.com/1660-4601/15/4/736>
- Lehtomäki, J. (2014). Spatial conservation prioritization for Finnish forest conservation management. Helsingin yliopisto, väitöskirja.
- Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T., Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016.
- Leskinen, P., Holma, A., Manninen, K., Sinkko, T., Pasanen, K., Rantala, M., Sokka, L. (2014). Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit. Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio. Ympäristöministeriön raportteja 9/2014.
- Leviäkangas, P. (2016). Digitalisation of Finland's transport sector. Technology in Society 47, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.07.001>
- LIPASTO – calculation system for traffic exhaust emissions and energy use in Finland. <http://lipasto.vtt.fi/index.htm>
- Loulou R, Remme U, Kanudia A, Lehtilä A, Goldstein G (2016). Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP). http://iea-etsap.org/docs/Documentation_for_the_TIMES_Model-Part-I_July-2016.pdf
- 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.
- Luke (2015, 2019). Tilastotietokanta. Puun kokonaiskäyttö metsäkeskusalueittain (1 000 m³). Luonnonvarakeskus. Vuoden 2017 tilastot: Tilastotietokanta maakunnittain <https://stat.luke.fi/> .
- Luke (2016). Hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus, tietoa luonnonvaroista. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-metsasuunnittelu/hakkuumahdollisuus-arviot/>

- Luke (2017). Mitä Suomessa syötiin vuonna 2017. <https://www.luke.fi/uutiset/mita-suomessa-syotiin-vuonna-2017/>
- Luke (2018). Viljatase. <http://stat.luke.fi/viljatase>
- Luyssaert, S., Marie, G., Valade, A., Chen, Y.Y., Djomo, S.N., Ryder, J., Otto, J., Naudts, K., Lansø, A.S., Ghattas, J. and McGrath, M.J. (2018). Trade-offs in using European forests to meet climate objectives. *Nature*, 562(7726), p.259.
- Macdiarmid, J.I., Kyle, J., Horgan, G.W., Loe, J., Fyfe, C., Johnstone, A. and McNeill, G. (2012). Sustainable diets for the future: can we contribute to reducing greenhouse gas emissions by eating a healthy diet?—The American journal of clinical nutrition, 96(3), pp.632-639.
- Material economics (2018). The circular economy – a powerful force for climate mitigation. 2018.
- Matthews, R., Sokka, L., Soimakallio, S., Mortimer, N., Rix, J., Schelhaas, M.-J., Jenkins, T., Hogan, G., Makie, E., Morris, A. and Randle, T. (2014). Review of literature on biogenic carbon and life cycle assessment of forest bioenergy. Final Task 1 report, DG ENER project, 'Carbon impacts of biomass consumed in the EU'. The Research Agency of the Forest Commission. May 2014.
- Mattinen, M; Heljo, J; Savolahti, M (2016). Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2016.
- Mengis, N., Partanen, A.-I., Jalbert, J., Matthews, H. D. (2018). 1.5 °C carbon budget dependent on carbon cycle uncertainty and future non-CO2 forcing, *Sci. Rep.*, 8, 5381, doi:10.1038/s41598-018-24241-1
- Ministry of Economic Affairs and Employment (2018). Finland's Integrated National Energy and Climate Plan. Draft version submitted to the European Commission. 20 December 2018 (Unofficial translation). <https://tem.fi/documents/1410877/2132096/Suomen+NECP-luonnos+20.12.2018/318af23e-ad07-a984-7fcf-c439966306b7/Suomen+NECP-luonnos+20.12.2018.pdf>
- Minx, J.C., Lamb, W.F., Callaghan, M.W., Fuss, S., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J. and Khanna, T. (2018). Negative emissions—Part 1: Research landscape and synthesis. *Environmental Research Letters*, 13(6), p.063001.
- Moore, H.E. and Boldero, J. (2017). Designing Interventions that Last: A Classification of Environmental Behaviors in Relation to the Activities, Costs, and Effort Involved for Adoption and Maintenance. *Frontiers in psychology*, 8, p.1874.
- Ottelin, J., Heinonen, J. and Junnila, S. (2018). Carbon footprint trends of metropolitan residents in Finland: how strong mitigation policies affect different urban zones. *Journal of Cleaner Production*, 170, pp.1523-1535.
- Palokallio, J. (2019). Ministeriön toiveille tyrmäys: MT:n kyselyn mukaan sähköauton aikoo ostaa vain 4 prosenttia suomalaisista. Maaseudun tulevaisuus. Koneet & autot 09.01.2019 <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/koneet-autot/artikkeli-1.358382>
- Paloma Communications (2018). Tutkimus: Suomalaisten huoli ilmastonmuutoksesta ei näy arjen valinnoissa. Tiedote 9.5.2018. <https://www.epressi.com/tiedotteet/ymparisto-ja-luonto/tutkimus-suomalaisten-huoli-ilmastonmuutoksesta-ei-nay-arjen-valinnoissa.html>
- Peltola, A (toim), (2014). Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2014, Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.
- Peters, G.P. (2018). Beyond carbon budgets. *Nature Geoscience*, 11(6), p.378.
- Pihkola, H., Hongisto, M., Apilo, O., & Lasanen, M. (2018). Evaluating the Energy Consumption of Mobile Data Transfer—From Technology Development to Consumer Behaviour and Life Cycle Thinking. *Sustainability*, 10(7), 2494. <https://doi.org/10.3390/su10072494>
- Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S. and Helin, T., (2016). Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *Gcb Bioenergy*, 8(1), pp.171-182.
- Pitkänen, K (2011). Mökkimaisema muutoksessa. kulttuurimaantieteellinen näkökulma mökkeilyyn. Itä-Suomen yliopisto, Yhteiskuntatieteiden ja kauppatieteiden tiedekunta / Historia- ja maantieteiden laitos.

Väitöskirja. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Social Sciences and Business Studies., no 31

Poore, J. and Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), pp.987-992.

Pöyry Management Consulting (2017a). Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali ja potentiaalin toteutuminen markkinaehtoisesti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 05/2017. <http://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=16603>

Pöyry Management Consulting Oy (2017b). Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö.

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 23/2017. <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=16903>

Rantala, S., Mustonen, M., Katila, P. (2018). Metsät muuttuvassa maailmassa: kansainväliset trendit ja keskeiset haasteet: Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) taustaselvitys Kansainvälisen luonnonvarapolitiikan yhteistyöverkostolle. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 1/2018. 54 p.

Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (toim.) (2010). The 2010 Red List of Finnish Species. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.

Rehunen A, Ristimäki M, Strandell A, Tiitu M & Helminen V (2018). Katsaus yhdyskuntarakenteen kehitykseen Suomessa 1990–2016. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2018.

Reuter, M.A. (2016). Digitalizing the Circular Economy. *Metallurgical and Materials transactions B*, 47(6), pp.3194-3220.

Riffell, S., Verschuyt, J., Miller, D., & Wigley, T. B. (2011). Biofuel harvests, coarse woody debris, and biodiversity—a meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 261(4), 878-887.

Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N. and Schellnhuber, H.J. (2017). A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, 355(6331), pp.1269-1271.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J. and Nykvist, B. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), p.472.

Rubin, E.S., Chen, C. and Rao, A.B. (2007). Cost and performance of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage. *Energy policy*, 35(9), pp.4444-4454.

Sathre, R. and O'Connor, J. (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental science & policy*, 13(2), pp.104-114.

Scarborough, P., Appleby, P.N., Mizdrak, A., Briggs, A.D., Travis, R.C., Bradbury, K.E. and

Key, T.J. (2014). Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. *Climatic change*, 125(2), pp.179-192.

Searle, S., & Malins, C. (2015). A reassessment of global bioenergy potential in 2050. *GCB Bioenergy*, 7(2), 328-336.

Shafiei, S. & Salim, R. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO₂ emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy* 2014, 66, 547-556. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513010872

Siitonen J., Hanski I. (2004). Metsälajiston ekologia ja monimuotoisuus. In: Kuuluvainen T., Saaristo L., Keto-Tokoi P., Kostamo J., Kuuluvainen J., Kuusinen M., Ollikainen M., Salpakivi-Salomaa P. (eds.), *Metsän kätköissä - Suomen metsäluonnon monimuotoisuus*. Edita Publishing Oy. p. 76-109.

Siitonen, J., (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 49, 11–41.

Sitra (2014). Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle. Sitran selvityksiä 84, Helsinki.

- Sitra (2018). Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 for Finland. Helsinki: Sitra, Sitra studies 140. <https://media.sitra.fi/2018/11/30102722/cost-efficient-emission-reduction-pathway-to-2030-for-finland.pdf>
- Skene, K R (2018). Circles, spirals, pyramids and cubes: why the circular economy cannot work. *Sustain Sci* (2018) 13:479–492. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0443-3>
- Soimakallio, S., Antikainen, R., Thun, R. (Eds). (2009). Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies - A Finnish approach. VTT Research Notes 2482. Espoo, 2009. 220 p. + app. 41 p.
- Soimakallio, S., Hildén, M., Lanki, T., Eskelinen, H., Karvosenoja, N., Kuusipalo, H., Lepistö, A., Mattila, T., Mela, H., Nissinen, A., Ristimäki, M., Rehunen, A., Repo, A., Salonen, R., Savolahti, M., Sepälä, J., Tiittanen, P., Virtanen, S. (2017). Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman ympäristövaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 59/2017.
- Spracklen DV., Bonn B. & Carslaw SK. 2008. Boreal forests, aerosols and the impacts on clouds and climate. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* (2008) Dec 28;366(1885):4613-26. doi: 10.1098/rsta.2008.0201.
- Statistics Finland (2018). Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2016. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, 15 April 2018.
- Suomen Ilmastopaneeli (2018a). Ilmastopaneelin näkemykset pitkän aikavälin päästövähennystavoitteen asettamisessa huomioon otettavista seikoista. Ilmastopaneelin muistio asunto-, energia ja ympäristöministeri Kimmo Tiilikaisen pyyntöön. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/Ilmastopaneelin-muistio_hyvaksyty_4.6.2018.pdf
- Suomen ilmastopaneeli (2018b). Ilmastopaneelin näkemykset pitkän aikavälin päästövähennystavoitteen asettamisessa huomioon otettavista seikoista. Ilmastopaneelin muistio asunto-, energia- ja ympäristöministeri Kimmo Tiilikaisen pyyntöön, XX.12.2018.
- Suomen Ympäristökeskus (2017). Fosfori- ja typpikuormitus eri lähteistä sekä arvio laskeumasta ja luonnon huuhtoumasta Suomessa vuonna 2016. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma
- Särkijärvi, J, Jääskeläinen, S, Lohko-Soner, K (toim.) (2018). Hiiletön liikenne 2045 – polkuja päästötörmään tulevaisuuteen. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän väliraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 9/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-555-2>
- Tattari S, Koskiahho J, Kosunen M, Lepistö A, Linjama J, Puustinen M. (2017). Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2011 – is the efficiency of water protection measures seen? *Environmental Monitoring & Assessment* 189 (3): 95.
- Tilastokeskus (2018). Energian hankinta ja kulutus. <https://www.stat.fi/til/ehk/index.html> (viitattu 29.12.2018)
- Tilastokeskus (2018). Väestöennuste. <https://www.stat.fi/til/vaenn/index.html>
- Toivonen, M., Herzon, I. & Kuussaari, M. (2015). Differing effects of fallow type and landscape structure on the occurrence of plants, pollinators and birds on environmental fallows. – *Biological Conservation* 181:36-43.
- Triviño, M., Pohjanmies, T., Mazziotta, A., Juutinen, A., Podkopaev, D., Le Tortorec, E., & Mönkkönen, M. (2016). Optimizing management to enhance multifunctionality in a boreal forest landscape. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12790>
- Tuominen, P., Forsström, J., Honkatukia, J. (2013). Economic effects of energy efficiency 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.

