

Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimien ympäristövaikutusten arviointi

Sampo Soimakallio, Päivi Tikkakoski, Johanna Niemistö, Mikko Savolahti,
Antti Rehunen, Jyri Seppälä, Mikael Hildén

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2021:64

tietokayttoon.fi

Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimien ympäristövaikutusten arviointi

Sampo Soimakallio, Päivi Tikkakoski, Johanna Niemistö,
Mikko Savolahti, Antti Rehunen, Jyri Seppälä, Mikael Hildén

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Julkaisumyynti

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston
verkkokirjakauppa**

Statsrådets
nätbokhandel

vnjulkaisumyynti.fi

Valtioneuvoston kanslia

© 2021 tekijät ja valtioneuvoston kanslia

ISBN pdf: 978-952-383-279-4

ISSN pdf: 2342-6799

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2021

Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimien ympäristövaikutusten arviointi

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:64

Julkaisija Valtioneuvoston kanslia

Tekijä/t Sampo Soimakallio, Päivi Tikkakoski, Johanna Niemistö, Mikko Savolahti, Antti Rehunen, Jyri Seppälä, Mikael Hildén

Yhteisötekijä Suomen ympäristökeskus SYKE

Kieli suomi **Sivumäärä** 197

Tiivistelmä Tässä raportissa esitetään "Hiilineutraali Suomi 2035 - ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset" (HIISI) -hankkeen osatehtävänä toteutettu ympäristövaikutusten (SOVA) arviointi. HIISIn tavoitteena oli tuottaa tietoa tukemaan ilmasto- ja energiastrategian, keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman (KAISU) sekä EU:ssa Suomelle sovittujen päästövähennysvelvoitteiden saavuttamista. SOVA-arviointi keskittyy keskeisiksi tunnistettuihin potentiaalsiin ympäristövaikutuksiin. Aiheen laajuuden vuoksi suuri osa arvioinnista on laadullista.

Ilmastotavoitteiden saavuttamisella on lähtökohtaisesti myönteisiä ympäristö- ja terveysvaikutuksia, kun ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ympäristöön saadaan samalla hillittyä. Ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää kuitenkin merkittäviä muutoksia tavoissa tuottaa ja kuluttaa energiaa ja materiaalia, mihin sisältyy huomattavaa rakentamista ja luonnonvarojen käyttöä. Tämä aiheuttaa myös haitallisia ympäristövaikutuksia, kuten luonnon monimuotoisuuden, vesistöihin, ilmaan ja maaperään sekä ihmisten elinoloihin, hyvinvointiin ja viihtyvyyteen kohdistuvia vaikutuksia. Ilmastotavoitteiden saavuttaminen ja siihen liittyvät vaikutukset riippuvat kuitenkin voimakkaasti siitä, miten tarvittavat ohjaukset ja sääntely ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi toteutetaan.

Klausuuli Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa.(tietokayttoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

Asiasanat tutkimus, tutkimustoiminta, energiastrategia, ilmastostrategia, keskipitkän aikavälin suunnittelu, ympäristövaikutusten arviointi

ISBN PDF 978-952-383-279-4

ISSN PDF 2342-6799

Julkaisun osoite <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-279-4>

Kolneutralt Finland 2035 - klimat- och energipolitiska åtgärder och verklingar

Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2021:64

Utgivare Statsrådets kansli

Författare Sampo Soimakallio, Päivi Tikkakoski, Johanna Niemistö, Mikko Savolahti, Antti Rehunen, Jyri Seppälä, Mikael Hildén

Utarbetad av Finlands miljöcentral

Språk finska **Sidantal** 197

Referat Rapporten presenterar resultaten av det delprojekt som genomförde den strategiska miljöbedömningen (SMB) inom ramen för projektet "Kolneutralt Finland 2035 - klimat- och energipolitiska åtgärder och verklingar" (HIISI). HIISI projektets mål har varit att producera den information som behövs för att uppnå de utsläppsmål som ställts upp i klimat- och energistrategin, den klimatpolitiska planen på medellång sikt (KAISU) samt i de gemensamma besluten som gjorts i EU för utsläppen. SMB:n fokuserar på de potentiella miljökonsekvenser som identifierats vara centrala. På grund av analysens omfattning är en stor del av bedömningen kvalitativ.