Tuominen, P., Klobut, K., Tolman, A., Adjei, A., De Best-Waldhober, M. (2012). Energy savings potential in buildings and overcoming market barriers in member states of the European Union. *Energy and Buildings* 51, pp. 48-55.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2017). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja – Energia – 4/2017. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y

UNFCCC (2015a). The Paris Agreement. Article 3. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

UNFCCC (2015b). The Paris Agreement. Article 4. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

Upham, P., Kivimaa, P. and Virkamäki, V. (2013). Path dependence and technological expectations in transport policy: the case of Finland and the UK. *Journal of Transport Geography*, 32, pp.12-22.

van Soest, H., den Elzen, M., Forsell, N., Esmeijer, K., van Vuuren, D. (2018). Global and regional greenhouse gas neutrality. Implications of 1.5 °C and 2 °C scenarios for reaching net zero greenhouse gas emissions. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Vento, H. (2019). Ilmastouutiset vaikuttivat arkeen. *Suomen Kuvalehti* 11.1. 2019, s. 22-25.

Wiedenhofer, D., Smetschka, B., Akenji, L., Jalas, M. and Haberl, H. (2018). Household time use, carbon footprints, and urban form: a review of the potential contributions of everyday living to the 1.5 C climate target. *Current opinion in environmental sustainability*, 30, pp.7-17.

VN (2018). Valtioneuvosto. Ratkaisujen Suomi – Hallituksen toimintasuunnitelma 2018-2019. Valtioneuvoston julkaisusarja 27/2818. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160963/27_Hallituksen%20toimintasuunnitelma%202018-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=36

VTT & SYKE (2018). Kyselytutkimus, PITKO-hankkeen internet-sivut. <https://www.vtt.fi/sites/pitko/kyselytutkimus>

VTT (2018). Growth by integrating bioeconomy and low-carbon economy Scenarios for Finland until 2050. VTT Visions 13. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2018/V13.pdf>

VTT, VATT, Metla & GTK (2014). Työpajat ja kyselyt. Low Carbon Finland 2050 -platform -hankkeen verkkosivut. <http://www.lowcarbonplatform.fi/tyopajat-ja-kyselyt.html>

Ympäristöministeriö (1994). Suomen metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen. Ympäristöministeriö, Alueiden käytön osasto. Muistio 3/1994. Painatuskeskus Oy, Helsinki.: 1-90.

Ympäristöministeriö (2015a). Ilmastobarometri2015-data (excel). <http://www.ym.fi/download/noname/%7BFECABEE7D-0A45-46E7-835A-4770D5831B34%7D/108390>

Ympäristöministeriö (2015b). Suomalaiset haluavat tehokkaampia toimia ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Tiedote 16.4.2015. http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Suomalaiset_haluavat_tehokkaampia_toimia%2833183%29

Ympäristöministeriö (2017). Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. Kohti ilmastoviisasta arkea. Ympäristöministeriön raportteja 21/2017. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra_21_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LIITE 1. KANSALAISKYSELYN KYSELYLOMAKE

Intro

Tällä kyselyllä, jonka toimeksiantajina ovat Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Suomen ympäristökeskus, pyritään selvittämään kansalaisten näkemyksiä ilmastonmuutoksen hillinnästä. Kysely on osa valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan rahoittamaa tutkimushanketta, joka palvelee Suomen vuoteen 2050 ulottuvan vähäpäästöisyysstrategian laatimista.

Pariisin ilmastopimuksen tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa asteessa ja pyrkiä toimiin, joilla lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 asteen. Tavoitteiden saavuttaminen edellyttää huomattavia kasvihuonepäästöjen vähennyksiä tulevana vuosikymmeninä. Lisäksi hiilidioksidia täytyy poistaa ilmakehästä vahvistamalla hiiltä sitovia nieluja. Hiilidioksidia voidaan poistaa ilmakehästä myös muilla keinoilla, mutta niihin liittyy toistaiseksi teknisiä, taloudellisia, ympäristöllisiä tai yleiseen hyväksyttävyyteen liittyviä haasteita. Suomen Ilmastopaneeli on esittänyt, että vuoteen 2050 mennessä Suomen tulisi vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 85 - 100 % vuoden 1990 tasosta, ja lisäksi ylläpitää metsissä merkittävää hiilinielua. Lisäksi Suomi on sitoutunut yhdessä EU:n kanssa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 40 % vuoteen 2030 mennessä ja 80 % vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasoon verrattuna.

Suomen merkittävän kasvihuonekaasujen päästölähde on energiasectori, joka sisältää muun muassa sähkön- ja kaukolämmöntuotannon, liikenteen ja rakennusten lämmitysten aiheuttamat päästöt. Energiasektorin päästöt olivat 74 prosenttia kokonaispäästöistä vuonna 2017. Muita merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjen lähteitä ovat teollisuusprosessit, maatalous ja jätteiden käsittely. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä on hiilidioksidia (CO₂), jonka päästöt tulisi saada lähelle nollatasoa vuonna 2050, koska muiden kasvihuonekaasupäästöjen (esim. metaani) merkittävä vähentäminen on hyvin vaikeaa tai kallista.

Kasvihuonekaasujen vähentäminen tarkoittaa muutoksia esimerkiksi liikenteessä, energiantuotannossa, rakennuksissa ja kulutuksessa. Tarvittavia toimia voidaan arvioida laatimalla erilaisia skenaarioita, joissa päästöt vähenevät tavoitetasolle, eli niin sanottujen vähähiilipolujen avulla.

PÄÄTÖKSENTEON PERUSTEET JA OHJAUSKEINOT

- Arvioi seuraavia ilmastonmuutostietoa koskevia väittämiä sen mukaan kuinka samaa tai eri mieltä olet niiden kanssa. 1=täysin eri mieltä ...5=Täysin samaa mieltä, en osaa sanoa
- Koen, että tiedän ilmastonmuutoksesta ja siihen liittyvistä poliittisista ohjauskeinoista riittävästi.
- Haluaisin lisää neuvoja ilmaston kannalta viisaista ratkaisuista.
- EU:n asettamien keskipitkän aikavälin ilmastovelvoitteiden ja Suomen hallituksen energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteiden mukaan Suomen kasvihuonekaasupäästöjen tulee vähentyä vuoteen 2030 mennessä noin 40 % vuoden 1990 tasosta ja noin 25 % vuoden 2015 tasosta. EU:ssa ja maailmanlaajuisesti käydään keskustelua tarpeesta asettaa jo sovittuja selvästi tiukempia tavoitteita. Ota kantaa seuraaviin väittämiin kertomalla kuinka samaa tai eri mieltä olet niistä 1=täysin eri mieltä ...5=Täysin samaa mieltä, en osaa sanoa:

- Pidän tavoitetta kasviuonekaasupäästöjen vähentämiseksi tärkeänä
 - Suomen pitää jatkaa päästöjensä vähentämistä riippumatta siitä mitä muut maat tekevät
 - Suomen ei pidä olla EU:ssa niiden maiden joukossa, jotka vähentävät päästöjään eniten, koska Suomi on jo toteuttanut monia päästövähennystoimia
 - Suomen pitää vähentää omia päästöjään vasta, kun suuret päästäjämaat Yhdysvallat, Kiina ja Intia ryhtyvät sitoviin päästövähennyksiin
 - Suomen pitää olla globaalien edelläkävijöiden joukossa ja osoittaa esimerkiksi muille maille, miten voidaan vähentää päästöjä niin, että maapallo ei lämpene enemmän kuin 1,5 astetta.
- Seuraavat väitteet koskevat keinoja vähentää kulutuksen ilmastovaikutuksia. Vastaa asteikolla 1-5, jossa (1=täysin eri mieltä ...5= täysin samaa mieltä, EOS):
 - Pidän seuraavia tapoja hyvinä keinoina toteuttaa tarvittavat päästövähennykset 1...5:
 - Määräykset, säädökset, mukaan lukien kiellot
 - Kansainvälinen päästöoikeuksien kauppa
 - Tuet
 - Verot
 - Uuden vähäpäästöisen tekniikan kehittäminen ja käyttöönotto
 - Kulutustottumusten/käyttäytymisen muuttaminen
 - Vapaaehtoiset päästömaksut

ENERGIANTUOTANTO

- Energiantuotannossa käytettävät fossiiliset polttoaineet ja turve tuottivat Suomessa vuonna 2017 noin puolet kaikista kasviuonekaasujen päästöistä. Teknisesti näitä päästöjä voidaan vähentää korvaamalla fossiilisia polttoaineita uusiutuvalla energialla, kuten tuuli- ja aurinkovoimalla, bioenergialla, maalämmöllä ja muilla lämpöpumpuilla, ydinvoimalla, tehostamalla energian käyttöä ja hiilidioksidin talteenotolla ja varastoinnilla. Ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi energiantuotannon tulisi olla hyvin vähäpäästöinen. Ota kantaa seuraaviin väittämiin kertomalla kuinka samaa tai eri mieltä olet niistä 1=täysin eri mieltä ...5=Täysin samaa mieltä, en osaa sanoa
 - Uusiutuvia energialähteitä tulee suosia, vaikka tämä nostaisi energian hintaa
 - Valtion tutkimus- kehittämisrahoituksen käyttöä tulee lisätä jo käytössä olevien vähäpäästöisten energiamuotojen, kuten aurinko- ja tuulivoiman, bioenergian ja ydinenergian tutkimukseen ja kehittämiseen
 - Valtion yritystukia tulee lisätä kehitysvaiheessa olevien vähäpäästöisten energialähteiden ja -varastojen, kuten vedyn tuotannon, polttokennojen, sähkö- ja lämpövarastojen sekä keskitetyn geotermisen energian tuotannon kehittämiseen
 - Valtion varojen käyttöä energian säästötoimenpiteiden toteuttamiseksi tulee lisätä
 - Suomen tulee EU:ssa ajaa voimakkaasti ratkaisuja, jotka nostavat fossiilisten polttoaineiden käytön hintaa, vaikka se lisäisi erityisesti energiaintensiivisen teollisuuden kustannuksia
 - Valtion varoja tulee käyttää hiilidioksidin talteenoton, varastoinnin ja hyötykäytön kehittämiseen ja toteuttamiseen
 - Lainsäädännöllä tulee edellyttää kaikilta energiantuottajilta vähäpäästöisen energian tuottamista ja tarjoamista kuluttajille
 - Valtion tulee poistaa suorat ja välilliset tuet, jotka suosivat fossiilisen energian käyttöä, vaikka tämä voisi heikentää yksittäisten yritysten kilpailukykyä

METSÄTALOUS JA MAATALOUS

- Suomessa metsiin vuosittain sitoutuva hiilimäärä (hiilinielu) vastaa noin 20-50 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Lähivuosisikymmeninä metsien hiilinielu pienenee, jos hakkuista lisätään merkittävästi nykyisestä tasosta. Nielun pienentymistä voidaan osittain kompensoida parantamalla metsien kasvua esimerkiksi lannoituksella. Lisääntyvällä puunkäytöllä on puolestaan mahdollista korvata uusiutumattomia raaka-aineita ja välttää niiden tuotannossa ja käytössä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Pitkäikäiset puutuotteet, kuten puurakenteet ja huonekalut varastoivat myös hiiltä, joka siten pysyy pitkään poissa ilmakehästä. Maataloudessa syntyy kasvihuonepäästöjä erityisesti kotieläintuotannossa, mutta myös kasvintuotannossa varsinkin turvepelloilla.

Ota kantaa seuraaviin väittämiin, **jotka koskevat valtion toimia** maa- ja metsätalouden ohjaamiseksi, kertomalla kuinka samaa tai eri mieltä olet niistä 1=täysin eri mieltä ...5=Täysin samaa mieltä, en osaa sanoa

Valtion tulisi

- kannustaa metsänomistajia taloudellisesti hiilen sitomiseen, vaikka se nostaisi puun hintaa teollisuudelle
- kannustaa käyttämään puuta pitkäikäisiin puutuotteisiin, joissa hiili säilyy pitkään poissa ilmakehästä
- kannustaa puunkäytön lisäämiseen uusiutumattomien raaka-aineiden käytön vähentämiseksi, siinäkin tapauksessa että se pienentäisi metsien hiilinielua
- tukea lannoitusta ja muita metsänhoidollisia toimia keinona lisätä metsien hiilen sidontaa
- ohjata maataloutta vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään, vaikka tämä heikentäisi joidenkin tuotantosuuntien kannattavuutta
- kannustaa ja ohjeistaa viljelijöitä sitomaan hiiltä viljelysmaahan, vaikka se nostaisi ruoan hintaa
- vaikuttaa epäsuorasti maatalouden päästöihin opastamalla ja kannustamalla kuluttajia siirtymään kasvispainotteiseen ruokavalioon

NYKYISET HENKILÖKOHTAISET TOIMET VÄHÄPÄÄSTÖISTEN RATKAISUJEN EDISTÄMISEKSI JA MERKITTÄVIMMÄT ESTEET NÄIDEN RATKAISUJEN KÄYTTÖÖNOTOLLE

- Arvioi, kuinka hyvin tai huonosti seuraava väittämä sopii kuvaamaan sinua ja omaa toimintaasi: Olen muuttanut liikkumistani, ruokailutottumuksiani tai asumisratkaisujani ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. ' 1= kuvaa huonosti...5 = kuvaa hyvin, en osaa sanoa.
- Mitkä alla listatuista syistä estävät sinua toteuttamasta toimia, jotka vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä? Arvioi seuraavia väittämiä sen mukaan kuinka samaa tai eri mieltä olet niiden kanssa. 1=täysin eri mieltä ...5=Täysin samaa mieltä, en osaa sanoa
 - Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on mielestäni tarpeetonta
 - Vähäpäästöisten vaihtoehtojen tarjonta on liian suppea
 - Vähäpäästöiset vaihtoehdot ovat itselleni liian kalliita
 - Siirtyminen vähäpäästöisiin ratkaisuihin on käytännössä hankalaa
 - Vähäpäästöisten ratkaisujen käyttö vaatii liikaa vaivaa ja aikaa
 - Eri vaihtoehtojen todellisesta vähäpäästöisyydestä ei ole luotettavaa tietoa
 - Vähäpäästöisiin vaihtoehtoihin liittyy usein muita kielteisiä ympäristövaikutuksia, joten minun on vaikea tehdä kestäviä valintoja

VALMIUS PÄÄSTÖJEN EDELLEEN VÄHENTÄMISEEN

Seuraavissa kysymyksessä esitetään keinoja, joilla voit rajoittaa kulutuksesi aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä **seuraavan viiden vuoden aikana**.

Liikkuminen: Seuraavassa tarkastellaan keinoja, joilla voi vähentää liikkumisessa syntyviä päästöjä.

- Onko käytössäsi auto (oma, työsuhdeauto tai kotitaloudessa oleva)?:
kyllä/ei

Jos vastasit kyllä, arvioi kuinka hyvin seuraavat **väittämät kuvaavat auton käyttöösi seuraavan viiden vuoden aikana** 1= kuvaa huonosti...5 = kuvaa hyvin, en osaa sanoa.

- En voi vähentää auton käyttöä
- Hankin vähäpäästöisen auton (täyssähkö, ladattava hybridi, biokaasu tms.)
- Vähennän auton käyttöä vähintään kolmanneksen nykyisestä
- Luovun kokonaan omistusautosta
- Käytän kimppa/yhteiskäyttöautoa
- Korvaan osan nykyisestä autonkäytöstäni joukkoliikenteellä
- Korvaan osan nykyisestä autonkäytöstäni kävelyllä ja pyöräilyllä

- Käytätkö lentokonetta vähintään kerran vuodessa vapaa-ajan tai työmatkustamiseen?

kyllä/ei,

Jos vastasit kyllä arvioi kuinka hyvin seuraavat **väittämät kuvaavat lentomatlustamistasi seuraavan viiden vuoden aikana** 1= kuvaa huonosti...5 = kuvaa hyvin, en osaa sanoa.

- En vähennä lentämistäni
- Vähennän vapaa-ajan lentämistäni vähintään kolmanneksen nykyisestä
- Korvaan pitkiä lentokoneella tehtäviä vapaa-ajan viettomatoja lyhyemmillä muilla kulkuvälineillä tehtävillä matkoilla
- Vähennän työmatkalentämistäni käyttämällä etäyhteyksiä yms.
- Kompensoin lentomatoistani aiheutuneet päästöt vapaaehtoisilla päästömaksuilla

Asuminen: Seuraavassa tarkastellaan keinoja, joilla voi vähentää asumisessa syntyviä päästöjä.

- Arvioi kuinka hyvin seuraavat **väittämät kuvaavat asumistasi tai asumisratkaisujasi seuraavan viiden vuoden aikana** 1= kuvaa huonosti...5 = kuvaa hyvin, en osaa sanoa.
- En muuta asumistani.
- Otan huomioon ilmastovaikutuksia asuinpaikkaa tai asuntoa valittaessa
- Tingin asunnon koosta energiankulutuksen ja rakennusmateriaalien säästämiseksi
- Parannan asuntoni energiatehokkuutta
- Ostan vähäpäästöistä sähköä
- Hankin itse tai osallistun aurinkosähkö- tai aurinkolämpöjärjestelmän hankintaan täydentäväksi energiantuotantoratkaisuksi, vaikka se ei olisi välittömästi taloudellisesti kannattavaa
- Annan energiayhtiölle oikeuden ohjata sähkölaitteita tai lämmitystä älykkäiden järjestelmien avulla kulutuksen ja tuotannon tasaamiseksi itse asettamissani rajoissa?

Ravinto ja muu kulutus: Seuraavassa tarkastellaan keinoja, joilla voi vähentää ruoankulutuksessa ja muussa kulutuksessa syntyviä päästöjä.

- Arvioi kuinka hyvin seuraavat **väittämät kuvaavat ruoan ja tavaroiden kulutustasi seuraavan viiden vuoden aikana** 1= kuvaa huonosti...5 = kuvaa hyvin, en osaa sanoa.
 - En kiinnitä ruoan ja tavaroiden kulutuksessani huomiota ilmastopäästöihin
 - Noudatan yleisesti sellaista ruokavaliota, jossa ruoan tuotannon ilmastokuormitus on mahdollisimman pieni
 - Keskityn kasvispainotteiseen ravintoon
 - Vähennän yleisesti tavaroiden hankkimista ja lisään tavaroiden kierrätystä
 - Vähennän ruokahävikkiä

KUSTANNUSTEN KOHDENTUMINEN

- Ilmastomuutoksen torjunta ei toteudu ilmaiseksi. Kustannuksia voidaan kohdentaa eri tavoin mm. verotuksen tai muun taloudellisen ohjauksen, esimerkiksi päästökaupan, avulla. Arvioi seuraavia väittämiä sen mukaan, kuinka samaa tai eri mieltä olet niiden kanssa. 1=täysin eri mieltä ...5=Täysin samaa mieltä, en osaa sanoa
- Ilmastomuutoksen torjunnan kustannukset tulee kattaa siten, että jokainen joutuisi vastaamaan aiheuttamistaan kasvihuonekaasupäästöistään, vaikka suhteellinen raskaus olisi suurempi pienituloisille
- Ilmastomuutoksen torjunnan kustannukset tulee kattaa yleisillä veronkorotuksilla, jotta varmistetaan kustannusten jakautuminen yhteiskunnassa mahdollisimman oikeudenmukaisesti.
- Kansainvälisessä kaupassa tulisi varmistaa tulleilla tai muilla keinoilla, että kaikissa tuotteissa maksetaan täysimääräisesti päästöjen aiheuttamista haitoista, vaikka tämä nostaisi monien kulutustavaroiden hintaa.
- Ilmastomuutoksen torjunnan kustannukset tulee kattaa vain vapaaehtoisilla toiminnoilla, kuten päästöjen kompensatiomaksuilla.
- Teollisuusmaiden tulee kantaa suurempi osa ilmastomuutoksen torjunnan kustannuksista, koska teollistuneet maat ovat suurin syy ilmastomuutoksen kehittymiseen tähän pisteeseen.
- Suomessa tulee olla valmiuksia jäädyttää kulutus nykyiselle tasolle tai jopa alentaa sitä, jotta kulutus kehitysmaissa voisi nousta hyvinvoinnin lisäämiseksi.

Taustatietokysymykset aineiston tilastollista käsittelyä varten.