Utgångspunkten är att många av de miljö- och hälsokonsekvenser som beror på att man uppnår klimatmålen, är positiva, eftersom de kan bromsa klimatförändringens skadliga miljöeffekter. För att klimatmålen ska kunna nås krävs emellertid betydande förändringar i hur energi och material produceras och konsumeras, vilket leder till betydande byggverksamhet och användning av naturresurser. Detta kan även förorsaka negativa miljökonsekvenser, såsom minskning av naturens mångfald och belastning på vattendrag, luft och mark samt försämrade välfärd och trivsel. Hur klimatmålen uppnås och vilka övriga konsekvenser detta får beror emellertid i hög grad på vilka styrmedel som används och hur regleringen genomförs för att uppnå klimatmålen.

Klausul Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan.(tietokaytoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.

Nyckelord forskning, forskningsverksamhet, energistrategi, klimatstrategi, planering på medellång sikt, miljökonsekvensbedömning

ISBN PDF 978-952-383-279-4

ISSN PDF 2342-6799

URN-adress <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-279-4>

Carbon neutral Finland 2035 - Environmental impact assessment of energy and climate policy actions

Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2021:64

Publisher Prime Minister's Office

Author(s) Sampo Soimakallio, Päivi Tikkakoski, Johanna Niemistö, Mikko Savolahti, Antti Rehunen, Jyri Seppälä, Mikael Hildén

Group author Finnish Environmental Institute

Language Finnish **Pages** 197

Abstract This report presents the Strategic Environmental Impact Assessment (SOVA) carried out as a part of the "Carbon Neutral Finland 2035 - Climate and Energy Policy Actions and Impacts" (HIISI) project. HIISI's goal was to produce information to support the achievement of the Climate and Energy Strategy, the Medium-Term Climate Plan (KAISU) and the agreed EU's emission reduction targets. The SOVA assessment focuses on the identified potential environmental impacts. Due to the large scale of the topic, much of the evaluation is qualitative.

Achieving climate goals will have positive effects on the environment and health as the adverse effects of climate change on the environment are mitigated. Achieving climate goals will, however, require significant changes in the ways of producing and consuming both energy and materials, which entails significant construction and the use of natural resources. This causes also harmful environmental effects, such as impacts on biodiversity, water bodies, air and soil, and human living conditions and well-being. However, the achievement of climate goals and the associated impacts strongly depend on how the necessary policies and regulations to achieve them are implemented.

Provision This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

Keywords research, research activities, energy strategy, climate strategy, medium-term planning, environmental impact assessment