- Sukupuoli
 1. Mies
 2. Nainen
 3. Muu
 4. En halua ilmoittaa
- Syntymävuotesi? _____
- Ammattiryhmäsi?
 1. Johto tai ylempi toimihenkilö
 2. Muu toimihenkilö
 3. Työntekijä
 4. Yksityisyrittäjä
 5. Opiskelija
 6. Eläkeläinen
 7. Muu, mikä?
- Koulutustasosi?
 1. Ylempi korkeakoulututkinto
 2. Muu korkeakoulututkinto, ammattikorkeakoulututkinto
 3. Keskiasteen koulutus, esim. kauppaopisto, tekninen opisto tai vastaava
 4. Ammattikoulu, ammattiopisto
 5. Ylioppilas, peruskoulu
 6. Muu, mikä?

- Onko koulutuksesi lähinnä...?
 1. Tekninen tai luonnontieteellinen
 2. Kaupallinen
 3. Lääke- tai terveystieteellinen
 4. Humanistinen tai taiteellinen
 5. Yhteiskuntatieteellinen
 6. Jokin muu
- Montako henkilöä talouteen kuuluu (itsesi mukaan lukien)? _____ henkilöä
- Paljonko talouden tulot ovat vuodessa veroja vähentämättä?
 1. Alle 20000€
 2. 20000-40000€
 3. 40001-60000€
 4. 60001-80000€
 5. 80001-100000€
 6. Yli 100000€
 7. Ei vastausta
- Onko taloudessa auto?
 1. Kyllä
 2. Ei
- Jos on auto: Kuinka monta autoa taloudessa on?
 1. Yksi
 2. Kaksi
 3. Kolme tai enemmän
- Asuinpaikkakunnan tyyppi:
 1. Pääkaupunkiseutu
 2. Muu kaupunki, jossa yli 50000 asukasta
 3. Muu kaupunki, jossa alle 50000 asukasta
 4. Ei-kaupunkikunta/maaseutumainen alue
- Asumismuoto?
 1. Omistusasunto
 2. Vuokra-asunto
 3. Asumisoikeus
 4. Osaomistus
 5. Muu, mikä?
- Asunnon tyyppi?
 1. Kerrostalo
 2. Rivitalo/paritalo
 3. Omakotitalo
 4. Muu, mikä?

LIITE 2. SOVA-TAULUKOT

*Sampo Soimakallio, Laura Saikku, Marja Salo, Antti Rehunen,
Mikko Savolahti, SYKE*

Kehityskulku/Skenaarioiden elementti	Ilmastovaikutus	Muu ympäristöön tai ihmisiin kohdistuva vaikutus	Kehityskulun/skenaarioiden elementin toteutumiseen liittyvät riskit
Ilmastopolitiikka, ilmastomuutos (globaali, EU) päästövähennyksen suuruus globaali metsitys	Suurempi päästövähennystavoite tarkoittaa täyttyessään vähäisempää ilmastomuutoksen aiheuttamaa riskiä (IPCC 2018). Globaali metsitys poistaa hiiltä ilmakehästä, mutta myös mm. muuttaa maanpinnan albedoa, haihduttaa ja aerosolipäästöjä, joilla on positiivisia ja negatiivisia takaisinkytkentöjä (Spracklen ym. 2008, Luyssaert yml. 2018)	Ilmastomuutoksen hillinnässä onnistuminen lieventää monia muita haitallisia ympäristövaikutuksia (Rockström ym. 2018); Päästövähennysten toteuttamisen vaikutukset ihmisille riippuvat niistä aiheutuvien kustannusten jakautumisesta eri väestöryhmien kesken; Metsitys voi edesauttaa monimuotoisuutta, vesistöjen puhtautta, ruokaturvaa, ja ihmisten terveyttä, mutta aiheuttaa myös osin kielteisiä vaikutuksia (Rantala ym. 2018)	Maat saattavat vetäytyä ilmastopuhtautuksesta tai sen asettamista tavoitteista; Laajamittainen metsitys ei välttämättä onnistu erilaisista ekologisista, taloudellisista tai sosiaalisista rajoitteista johtuen tai se voi johtaa haitallisiin takaisinkytkentöihin epäsuorien maankäytön muutosten kautta (Rantala ym. 2018).
Suomen ilmastopolitiikka, metsänielut/metsien käyttö, negatiiviset KHK-päästövähennysoikeudet			
päästövähennyksen suuruus 85-90 %	Suurempi päästövähennystavoite johtaa toteutuessaan Suomen osalta pienempiin ilmastopäästöihin. Kulutusperusteiset päästöt riippuvat tuonnin ja viennin kehitymisestä ja globaalien päästöjen kehitymisestä.	Suurempi päästövähennystavoite voi edistää uusien innovaatioiden syntymistä ja parantaa siten taloudellista hyvinvointia; Toisaalta myös suorat päästövähennyskustannukset saattavat kasvaa ja niiden jakautuminen eri väestöryhmille vaikuttaa ihmisten hyvinvointiin.	Päästövähennyksen toteuttaminen yksipuolisesti EU:ssa ja Suomessa saattaa johtaa tuonnin kasvuun globaalien päästövähennysten kustannuksella, jos riittävä ilmastopoliittinen kunnianhimo jää globaalisti toteutumatta.
päästövähennyksien ajoitus (tasaisesti/"viime tippassa")	Päästövähennysten ajoittaminen "viime tippaan" johtaa globaalisti suurempiin kumulatiivisiin päästöihin.		Vähennysten ajoittaminen "viime tippaan" voi vaarantaa kansallisen vuoden 2050 -tavoitteen saavuttamisen.
nielupoliitiikka	Mitä tiukempi nielupoliitiikka, sitä suurempi kansallinen nettopäästövähennys. Sen globaali vaikutus riippuu globaalista ilmastopolitiikasta, johon nielupoliitiikalla voi myös olla osaltaan merkitystä.	Tiukempi nielupoliitiikka saattaa johtaa alhaisempiin hakkuumääriin, jolloin syntyy synergiahyötyjä metsäluonnon monimuotoisuudelle ja vesistöille.	Nielun kehityksen enustamiseen (mallinnus) sekä olemassa olevan nielun pysyvyyteen (metsätuhot) liittyy epävarmuuksia.
CCS (sallittu/ei sallittu/teollisissa prosesseissa)	CCS-teknologialla voidaan estää hiilen vapautuminen ilmakehään	Ylipaine voi johtaa juomaveden pilaantumiseen, kuljetuksissa ja varastoinnissa voi aiheutua vuotoja, jotka voivat aiheuttaa paikallisia ympäristö- ja terveyshaittoja. Lisäksi voi aiheutua seismisyyttä (Fuss ym. 2018)	Ei vielä käytössä oleva teknologia, kallis, nostaa energian hintaa, epävarma toteutus, lisää energiankulutusta. (Minx ym. 2018).
BECCS sallittu/ei sallittu/rajoitettua ja kallista	BECCS-teknologialla voidaan estää uusiutuvan hiilen vapautuminen ilmakehään ja siten tuottaa negatiivisia päästöjä		Ei vielä käytössä oleva teknologia, kallis, nostaa energian hintaa,

			epävarma toteutus, lisää energiankulutusta, negatiivisten päästöjen laskentasaantöjä ei toistaiseksi ole käytössä teknisin keinoin talteen otetulle ja varastoidulle CO ₂ :lle.
ilman hiilidioksidin hyötykäyttö (DAC)	DAC-tekniikalla voidaan sitoa hiiltä ilmasta	Voi aiheuttaa erilaisia ympäristövaikutuksia materiaalien tarpeen ja jätteiden syntymisen kautta (Minx ym. 2018)	Vaatii merkittävästi sähköä, mikä pitää olla vähäpäästöistä, jotta johtaa päästövähennyksiin; kallis; (Minx ym. 2018)
Talous			
talouskasvu vahvaa/heikkoa	Talouden kasvu yleensä kasvattaa kulutusta ja päästöjä, mutta myös mahdollistaa teknologioiden ja ratkaisujen kehitystä ja käyttöönottoa.	Kulutuksen kasvu yleensä lisää haitallisia ympäristövaikutuksia, joita on mahdollista lieventää uusien teknologioiden ja ratkaisujen käyttöönotolla.	
digitalisaatio	<p>Digitaalisaatio voi pienentää päästöjä esimerkiksi parantuneen logistiikan, tavaroiden seurattavuuden tai kiertotalouden mahdollistamisen kautta (Reuter 2016i).</p> <p>Digitalisaatio liikennesektorilla pienentää päästöjä (Leviäkangas 2016).</p> <p>Toisaalta digitalisaatio voi parantaa tuottavuutta (Reuter 2016) ja lisätä sitä kautta kulutusta. Tietotekniikan käytön lisääntyminen lisää myös sähkönkulutusta (Pihkola ym. 2018).</p>	Mikäli digitalisaatio johtaa luonnonvarojen käytön vähentymiseen, ympäristövaikutukset vähenevät.	
palvelutalous	Palveluilla voidaan mahdollisesti korvata tuotteita/tuotteiden yksityisomistusta, tällöin tehostetaan luonnonvarojen käyttöä ja vähennetään tuotannon päästöjä.	Luonnonvarojen säästö, Tuotanto linkittyy laajasti moniin ympäristövaikutuksiin	Päästöjen vähentymisen laajuus epävarmaa; tuotteet saatetaan käyttää kuitenkin "loppuun" kuten ennenkin Suomessa tai Suomen rajojen ulkopuolella; tuotteiden helppo vuokraus ja palveluiden helppo saatavuus saattavat laajentaa palveluiden käyttöä
yrittäjyys	Yrittäjät ketteriä tarttumaan uusiin päästöjä vähentäviin innovaatioihin/kokeiluihin nopealla aikataululla, toisaalta rajalliset resurssit viedä pitkäjänteistä ilmastotyötä eteenpäin jos kannusteita ei ole		
kierto- ja materiaalitalous	<p>Kiertotaloudessa monet toimet voivat pienentää ilmastopäästöjä (esim. jo käytössä olevien muovien sekä alumiinin, teräksen ja betonin kiertotalouden mukaisella uudelleenkäytöllä voitaisiin vähentää globaaleja ilmastopäästöjä vuosittain arviolta miltei neljä gigatonnia. Määrä vastaa noin 40 prosenttia nykyisin teollisuuden tuottamista vuosipäästöistä. <i>The circular economy – a powerful force for climate mitigation. 2018. Material economics</i>). Materiaalien uusiokäyttö voi kuitenkin</p>	<p>Vaikutus materiaalien käytön tehokkuuteen, luonnonvarojen säästö.</p> <p>Kiertotaloudessa suuria taloudellisia mahdollisuuksia (Sitra 2014)</p> <p>Haitallisten aineiden vaikutukset saattavat kasvaa jos kokonaisvaltainen arviointi puutteellinen (SYKE 2017).</p>	Kiertotalouden toimet voivat myös kasvattaa ilmastopäästöjä, mikäli kokonaisvaltainen arviointi puutteellinen: materiaalien kierrätyksen kuluttama energiankäyttö, kuljetusmatkat jne. Kiertotalouden systemaattisen puute voi myös johtaa investointeihin, jotka lukitsevat mahdollisuuksia toteuttaa kiertotaloutta syvemmällä tasolla (esim.

	kin johtaa myös merkittävään energiankulutuksen lisäykseen ja siten kasvattaa päästöjä (Skene 2018).		energiakäyttö vs. uusioraaka-ainekäyttö) (materiaalihyödynnys vs. jätteiden synnyn ehkäisy). (esim. Skene 2018)
raskas teollisuus, määrä	Raskaaseen teollisuuteen liittyy usein neitseellisten raaka-aineiden käyttöä/energiakäyttöä, joilla nykyisellään merkittävät ilmastovaikutukset	Luonnonvarojen käytön ja prosessipäästöjen kautta aiheutuu erilaisia ympäristövaikutuksia mm. vesistöihin, luonnon monimuotoisuuteen, ilman laatuun ja terveyteen.	
julkisen sektorin osuus	Julkisella sektorilla mahdollisuuksia vaikuttaa päästöihin julkisten hankintojen kautta (julkiset hankinnat 35Mrd vuonna 2018, www.hankinta-keino.fi) Mahdollisuus viedä eteenpäin pitkäjänteistä ilmastopolitiikkaa	Hankintakriteereissä myös muut ympäristövaikutukset, sosiaalinen vastuu	
elinkeinorakenne sama/uudistunut	Uudistunut elinkeinorakenne mahdollistaa uusien, vähäpäästöisyyttä tukevien liiketoimintamallien synty-misen. Toisaalta saattaa myös aiheuttaa päästöjen kasvua, jos ohjaus ei toimi tarkoituksenmukaisesti.		
kulutuksen taloudellinen ohjaus	Kuluttajien ratkaisut keskeisiä, mm. asuminen, liikkuminen, ruokailu, taloudellinen ohjaus tärkeää, jotta päästöjä saadaan vähennettyä (ekonomistikone.fi)	Kulutuksen taloudellinen ohjaus voi vähentää tai lisätä taloudellista eriarvoisuutta (Gill & Moeller 2018).	Uusien ohjauskeinojen käyttöönotto tai olemassa olevien muuttaminen voi aiheuttaa haasteita niiden hyväksyttävyydessä.
Maa- ja metsätalous			
Maatalouden tehostuminen	Tehostuminen voi vähentää tai kasvattaa ilmastovaikutuksia tuotantoa kohden, vertailutilanteesta riippuen.	Pinta-alan tarve tuotantoa kohden vähenee, toisaalta tehostuminen voi johtaa maantuottavuuden heikentymiseen.; vähentää maatalousluonnon monimuotoisuutta	
metsäteollisuuden korkea jalostusaste	Korkea jalostusarvo tuo talouteen lisää arvoa vähemmällä raaka-aineen tarpeella, mahdollinen vaikutus suuremman metsänielun kautta		Korkea jalostusaste voi vaikuttaa myös energia-puun saatavuuteen ja siten energijärjestelmän kehitykseen.
puurakentaminen	Puurunkoinen rakennus voi aiheuttaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä elinkaarensa aikana betonirunkoiseen rakennukseen verrattuna (Gustavsson ym. 2006). Kriittisiä tekijöitä ovat metsän hiilitaseiden huomioiminen, erilaisten materiaalien kulutus, rakennusten käytön aikainen energiankulutus ja materiaalien käsittely ja hyödyntäminen elinkaaren lopussa (Sathre ja O'Connor 2010).	Voi vaikuttaa myönteisesti sisäilman laatuun ja viihtyvyyteen ja siten terveyteen.	
uudet käyttökohteet	Voivat vähentää nykyisiä käyttökohteita tehokkaammin tai heikommin fossiilisten polttoaineiden käyttöä, sovelluskohteesta riippuen (Soimakallio ym. 2016).	Muut ympäristövaikutukset riippuvat mm. puuraaka-aineen ja muiden luonnonvarojen käytöstä, tuotantoprosesseista ja tuotteiden kierrätettävyydestä.	

bulkkituotteet	Vaativat paljon puuraaka-ainetta ja voivat siten pienentää metsien hiilinielua merkittävästi (Soimakallio ym. 2017)	Puunkorjuun vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja vesistöihin (ks. alla)	
biopolttoaineet	Puuenergian käytön lisäys korvaa turpeen ja kivihiilen käyttöä. Metsähakkeen käytön lisääminen pienentää metsien hiilinielua (Soimakallio ym. 2017).	Voi lisätä uhkaa luonnon monimuotoisuuden heikentymiselle ja lisätä vesistökuormitusta. Voi lisätä kilpailua puuraaka-aineesta esim. biopolttoaineiden ja puun materiaalikäytön kanssa. (Soimakallio ym. 2017)	
karjatalous vähän/paljon	Karjankasvatus lisää ilmastopäästöjä.	Karjankasvatus lisää myös ravinnekuormaa	
lähiruoka	Lähiruoka saattaa pienentää kuljetusmatkoista aiheutuvia päästöjä.	Vaikutus myös ilmapäästöihin	
kierotalouden edistäminen	Kierotalouden edistäminen vähentää neitseellisten luonnonvarojen käyttöä ja voi siten vähentää kasvihuonekaasupäästöjä (Material Economics 2018). Materiaalien uusiokäytön edistäminen voi kuitenkin johtaa myös merkittävään energiankulutuksen lisäykseen ja siten kasvattaa päästöjä (Skene 2018).	Materiaalien kiertojen pidentäminen voi aiheuttaa riskejä ihmisille tai ympäristölle kemikaalien kautta (SYKE 2017). Ravinteiden kierrätyksellä voidaan ehkäistä vesistövaikutuksia.	
sellu öljyn korvaajana			
ruoan omavaraisuus	Ruoan omavaraisuus tarkoittaa ruoantuotannon kasvua, mikä lisää ruoantuotannon kasvihuonekaasupäästöjä Suomessa nykyisillä keskimääräisillä tuotantotavoilla ja -muodoilla.	Lisää myös muita ympäristövaikutuksia, kuten vesistövaikutuksia ja metsäluonnon monimuotoisuuden heikentymistä Suomessa nykyisillä keskimääräisillä tuotantotavoilla ja -muodoilla.	Omavaraisuuden parantaminen voi pienentää ruoantuotannon globaaleja vaikutuksia, esim. ilmastovaikutusta, veden kulutusta, vesistövaikutuksia ja monimuotoisuusvaikutuksia.
kasvissyönnä	Eläinproteiinin tuottaminen aiheuttaa valtaosan ruoantuotannon kasvihuonekaasupäästöistä, ja se on tehontonta verrattuna ravitsemuksellisesti vastaavan kasviproteiiniin tuottamiseen. (Poore ja Nemecek 2018)	Eläintuotteiden ympäristövaikutukset ovat keskimäärin suuremmat kuin ravitsemuksellisesti vastaavien kasvituotteiden. Kasvissyönnä lisäämällä on mahdollista pienentää mm. ravinnepäästöjä, ylläpitää luonnon monimuotoisuuteen mm. metsäkatoa ehkäisemällä. (Poore ja Nemecek 2018, Springmann ym. 2018)	
Kaupungistuminen			
kaupungistumisen nopeus/voimakkuus	Kaupungistumiseen liittyy päästönäkökohtia liikenteen, ja rakentamisen sekä viheralueiden ja asukkaiden kulutuksen kautta. Kaupungistumisen vaikutukset päästöihin ovat moniulotteisia, eri tutkimuksissa eri tuloksia vaikutuksen suunnasta. Kaupungistuminen voi laskea päästöjä kehittyneissä maissa, joissa korkea kaupungistumisen taso (Shafiei & Salim 2014). Mm. liikenteen päästöt laskevat joukkoliikenteen saavutettavuuden myötä, pyrkimys vähentää ilmastopäästöjä.	Kaupungistuminen saattaa paikallisesti lisätä viher-alueisiin kohdistuvia paineita tai altistumista melulle ja ilmansaasteille tiiviin yhdyskuntarakenteen alueilla. Ilmanlaatu voi heikentyä sekä kasvavan liikenteen että viheralueiden pienentymisen kautta. Viheralueiden vähentyminen voi heikentää hyvinvointia ja kaupunkien kykyä sopeutua ilmastomuutokseen, jolloin esimerkiksi helleaaltojen ja tulvien aiheuttamat haitat voivat lisääntyä.	Kaupunkiympäristössä asumisen on osoitettu korreloivan tavaroiden ja palveluiden kulutuksesta syntyvien suurempien päästöjen kanssa (Gill & Moeller 2018, Ala-Mantila ym. 2014). Syy-seuraussuhde ei ole yksinkertainen sillä sen lisäksi että kaupunkien kulutusmahdollisuudet ja korkean palkkatason työt voivat lisätä kuluttamista, kaupungit myös saattavat vetää puoleensa väestöä joilla on