ISBN PDF 978-952-383-279-4

ISSN PDF 2342-6799

URN-address <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-279-4>

Sisältö

1	Johdanto	9
1.1	Tausta ja tavoitteet.....	9
1.2	Selvityksen toteutus ja menetelmät.....	12
1.2.1	Skenaarioiden laadinta ja keskeisimmät oletukset.....	13
1.2.1.1	Arvio nykyisistä ilmasto- ja energiapolitiikan toimista (WEM-skenaario).....	13
1.2.1.2	Arvio täydentävistä ilmasto- ja energiapolitiikkatoimista (WAM-skenaario).....	15
1.2.2	Ympäristövaikutusten arviointi (SOVA).....	17
2	Sektorikohtainen historiallinen päästökehitys ja arvioitu päästökehitys WEM-skenaariossa	21
2.1	Päästökauppasektori.....	21
2.1.1	Energiantuotanto.....	22
2.1.2	Teollisuuden prosessit.....	24
2.2	Taakanjakosektori.....	24
2.2.1	Liikenne.....	24
2.2.2	Maatalous.....	25
2.2.3	Rakennusten erillislämmitys.....	26
2.2.4	Jätteiden käsittely.....	26
2.2.5	Työkoneet.....	27
2.2.6	F-kaasut.....	27
2.3	LULUCF-sektori.....	28
2.4	Aiempien energia- ja ilmastostrategioiden päästökehitysarviot.....	30
3	Yleiskuva ilmasto- ja energiapolitiittisten toimien ympäristövaikutuksista	32
3.1	Vaikutukset kasvihuonekaasujen taseisiin.....	35
3.1.1	Vaikutukset Suomen rajojen sisällä.....	35
3.1.2	Vaikutukset Suomen rajojen ulkopuolella.....	38
3.2	Vaikutukset ilmanlaatuun.....	41
3.2.1	Ilmansaasteiden kansanterveydelliset vaikutukset Suomessa.....	42
3.2.2	Puulämmityksen vaikutus päästöjen ja ilmanlaadun kehitykseen.....	45
3.3	Vaikutukset luonnonvarojen käyttöön.....	47
3.3.1	Vähäpäästöisten teknologioiden materiaaliatarve.....	48

3.3.2	Resurssitehokkuus ja kiertotalous	50
3.3.3	Kulutuksen elinkaariset khk-päästöt	52
3.4	Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen.....	54
3.4.1	Metsät.....	55
3.4.2	Maatalous	57
3.4.3	Vaikutukset vesistöihin	60
3.5	Vaikutukset ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen	62
3.5.1	Yhdyskuntarakenteen muutoksen vaikutukset	62
3.5.2	Vähähiilisen elämäntavan vaikutukset terveyteen ja hyvinvointiin	65
3.5.2.1	Aktiivisten ja kestävien kulkutapojen lisääminen.....	65
3.5.2.2	Ilmastoystävällinen ruokavalio	66
3.5.3	Ilmastotoimien oikeudenmukaisuus ja hyväksyttävyyys.....	67
3.5.4	Vaikutukset Suomen rajojen ulkopuolella	71
4	Päästötavoitteiden saavuttamiseen liittyvät epävarmuudet	72
4.1	WEM-skenaariota taustaoletusten toteutumiseen liittyvät epävarmuudet.....	73
4.2	Päästökauppajärjestelmään, biomassan käyttöön, energiantuotantoon, teollisuuden prosesseihin ja työkoneisiin liittyvät epävarmuudet	74
4.2.1	Päästökauppajärjestelmän ja päästöoikeuksien hinnan kehitys.....	74
4.2.2	Biomassan käyttö	75
4.2.3	Energian tuotanto ja uusiutuva energia	76
4.2.4	Teollisuuden prosessit ja työkoneet	77
4.3	Liikenteen sähköistymiseen ja biopolttoaineiden osuuden kehittämiseen liittyvät epävarmuudet	78
4.4	Maataloussektorin kehittämiseen liittyvät epävarmuudet	79
4.5	Metsien hiilinieluun liittyvät epävarmuudet.....	80
4.6	Toimintaympäristön muutosten tuomat epävarmuustekijät	81
5	Ympäristövaikutusten arvioinnin ja seurannan kehittäminen	83
5.1	Vaikutusten arvioinnin haasteet ja mahdollisuudet kehittää seurantaa	83
5.2	Ehdotuksia skenaarioiden laadinnan ja vaikutusten arvioinnin parantamiseksi	86
6	Yhteenveto.....	88
	Liite 1. SOVA-työkalut.....	94
	Lähteet.....	176

LUKIJALLE

Sanna Marinin hallitusohjelman (Valtioneuvosto 2019) tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Hallitusohjelman mukaan päästövähennysten tulee olla vähintään 80 prosenttia vuoden 1990 päästötasosta vuoteen 2050 mennessä. Uudistettavaan ilmastolakiin esitetään lisättäväksi päästövähennystavoitteet vuosille 2030 ja 2040, minkä lisäksi vuoden 2050 tavoite päivitetään hiilineutraaliuspolun mukaisesti. Hallitusohjelmassa todetaan myös, että

”Ekologisesti kestävä Suomi näyttää tietä ilmastomuutoksen hillitsemisessä ja luonnon monimuotoisuuden turvaamisessa” ja ”Pohjoismainen hyvinvointivaltio yhdistettynä luonnonvarojen vastuulliseen ja vähenevään käyttöön on yhteiskuntamalli, joka takaa maamme tulevaisuuden kilpailukyvn.”