	<p>Tiiviit asuinalueet voivat vähentää ajamista ja nostaa kestävien kulkumuotojen osuutta matkoista. (Ottelin ym. 2018)</p> <p>Kaupungistumisessa kasvupaine kanavoituu jo rakennetuille alueille, joissa voidaan käyttää hyväksi olemassa olevaa infrastruktuuria. Keskittämällä rakentamista voidaan välttää rakennettujen alueiden leviämistä toistaiseksi säästyneille alueille.</p> <p>Kaupungistuminen kasvattaa alueiden välisiä eroja. Uudisrakentamisen määrä ja rakentamisesta aiheutuvat päästöt lisääntyvät kasvavilla kaupunkialueilla, rakennuskannan ja infrastruktuurin vajaakäyttö puolestaan väestöään menettävillä alueilla.</p>	<p>'Jatkuva rakentaminen' on myös potentiaalinen häiriö viihtyvyydelle.</p> <p>Kaupungistuminen voi myös absoluuttisesti säästää luonnonvaroja sekä viheralueita, mutta edellyttää erityistä panostusta suunnitteluun ja toteutukseen.</p> <p>Parantaa edellytyksiä arkimatkojen tekemiseen ilman henkilöautoa, mikä lisää liikkumismahdollisuuksien tasa-arvoisuutta eri väestöryhmien, kuten nuorten, ikääntyneiden ja autottomien asutokuntien keskuudessa.</p>	<p>taloudellisia mahdollisuuksia ja kiinnostusta kuluttaa. Ohjauskeinojen kehittämisen kannalta on oleellista, että myös tavaroiden ja palveluiden kulutuksen päästövähennyksiin kiinnitetään huomiota.</p> <p>Elinkustannukset ovat kaupungeissa tyypillisesti korkeammat kuin haja-asutusalueilla, minkä seurauksena muiden hyödykkeiden kulutus saattaa myös vähentyä (Ottelin ym. 2018).</p> <p>Kaupunkien fyysisen rakenteen tiivistyminen ei automaattisesti tarkoita toiminnallisen rakenteen eheytymistä ja liikenteen päästöjen vähentymistä. Yhdyskuntien eri toimintojen sijoittuminen kauas toisistaan voi kasvattaa arkimatkojen pituutta tiivissäkin rakenteessa. Joukkoliikennetyksien parantaminen tukee kestävien liikkumismuotojen käyttöä. Henkilöautoyhteyksien parantaminen voi lisätä toimintojen hajautumista ja autoliikennettä.</p>
pientalopainotus	<p>Väljästi rakennetuilla pientaloalueilla maa-alan tarve ja rakentamisen päästöt asuinliikettä kohden suuremmat kuin kerrostaloalueilla ja tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla, liikkumisen ratkaisut perustuvat enemmän yksityisautoiluun.</p> <p>Pientalorakentamisessa voidaan hyödyntää puumateriaaleja enemmän kuin kerrostalorakentamisessa keskimäärin, ainakin lähitulevaisuudessa. Toisaalta pientaloalueiden infrastruktuurin rakentaminen tuottaa enemmän päästöjä kuin kerrostaloalueiden.</p>	<p>Pientalot tarjoavat mahdollisuuden omaan pihaan, mikä on monille tärkeä elinympäristön laatu-tekijä.</p>	<p>Monien kaupunkien olemassa olevissa kaavoissa on taajamien reuna-alueilla väljiä toteutumattomia pientaloalueiden varauksia, joiden toteutuminen hajauttaisi yhdyskuntarakennetta ja lisäisi arki-liikkumisen ja infrastruktuurin kustannuksia ja päästöjä. Reuna-alueiden rakentamisen sijaan rakentamista tulisi suunnata olemassa olevien asuinalueiden ja joukkoliikennekäytävien täydennysrakentamiseen, mihin liittyy kuitenkin vaikeampia suunnittelukysymyksiä ja pienialaisempia suunnitelma-alueita.</p>
etätyö	<p>Etäkäytäntöjen yleistyminen saattaa vähentää tai lisätä energian kulutusta ja siihen liittyviä päästöjä, tilanteesta riippuen.</p>	<p>Vaikutukset esim. ilmansaasteisiin riippuvat siitä, miten etätyö vaikuttaa liikkumiseen.</p>	<p>Etätyömahdollisuuksien paraneminen mahdollistaa asumisen aiempaa kauempana työpaikasta. Vaikka etätyötä</p>

		Etätyö helpottaa työn, vapaa-ajan ja perheen velvoitteiden yhteensovittamista.	tekevät käyvät harvemmin työpaikallaan, autokilometrien määrä ei välttämättä vähene, jos matkat ovat pitkiä ja ne tehdään henkilöautolla. Mikäli etätyö vähentää työmatkoihin käytettyä aikaa ja kustannuksia, päästövähennysten kannalta on oleellista mihin vapautuvat resurssit käytetään. Ohjauskeinojen kokonaisuus on tärkeä, jotta päästöt eivät kasva toisaalla. (Chitnis ym. 2014, Wiederhofer ym. 2018)
Kaupunkirakenne			
Asumisväljyys: asuineliöiden pieneneminen (kyllä/ei)	Ilmastovaikutukset määräytyvät lämmitettävien asuineliöiden mukaan, myös pienempi tavaroiden/kulutuksen määrä;	Lämmitys vaikuttaa myös ilmapäästöihin, musta hiili, F-kaasut, kulutuksella muitakin ympäristövaikutuksia. Ahtaasti asuvien asutokuntien määrä ja osuus voivat nousta ainakin pääkaupunkiseudulla.	Hyvin pienten asuntojen suosiminen uudisrakentamisessa voi johtaa asutokantaan, jonka vetovoimaisuus on tulevana vuosikymmeninä pieni.
pientalovaltaisuus/keskusta	kuluttajien itsenäiset verkosta irtiketyt ratkaisut esim. mahdollisuus vähentää ilmastopäästöjä Kaupunkipientalot tarjoavat mahdollisuuden yhdistää pientaloasumisen ja tiiviin kaupunkirakenteen edut. Tutkimusten mukaan mm. tiiviit asuinalueet vähentävät ajamista (Wiederhofer ym. 2018).	Kaupunkipientalojen rakentaminen joukkoliikenteen näkökulmasta hyvin sijainteihin edistää kestävien liikkumismuotojen käyttöä ja tarjoaa pientaloasumisesta kiinnostuneille vaihtoehtoja autoriippuvaisille taajamien reuna-alueille (Ottelin ym. 2018).	Pientalovaltaisen alueen vaikutukset riippuvat pientalojen lämmitysmuodoista ja energiaratkaisuista
purkava lisärakentaminen	Purkamalla peruskorjausta odottavia ja alhaisen tonttitehokkuuden rakennuksia ja rakentamalla tilalle uusia korkean tonttitehokkuuden rakennuksia voidaan tuottaa lisäkerrosalaa ja uusi asuntoja hyvin sijainteihin ilman tarvetta uuden infrastruktuurin rakentamiselle. Purkavan lisärakentamisen kautta uusien asuntojen tuotanto voidaan suunnata yhdyskuntarakenteessa alueille, jossa arkiliikkumisen päästöt ovat pienempiä kuin uudisalueilla, jotka ovat usein huonommin sijoittuneita.	Purkavan lisärakentamisen ja muun täydennysrakentamisen kautta voidaan turvata lähipalvelujen säilymistä asuinalueilla. Aiempaa tehokkaampi rakentaminen voi pienentää asuintalojen pihojen viher-alueita ja puistomaisia näköaloja ja tätä kautta heikentää asuin ympäristön laatua.	Purkava lisärakentaminen on kannattavaa ainoastaan korkeiden asuntohintojen ja asutokysynnän alueella. Päätöksenteko purkavasta lisärakentamisesta ei tapahdu helposti. Tällä hetkellä purkava lisärakentaminen edellyttää asunto-osakeyhtiön yksimielistä päätöstä. Eduskunnassa käsiteltävänä oleva hallituksen esitys asunto-osakeyhtiölain muuttamisesta sisältää muutoksen, jonka mukaan asunto-osakeyhtiön yhtiökokous voisi 4/5 määräenemmistöllä päättää sellaisesta purkavasta uusrakentamisesta, jossa osakkaat

			saavat uudesta rakennuksesta uudet huoneistot yhdenvertaisuusperiaatteen mukaisesti.
Reuna-alueiden rakennuskannan kehitys			
maaseutuasuminen vähenee	<p>Arkimatkojen matkasuoritteet pienenevät, kun pitkien työ- ja asiointimatkojen alueella asuvien määrä vähenee. Toisaalta maaseudun taajamissa monet peruspalvelut ovat lähellä, ja väestön väheneminen heikentää palvelutasoa, mikä pidentää matkoja.</p> <p>Vakituisten väestön väheneminen lisää tyhjien asuntojen määrää. Osaa tyhjästä taloista pidetään peruslämmössä ja käytetään loma-asuntona, mikä lisää energiankulutuksen päästöjä.</p>	Maaseutuasumisen väheneminen johtaa maaseudun palvelutarjonnan supistumiseen fyysisten palvelupisteiden osalta ja paikallisyhteisön heikkenemiseen, jolloin elinympäristön laatu huononee.	
Palvelurakennusten tilatehokkuus			
tarve vähenee, vajaakäyttöisyys, tiivistyy/paranee	Tilatehokkuuden parantuminen vähentää palvelurakennusten pinta-alan ja tilavuuden tarvetta ja siten rakentamisesta, rakennusten käytöstä ja rakennusten käytöstä poistosta aiheutuvia ilmastopäästöjä.	Tilatehokkuuden parantuminen pienentää rakentamisen, rakennusten käytön ja käytöstä poiston ympäristövaikutuksia. Voi aiheuttaa negatiivisia vaikutuksia ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin.	
Korjausrakentaminen ja jälkiasennukset			
korjausrakentamisen nykytrendi/hidastuu/voimistuu	Korjausrakentamisen trendi ja sitä kautta ilmastovaikutukset linkittyvät uudisrakentamisen kehittymiseen.	energiaremontteja toteutettaessa on mahdollista ratkaista osa nykyisistä sisäilmaongelmista, mutta samalla tulee varmistaa, että korjaukset eivät aiheuta uusia sisäilmariskejä.	
integroitu energiantuotanto			
Uudisrakentamisen määrä			
Uudisrakentamisen määrä vähenee/keskitaso/nykytaso/voimistuu	Uudisrakentaminen lisää luonnonvarojen käyttöä ja siitä aiheutuvia ilmastopäästöjä. Rakennusmateriaalien valinnalla, suunnittelulla ja toteutuksella voidaan vaikuttaa rakentamisen, rakennuksen käytön aikaisiin ja rakennuksen käytöstä poistamisen päästöihin.	Muut ympäristövaikutukset linkittyvät rakentamiseen liittyviin valintoihin ja toteutukseen.	
uudet energiateknologiat	ks. alla		
Loma-asuminen			
mökkien määrä/kaupallinen palvelutuotanto ja alustatalous	Mökkien määrä kasvattaa vaikutuksia rakentamisen, lämmityksen ja tavaroiden kulutuksen kautta. Alustatalous voi vähentää tarvetta rakentaa ja ylläpitää mökkejä. Mökkeily lisää päästöjä mökkimatkojen kautta.	Rakentamisella, mökkien energiankulutuksella ja varustelulla on muitakin ympäristövaikutuksia. Mökkeily liittyy ihmisten luontosuhteeseen. (Pitkänen 2011)	Alustatalous saattaa lisätä mökkeilyä niiden joukossa, kenellä ei ole omaa mökkiä, tai lisätä silti loma-asumisen kulutusta mökkeilyyn ohella.

varustetaso, talviasuttavuus	Energian kulutuksen kasvu kasvat- taa ilmastovaikutuksia.	Energian kulutuksen kasvu kas- vattaa muita ympäristövaikutuk- sia.	
sähköistyminen (ja käyttö- voima)	Sähköistyminen voi pienentää pääs- töjä, riippuen energiatuotantota- vasta (ks. energiantuotanto).	Sähköistyminen voi pienentää muitakin ympäristövaikutuksia (ks. energiantuotanto).	
uudisrakentaminen	Uudisrakentaminen lisää ympäristö- vaikutuksia rakentamisen osalta, käytönaikaiset päästöt voivat laskea energiatehokkuuden kautta, jos uu- disrakentaminen korvaa vanhaa mökkikantaa ja varustetaso pysyy vakiona.	Myös muita ympäristövaikutuk- sia	
Liikenne ja liikkuminen			
sähköistyminen voima- kasta/vähäistä	Sähköistyminen vähentää liikenteen ilmastopäästöjä. Sähköautojen, inf- ran ja sähkön tuotannon päästöt riippuvat sähköntuotantomuotojen kehittymisestä (Soimakallio ym. 2011).	Parantaa ilmanlaatua kaupunki- alueilla, Sähköautot vähentävät melu- haittaa ja polttoperäisiä ilman- saasteita ja parantavat sitä kautta viihtyvyyttä ja terveyttä (Soimakallio ym. 2017).	
joukkoliikenne (kaupun- geissa, kaikkialle)	Joukkoliikenne vähentää ilmasto- päästöjä yksityisautoiluun verrattuna henkilö-kilometriä kohden. Koko- naisvaikutukset riippuvat mm. siitä, miten paljon yksityisautoilu vähe- nee.	Parantaa ilmanlaatua kaupunki- alueilla. Julkisen ja kevyen lii- kenteen osuuden kasvu lisää mm. liikkumisen myönteisiä terveysvaikutuksia.	Henkilöauton omistus voi johtaa "lock-in" -ti- lanteeseen, jossa jouk- koliikenteen kysyntä ei kasva sillä oman auton käyttö on, tai se koe- taan taloudellisesti kan- nattavaksi silloin kun sellainen on jo talou- teen hankittu (Ivanova ym. 2018). Taloudellisen kustannusten lisäksi liikkumistapojen vaihta- miseen voi liittyä muu- tosta hidastavia tottu- muksia. On lisäksi riski, että po- litiikassa keskitytään ajoneuvoteknologiaan ja polttoaineisiin, jolloin joukkoliikenteen ja mui- den kuin henkilöautoihin perustuvien kulkutapo- jen olosuhteet eivät ke- hity riittävästi suhteessa henkilöautoiluun. (Ks Kivimaa & Virkamäki 2013 ja Upham ym. 2013)
MAAS	Uudenlaiset liikkumisen konseptit voivat pienentää yksityisautoilua, ja vähentää tätä kautta päästöjä.	Myös ilmapäästöt voivat pienen- tyä.	Voivat kasvattaa pääs- töjä jos houkuttelevat autottomia kotitalouksia yksityisautoilun piiriin.
kimppakyydit	Kimppakyydit vähentävät päästöjä silloin kun ne korvaavat yksityisau- toilua.	Kimppakyydit parantavat ilman- laatua pienentäessään yksityis- autoilua.	Voivat kasvattaa pääs- töjä jos kimppakyydit yleistyvät joukkoliiken- teen kustannuksella.
matkustamisen määrä (loma- ja työmatkailu)	Liikennesuoritteiden määrä linkittyy suoraan ilmastovaikutuksiin.	Ilmansaasteiden määrä saattaa kasvaa, mutta niiden terveysvai- kutukset riippuvat siitä, kuinka paljon loma- ja työmatkailun muuttuminen kohdistuu erityi- sesti tiiviisti asutuille alueille.	Globaali matkailun kasvu lisää ulkomaisten matkailijoiden määrää Suomessa, mikä lisää matkailuun liittyvän lii- kenteen ja muun toimin- nan päästöjä ja muuta

			ympäristökuormitusta Suomen alueella.
tavaraliikenne (kysynnän määrä)	Liikennesuoritteiden määrä linkittyä suoraan ilmastovaikutuksiin, jotka tosin riippuvat käyttövoimasta ja sen tuotannon ilmastovaikutuksista.	tavaraliikenne lisää melua ja aiheuttaa ilmansaasteita.	
biojalosteet (meri- ja lentoliikenteessä, raskas liikenne)	Biopolttoaineiden tuotannon lisäyksen ilmastovaikutukset riippuvat erityisesti biopolttoaineiden raaka-aineista (Soimakallio ym. 2009).	Muut ympäristövaikutukset riippuvat voimakkaasti biopolttoaineiden raaka-aineista. Vähentää terveydelle haitallisia pakokaasupäästöjä fossiilisiin polttoaineisiin nähden. (Soimakallio ym. 2009)	
Energiantuotanto			
tuuli- ja aurinko	Tuuli- ja aurinkoenergia vähentävät ilmastovaikutuksia korvattaessaan päästöintensivisempiä energian tuotantomuotoja. Sähkön tuotannon ominaiskasvihuonekaasupäästöt ovat tyypillisesti verrattain alaiset.	Vähentää ilmansaastepäästöjä korvattaessaan polttoon perustuvaa energiantuotantoa. Harvinaisten metallien tarve voi muodostua haasteeksi.	
energiavarastot	Energiavarastot vähentävät vara- ja säästövoiman tarvetta ja sitä kautta pienentävät vaihtelevaan tuotantoon liittyviä ilmastovaikutuksia.	Energiavarastojen rakentaminen vaatii luonnonvaroja ja maata.	Raaka-aineiden saatavuus ja hinta voivat rajoittaa laajamittaista kaupallistumista.
ydinvoima (keskeinen/heikeneneminen/poistuminen) ja SMR	Ydinvoima vähentää ilmastovaikutuksia korvattaessaan päästöintensivisempiä energian tuotantomuotoja.	Uraanin louhinnan ja rikastamisen aiheuttamat ympäristövaikutukset kaivosalueella; ydinvoimaloihin ja jätteeseen liittyvät turvallisuusriskit	Ydinvoiman lisäämisen hitaus; hyväksyttävyyteen liittyvät kysymykset; SMR ei vielä kaupallinen
teolliset symbioosit & energiatehokkuus	Teolliset symbioosit voivat parhaimmillaan hyödyntää energiaa tehokkaasti, ilmastovaikutukset pienenevät	Myös muita myönteisiä ympäristövaikutuksia, liittyen mm. resurssien käytön tehokkuuteen	Teollisten symbioosien rakentuminen jonkun tietyn ydintoiminnon ympärille voi johtaa lock-in tilanteeseen.
bioenergia	Puuenergian käytön lisäys korvaa turpeen ja kivihiilen käyttöä. Metsähakkeen käytön lisääminen pienentää metsien hiilinielua (Soimakallio ym. 2017). Ilmastovaikutukset riippuvat pitkälti bioenergian raaka-aineista (Soimakallio ym. 2009).	Voi lisätä uhkaa luonnon monimuotoisuuden heikentymiselle ja lisätä vesistökuormitusta. Voi lisätä kilpailua puuraaka-aineesta esim. biopolttoaineiden ja puun materiaalikäytön kanssa. (Soimakallio ym. 2017)	Voi lisätä kilpailua puuraaka-aineesta esim. biopolttoaineiden ja puun materiaalikäytön kanssa. Bioenergian käytön hyväksyttävyyteen liittyvät kysymykset saattavat rajoittaa bioenergian käyttöä.
Teollisuuden prosessit ja KHK-päästöjen vähentäminen			
teräs, sementti, sellu masuunit uudet korkean arvonlisän tuotteet fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen	Päästöintensivisen teollisuuden kasvu lisää ilmastopäästöjä, ellei tuotantoprosessien päästöjen vähentämisessä onnistuta.	Korkean arvonlisän tuotteet ja innovatiiviset päästöt vähentävät teollisuuden ratkaisut voivat tuoda taloudellista hyötyä.	Toisaalta esim. kiertotalouden hyödyntäminen ja tehokkaat innovatiiviset vähähiiliset/hiilettömät menetelmät teräksen ja betonin valmistuksessa voivat globaalisti pienentää päästöjä (Material Economics 2018).
Arvot, käyttäytyminen			
palveluiden kulutus	Jos tavaroiden omistusta korvataan palveluilla, ilmastovaikutukset voivat pienentyä.	Muut ympäristövaikutukset linkittyvät suuntaan, jonka palveluiden kulutus aiheuttaa materiaalien ja energian kulutukselle.	Eri väestöryhmät voivat olla hyvin erilaisessa asemassa sen suhteen, kuinka helposti he voivat osallistua jakamistalouteen tai kuinka tehokkaasti he voivat hyödyntää esimerkiksi liikennepalvelujen digitalisaatiota.

säästäminen ja kulutuksen määrä	Yleisesti kuluttajien halukkuus ostaa erilaisia tavaroita ja palveluja sekä kierrättää materiaaleja vaikuttaa ratkaisevasti kulutukseen ja parantaa sitä kautta edellytyksiä vähentää päästöjä. Kulutuksen pienentäminen yleisesti vähentää kulutukseen kytkeytyviä ilmastovaikutuksia.	Muut ympäristövaikutukset vähentyvät yleisen kulutuksen vähentyessä ja kasvavat kulutuksen lisääntyessä.	Kotimaisen kysynnän muutokset voivat kuitenkin muuttaa viennin ja tuonnin suhteita, eivätkä vaikutukset siten välttämättä näy Suomen päästötaseessa. Rebound-vaikutuksen riski on olemassa, eli osa säästön päästövähennyksestä siirtyy kulutuksen kasvuksi ja päästöiksi toisaalla (Chitnis ym. 2014).
vähähiilisyys	Vähähiilisyyden huomiointi kulutuksessa pienentää ilmastopäästöjä.	Muut ympäristövaikutukset riippuvat siitä, minkälaisiin ratkaisuihin vähähiilisyyden tavoittelu kohdistuu.	
ympäristötietoisuus	Tiedollisella ohjauksella syntyy enemmän 'ilmastokansalaisia', jotka ovat valmiit käyttämään aikaa, energiaa ja omia voimavaroja ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi.	Muut ympäristövaikutukset riippuvat ratkaisuista.	Tietoisuuden lisääminen voi johtaa käytökseen, mutta ei yksin. Myös muut tekijät vaikuttavat, kuten motivaatio, arvot, ja rakenteelliset seikat, kuten kulttuuriset normit, kyky toimia ja käytettävissä olevat resurssit. Lisäksi toimintaympäristö, kuten liikenneväylät, rakennettu- ja digitaalinen ympäristö joko mahdollistaa tai rajoittaa ympäristötietoista toimintaa. (Moore ja Boldero 2017, Kaaronen ym. 2017) Odotukset ovat suuret ja toimien onnistuminen edellyttää, että löytyy toimintamalleja, jotka ovat myös yksityistaloudellisesti kannattavia. Toimet vaativat onnistukseen johdonmukaista tukea muilta politiikan alueilta (energian hinnoittelumallit, fossiilisen energian maksut/käyttörajoitukset, liikenne- ja liikkumisratkaisut jne.). Ilmastonäkökulman omaksuminen ei ole itsestään selvää, vaikka tiedollinen ohjaus olisi laadukasta.
kompensointi	Päästöjen kompensointi vähentää päästöjä, jos kompensointi on 'lisäistä' toimintaa. kompensoitujen päästöjen toteutumiseen/pysyvyyteen liittyy epävarmuuksia. Globaalilla kompensoinnilla tulee rajat vastaan jossain vaiheessa.	Päästöjen kompensoinnin muut ympäristövaikutukset riippuvat kompensoinnin keinoista (ostetaan päästökaupan kiintiöitä, istutetaan metsää, puhtaan teknologian ratkaisut kehitysmaissa, metsämaan toimet suomessa jne.).	Kompensoinnin todellinen päästöjä vähentävä vaikutus epävarmaa. Kotitalouksien vapaaehtoisiin päästökompensatioihin liittyy riski, että vain pieni joukko ihmisiä kompensoi jolloin vaikutus jää pieneksi vaikka päästövähennykset olisivat todellisia.