EU:n Suomelle asettamien päästövähennysvelvoitteiden sekä Marinin hallituksen asettaman hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi Suomen energia- ja ilmastostrategian¹ ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (KAISU) päivittäminen on käynnissä. Valtioneuvoston tilaama HIISI-hanke (*Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset*) tuo osaltaan tutkimustietoa erilaisten ilmasto- ja energiapolitiittien toimien käyttöönoton mahdollisista vaikutuksista. Laskennallisia ja laadullisia arvioita on tehty teknologioiden, järjestelmien, energia- ja päästösektorien, suorien kustannusten, kansan ja valtiontalouden, ympäristöllisten ja sosiaalisten vaikutusten osalta.

Tässä raportissa esitetään HIISI-hankkeen osana toteutettu toimien ympäristövaikutusten (SOVA) arviointi. Hankkeen muissa osaraporteissa tarkastellaan energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä (Lehtilä ym. 2021a), maatalouden ja maankäyttösektorin kehitystä (Maanvilja ym. 2021), puun tarjontaa yksityisen metsänomistajan näkökulmasta (Horne ym. 2021) sekä kansantalouden ja toimialojen kehitystä (Honkatukia 2021). Hankkeen tulosten yhteenveto ja johtopäätökset esitetään lisäksi synteesisraportissa (Koljonen ym. 2021).

Tekijät

¹ Nyt valmisteltava strategia on nimeltään ilmasto- ja energiastrategia.

1 Johdanto

1.1 Tausta ja tavoitteet

Euroopan Unionin (EU) sekä kansallisen tason vuoteen 2030 saakka sovitut ilmastotavoitteet, toimenpiteet ja niiden vaikutukset jakautuvat kasvihuonekaasutaseiden osalta päästökauppasektorille, taakanjakosektorille sekä maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous eli LULUCF-sektorille (lisätietoja infolaatikko ja Kuva 1). Kasvihuonekaasutaseet muodostuvat eri lähteistä aiheutuvista hiilidioksidi-, metaani-, typpioksiduuli- ja fluorattujen kasvihuonekaasujen päästöistä sekä nielujen aikaansaamista poistumista.

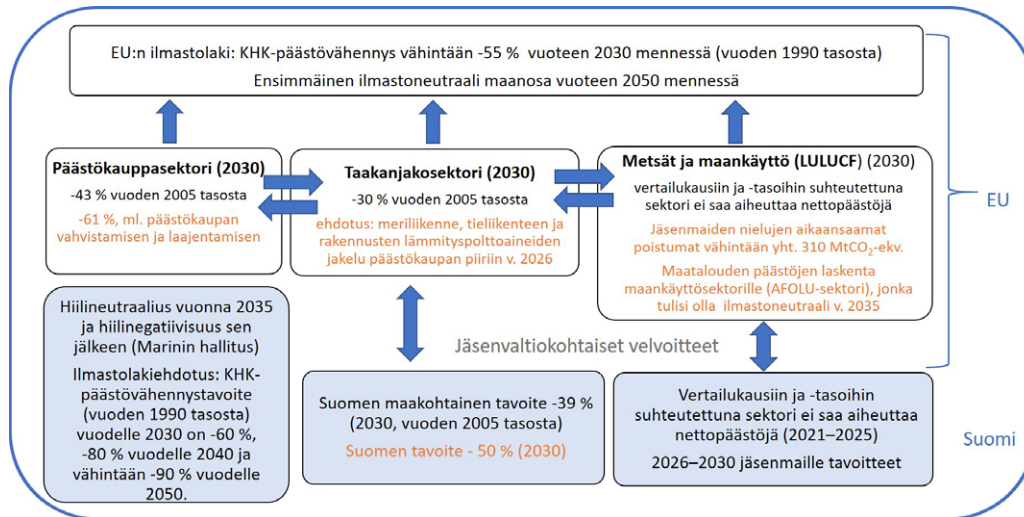
KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT JA -POISTUMAT JAKAUTUVAT ERI SEKTOREILLE