kulutuksen määrä	Yleisesti kuluttajien halukkuus ostaa erilaisia tavaroita ja palveluja sekä kierrättää materiaaleja vaikuttaa ratkaisevasti kulutukseen ja parantaa sitä kautta edellytyksiä vähentää päästöjä.	Vaikutus myös muihin ympäristövaikutuksiin	Kotimaisen kysynnän muutokset voivat kuitenkin muuttaa viennin ja tuonnin suhteita, eivätkä vaikutukset siten välttämättä näy suoraan Suomen päästötsessä.
oman energian tuotanto	Ilmastovaikutus riippuu siitä, mitä tuotanto lisätään ja mitä sen seurauksena vähentyy. Vaikutusten luonne ja suunta riippuvat mm. huipputehon tuotannon toteutuksesta.	Kuluttajien muuttuminen enenevissä määrin myös energian tuottajiksi kiinteistökohtaisten energijärjestelmien myötä lisää osallisuuden kokemusta energia-murroksessa ja luo edellytyksiä aktiiviselle energia-kansalaisuudelle.	Kansalaisten vapaaehtoisen investointihalukkuuden kehittyminen on epävarmaa.
lihan kulutus	Yleisesti lihan tuottaminen aiheuttaa enemmän ilmastokuormaa kuin kasvisruoan tuottaminen (Macdiarmid ym. 2012, Scarborough ym. 2014). Suomalaiset kuluttavat lihaa yli ravintosuosituksen (Helldán ym. 2013). Siirtymällä ravintosuosituksen mukaiseen kasvispainotteisempaan ruokavalioon kuluttajat voivat myös välillisesti vaikuttaa maataloustuotteiden kysyntään ja siten päästöihin.	Ruokavaliomuutos kasvispainotteisempaan suuntaan johtaisi myös terveyshyötyihin (Godfray ym. 2018).	Päästöhyötyjen realisoituminen Suomessa edellyttäisi kuitenkin kuluttajien ruokatottumusten laajamittaisen muutoksen lisäksi uutta maatalouspoliittista linjausta, jotta kysynnän muutos näkyisi tuotannon vähentymisenä Suomessa. (Poore ja Nemecek 2018). Kulutusmuutokset kohti ravintosuosituksen mukaisempaa ruokavaliota edellyttävät kestäviä elintarvikevalintoja tukevaa politiikkaa. Toisaalta lihankulutus Suomessa ei ole kääntynyt laskuun (Luke 2017).

Lähteitä:

Ala-Mantila, S., Heinonen, J. and Junnila, S., 2014. Relationship between urbanization, direct and indirect greenhouse gas emissions, and expenditures: A multivariate analysis. *Ecological Economics*, 104, pp.129-139.

Chitnis, M., Sorrell, S., Druckman, A., Firth, S.K. and Jackson, T., 2014. Who rebounds most? Estimating direct and indirect rebound effects for different UK socioeconomic groups. *Ecological Economics*, 106, pp.12-32.

Czepkiewicz, M., Ottelin, J., Ala-Mantila, S., Heinonen, J., Hasanzadeh, K. and Kytä, M., 2018a. Urban structural and socioeconomic effects on local, national and international travel patterns and greenhouse gas emissions of young adults. *Journal of Transport Geography*, 68, pp.130-141.

Czepkiewicz, M., Heinonen, J. and Ottelin, J., 2018b. Why do urbanites travel more than do others? A review of associations between urban form and long-distance leisure travel. *Environmental Research Letters*, 13(7), p.073001.

Fuss, S., Lamb, W.F., Callaghan, M.W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T. and Luderer, G., 2018. Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters*, 13(6), p.063002.

Gill, B. and Moeller, S., 2018. GHG emissions and the rural-urban divide. A carbon footprint analysis based on the German official income and expenditure survey. *Ecological Economics*, 145, pp.160-1

Godfray, H.C.J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J.W., Key, T.J., Lorimer, J., Pierrehumbert, R.T., Scarborough, P., Springmann, M. and Jebb, S.A., 2018. Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399), p.eaam5324.

Helldán A, Raulio S, Kosola M, Tapanainen H, Ovaskainen M, Virtanen S. The national FINDIET 2012 survey. Helsinki: National Institute for Health and Welfare; 2013. Report No.: 16.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

Ivanova, D., Vita, G., Wood, R., Lausset, C., Dumitru, A., Krause, K., Macsinga, I. and Hertwich, E.G., 2018. Carbon mitigation in domains of high consumer lock-in. *Global environmental change*, 52, pp.117-130.

Kaaronen, R.O., 2017. Affording sustainability: adopting a theory of affordances as a guiding heuristic for environmental policy. *Frontiers in psychology*, 8, p.1974.

Kivimaa, P. and Virkamäki, V., 2014. Policy mixes, policy interplay and low carbon transitions: the case of passenger transport in Finland. *Environmental Policy and Governance*, 24(1), pp.28-41.

Leviäkangas, P. 2016. Digitalisation of Finland's transport sector. *Technology in Society* 47, 1-15.

Luke 2017. Mitä Suomessa syötiin vuonna 2017. <https://www.luke.fi/uutiset/mita-suomessa-syotiin-vuonna-2017/>

Luyssaert, S., Marie, G., Valade, A., Chen, Y.Y., Djomo, S.N., Ryder, J., Otto, J., Naudts, K., Lansø, A.S., Ghattas, J. and McGrath, M.J., 2018. Trade-offs in using European forests to meet climate objectives. *Nature*, 562(7726), p.259.

Macdiarmid, J.I., Kyle, J., Horgan, G.W., Loe, J., Fyfe, C., Johnstone, A. and McNeill, G., 2012. Sustainable diets for the future: can we contribute to reducing greenhouse gas emissions by eating a healthy diet?—. *The American journal of clinical nutrition*, 96(3), pp.632-639.

Material economics, 2018. The circular economy – a powerful force for climate mitigation. 2018.

Minx, J.C., Lamb, W.F., Callaghan, M.W., Fuss, S., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J. and Khanna, T., 2018. Negative emissions—Part 1: Research landscape and synthesis. *Environmental Research Letters*, 13(6), p.063001.

Moore, H.E. and Boldero, J., 2017. Designing Interventions that Last: A Classification of Environmental Behaviors in Relation to the Activities, Costs, and Effort Involved for Adoption and Maintenance. *Frontiers in psychology*, 8, p.1874.

Ottelin, J., Heinonen, J. and Junnila, S., 2018. Carbon footprint trends of metropolitan residents in Finland: how strong mitigation policies affect different urban zones. *Journal of Cleaner Production*, 170, pp.1523-1535.

Pihkola, H., Hongisto, M., Apilo, O., & Lasanen, M. (2018). Evaluating the Energy Consumption of Mobile Data Transfer—From Technology Development to Consumer Behaviour and Life Cycle Thinking. *Sustainability*, 10(7), 2494. <https://doi.org/10.3390/su10072494>

Pitkänen, Kati, 2011. Mökkimaisema muutoksessa. kulttuurimaantieteellinen näkökulma mökkeilyyn. Itä-Suomen yliopisto, 2011

Yhteiskuntatieteiden ja kauppätieteiden tiedekunta / Historia- ja maantieteiden laitos. Väitöskirja. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Social Sciences and Business Studies., no 31

Poore, J. and Nemecek, T., 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), pp.987-992.

Rantala, S., Mustonen, M., Katila, P. 2018. Metsät muuttuvassa maailmassa: kansainväliset trendit ja keskeiset haasteet: Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) taustaselvitys Kansainvälisen luonnonvarapolitiikan yhteistyöverkostolle. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 1/2018. 54 p.

Reuter, M.A., 2016. Digitalizing the Circular Economy. *Metallurgical and Materials transactions B*, 47(6), pp.3194-3220.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J. and Nykvist, B., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), p.472.

Sathre, R. and O'Connor, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental science & policy*, 13(2), pp.104-114.

Scarborough, P., Appleby, P.N., Mizdrak, A., Briggs, A.D., Travis, R.C., Bradbury, K.E. and Key, T.J., 2014. Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. *Climatic change*, 125(2), pp.179-192.

Shafiei, S. & Salim, R. 2014. Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis
Energy Policy 2014, 66, 547-556. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513010872>

Sitra 2014, kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle. Sitran selvityksiä 84, Helsinki.

Skene, K.R. 2018. Circles, spirals, pyramids and cubes: why the circular economy cannot work. *Sustainability Science*, 13(2), pp.479-492.

Spracklen, D.V., Bonn, B. and Carslaw, K.S., 2008. Boreal forests, aerosols and the impacts on clouds and climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1885), pp.4613-4626.

Springmann, M. 2018. Options for Keeping the Food System within Environmental Limits. *Nature* 562, 519–525.

Soimakallio, S., Antikainen, R. and Thun, R., 2009. Assessing the sustainability of liquid bio-fuels from evolving technologies. A Finnish Approach. Technical Research Centre of Finland (VTT) Research Notes, 2482.

Soimakallio, S., Kiviluoma, J. and Saikku, L., 2011. The complexity and challenges of determining GHG (greenhouse gas) emissions from grid electricity consumption and conservation in LCA (life cycle assessment)—a methodological review. *Energy*, 36(12), pp.6705-6713.

Soimakallio, S., Saikku, L., Valsta, L. and Pingoud, K., 2016. Climate Change Mitigation Challenge for Wood Utilization - The Case of Finland. *Environmental science & technology*, 50(10), pp.5127-5134.

Soimakallio, S., Hildén, M., Lanki, T., Eskelinen, H., Karvosenoja, N., Kuusipalo, H., Lepistö, A., Mattila, T., Mela, H., Nissinen, A., Ristimäki, M., Rehunen, A., Repo, A., Salonen, R., Savolahti, M., Seppälä, J., Tiittanen, P., Virtanen, S. 2017. Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman ympäristövaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 59/2017.

Upham, P., Kivimaa, P. and Virkamäki, V., 2013. Path dependence and technological expectations in transport policy: the case of Finland and the UK. *Journal of Transport Geography*, 32, pp.12-22.

Wiedenhofer, D., Smetschka, B., Akenji, L., Jalas, M. and Haberl, H., 2018. Household time use, carbon footprints, and urban form: a review of the potential contributions of everyday living to the 1.5 C climate target. *Current opinion in environmental sustainability*, 30, pp.7-17.



VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

tietokayttoon.fi

ISSN 2342-6799 (pdf)
ISBN 978-952-287-656-0 (pdf)