Päästökauppasektori EU:n päästökauppajärjestelmä kattaa suuret teollisuuslaitokset, yhteenlasketulta nimelliseltä lämpöteholtaan yli 20 MW:n laitokset sekä Euroopan talousalueen sisäisen lentoliikenteen. Suomessa järjestelmään kuuluu myös 20 MW tai sitä pienempiä kaukolämpöä tuottavia laitoksia. Suomen kansallinen päästökauppaviranomainen on Energiavirasto. Maksutta myönnettäviä päästöoikeuksia koskevat viranomaistehtävät hoiti päästökauppakaudella 2013–2020 Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) ja päästökauppakaudella 2021–2030 sitä hoitavat TEM ja Energiavirasto yhdessä. (TEM 2021a)

Taakanjakosektoriin kuuluvat liikenne, maatalous (muut kuin maaperän CO₂-päästöt), rakennusten erillislämmitys, työkoneet, jätehuolto ja fluorattujen kasvihuonekaasujen (F-kaasujen) päästöt.

LULUCF-sektori (Land Use, Land Use Change and Forestry) on YK:n ilmastositomuksen päästölaskentakategoria, joka kattaa maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsätalouden kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat. Biomassan hiilidioksidin poistumina raportoidaan metsien, maaperän ja puutuotteiden hiilivaraston kasvu. Biomassan ja -jalosteiden polton CO₂-päästöjä ei raportoida energiasektorilla, joka jakautuu sekä päästökauppaan että taakanjakosektoriin.

Kuva 1. EU:n ja Suomen ilmastotavoitteet (YM 2021a; 2021b). Euroopan Komission heinäkuussa 2021 ehdottamat päästövähennystavoitteet (Fit for 55) on merkitty kuvaan oranssilla värillä. Lopullisista velvoittavista toimista tullaan päättämään muutaman vuoden kuluessa.



Hallituskausittain valmistettava energia- ja ilmastostrategia käsittelee kaikkia edellä mainittuja sektoreita, KAISU puolestaan sisältää taakanjakosektorille keskittyvät toimenpiteet sekä arviot kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä ja toimenpiteiden vaikutuksista siihen. Sekä energia- ja ilmastostrategia että KAISU kuuluvat SOVA-lain (200/2005) soveltamisalan piiriin, jolloin viranomaisen tulee selvittää ja arvioida valmistelemiensä suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutukset.

Lausuntokierroksella olleen ilmastolakiehdotuksen mukaan Suomelle asetettaisiin tavoite olla hiilineutraali vuonna 2035. Lakiin sisällytettäisiin 60 prosentin päästövähennystavoite vuodelle 2030 ja 80 prosentin päästövähennystavoite vuodelle 2040, vuoden 1990 päästötasoon verrattuna. Voimassa olevaan ilmastolakiin sisältyvää vuoden 2050 tavoitetta päivitetäisiin siten, että päästövähennystavoite olisi 90 prosenttia vuoden 1990 tasosta, kuitenkin pyrkien 95 prosenttiin. (YM 2021c)

EU:n komissio toi heinäkuussa 2021 neuvotteluihin Green Dealin mukaiset ehdotukset, joilla EU:n ilmastotavoitteita vuoteen 2030 kiristetään -55 prosenttiin (mukaan lukien LULUCF-sektori) verrattuna vuoden 1990 päästötasoon. Ehdotuksen mukaan päästökauppasektorilla päästövähennys tulisi olemaan -61 prosenttia vuoteen 2030 mennessä, ja mahdollisesti erillisen päästökaupan piiriin otettaisiin vuonna 2026 alkaen meriliikenne sekä rakennusten lämmityspolttoaineiden ja tieliikenteen polttoaineiden jakelu. LULUCF-

sektorin osalta jäsenmaiden tulisi sitoutua kasvattamaan nielujen aikaansaamia poistumia yhteensä 310 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttonnia (Mt CO₂-ekv.)² vuoteen 2030 mennessä. Vuodet 2021–2025 tulitisiin toteuttamaan nykyisen, jo sovitun, asetuksen mukaisesti, kun taas vuosille 2026–2030 sovittaisiin jäsenmaakohtaiset tavoitteet ja kehityspolku. Lisäksi aiotaan yksinkertaistaa nykyistä laskentasäännöstöä ja lisätä seurannan läpinäkyvyyttä. Maankäyttösektoriin ryhdyttäisiin puolestaan vuonna 2031 alkaen laskemaan myös maatalouden päästöt. Tämän ns. AFOLU-sektorin tavoitteena olisi olla ilmastoneutraali vuonna 2035. Tarkempi lainsäädäntö sovittaisiin vuoteen 2025 mennessä. Uudeksi ilmastopolitiikan työkaluksi kaavailaan lisäksi hiilirajamekanismia, joka koskettaisi tiettyjä, kolmansista maista EU-alueelle tulevia tuotteita, kuten sähköä ja terästä. Kaiken kaikkiaan lainsäädäntöpakettin käsitellyn Euroopan parlamentissa ja neuvostossa odotetaan kestävän noin kaksi vuotta. (YM 2021b, EC 2021a)

Suomen pitkän aikavälin kokonaispäästökehitystä on tarkasteltu viime vuosina muutamissa skenaarioissa. VTT:n koordinoimissa PITKO- ja PITKO-jatko -hankkeissa (Koljonen ym. 2019; 2020) laadittiin arviot kasvihuonekaasupäästöjen kehitykselle päästökauppa- ja taakanjakosektoreilla (pl. maatalous). Kokonaistarkasteluihin liitettiin Luonnonvarakeskuksen MALULU- ja MALUSEPO -hankkeissa laatimat arviot maatalouden ja LULUCF-sektorin kasvihuonekaasutaseiden kehityksestä (Aakkula ym. 2019, Koljonen ym. 2020).

Valtioneuvoston yhteistä selvitys- ja tutkimustoimintaa (VN TEAS) toteuttava hanke ”Hiili- neutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset” (HIISI) -hankkeen aineistot pohjautuvat osittain edellä mainituille skenaariotarkasteluille. Se tuotti taustatietoa sekä KAISUn että uuden kansallisen ilmasto- ja energiastrategian laatimiseksi Marinin hallituksen asettaman hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi. HIISI-hankkeessa arvioitiin sekä laskennallisesti että laadullisesti erilaisia ilmasto- ja energiapolitiittisia toimia ja niiden vaikutusta teknologioiden ja muiden ratkaisujen käyttöön, tarvittaviin investointeihin sekä näihin kytkeytyviin ympäristövaikutuksiin. Toimien tavoitteena on saavuttaa EU:n Suomelle ehdottamat vuoteen 2030 ulottuvat päästövähennysveloitteet sekä uuden ilmastolain mukaiset tavoitteet, joihin sisältyy kansallinen hiilineutraaliustavoite vuonna 2035 ja sen jälkeinen hiilinegatiivisuus. Eri toimien ympäristövaikutusarviointeihin sovellettiin SOVA-lakia (200/2005). Lisäksi hankkeen tuottamia laskennallisia ja laadullisia analyysejä tullaan hyödyntämään Euroopan komissiolle toimitettavan integroidun energia- ja ilmastosuunnitelman laadinnassa.

² Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekv.) on suure, jolla eri kasvihuonekaasujen päästötonnin (tai muun painomitan kuten kilogramman) aiheuttama ilmasto lämmittävä vaikutus eli säteilypakote muutetaan yhteismittaiseksi hiilidioksidin päästötonnin aiheuttaman säteilypaketin kanssa. Yleensä näkökulmana on yhdisteen 100 vuoden aikana ilmakehää lämmittävä vaikutus.

1.2 Selvityksen toteutus ja menetelmät

HIISI-hanke toteutettiin Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n (VTT), Suomen ympäristökeskuksen (SYKE), Luonnonvarakeskuksen (Luke), Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) ja Pellervon taloustutkimuksen (PTT) yhteishankkeena, jota koordinoi VTT. SYKEN vastuualueena hankkeessa oli erityisesti suunniteltujen ilmasto- ja energiapolitiikan toimien ja hankkeessa tuotettujen skenaarioiden ympäristövaikutusten arviointi (SOVA), jonka tulokset tämä hankkeen itsenäinen raportti esittelee.

HIISI-hankkeessa laadittiin kaksi skenaariota ja arvioitiin niihin sisältyvien toimien vaikutusta kasvihuonekaasutaseisiin sekä muita mahdollisia ympäristövaikutuksia. Suomen nykyisten politiikkatoimien (With Existing Measures, WEM) -vertailuskenaarion pohjana ovat vuoteen 2030 ulottuvan kansallisen energia- ja ilmastostrategian (TEM 2017) ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman eli KAISUn (YM 2017) politiikkatoimet. Nämä toimet sisältävät Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteet osana EU:n asettamia päästövähennysvelvoitteita taakanjakosektorille (lähtökohtana 39 prosentin kasvihuonekaasupäästöjen vähennys vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 päästöihin verrattuna) ja uusiutuvan energian osuuden sekä energiatehokkuuden lisäämistä koskevat tavoitteet vuoteen 2030. WEM-skenario sisältää lisäksi politiikkatoimet, jotka on päätetty 31.12.2019 mennessä.

Täydentäviä politiikkatoimia huomioiva (With Additional Measures, WAM) -skenario pyrkii siihen, että Suomen alueelliset kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat ovat tasapainossa (hiilineutraalius saavutetaan) vuoteen 2035 mennessä ja kasvihuonekaasupäästöt jatkavat vähenemistään vuoteen 2050 mennessä siten, että ilmastolakiehdotuksen mukaiset päästövähennystavoitteet toteutuvat samalla, kun poistumat ovat päästöjä suuremmat (hiilinegatiivisuus saavutetaan). WAM-skenario sisältää uudet (1.1.2020 alkaen päätetyt) ilmasto- ja energiapolitiittiset toimet sekä oletuksen eräistä niiden lisäksi tarvittavista ohjauskeinoista sekä investoinneista, jotka varmistaisivat hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen. Skenaarioiden sisältö on kuvattu tarkemmin seuraavassa luvussa.

Selvityksessä tehdyt analyysit ja skenaarioihin sisällytetyt toimet on laadittu ennen hallituksen budjettiriihessä (9.–10.9.2021) linjaamia ilmastotoimenpiteitä, joten WAM-skenario ei noudata kaikilta osin hallituksen syyskuussa tekemiä päätöksiä ja linjauksia.

1.2.1 Skenaarioiden laadinta ja keskeisimmät oletukset

HIISI-hankkeessa WEM- ja WAM-skenaarioiden kuvaukset laadittiin VTT:n, Luken ja THL:n toteuttamien mallilaskelmien tuloksina. Päästökauppasektorin ja taakanjakosektorin kasvihuonekaasutaseiden sekä energijärjestelmän, energian ja kasvihuonekaasupäästöjen hintojen kehityksen kuvaus saatiin TIMES-VTT -energijärjestelmämallin avulla (Lehtilä ym. 2021a; 2021b). Maankäyttö- ja maataloussektorin kasvihuonekaasupäästö- ja nielukehityksen kuvauksen laati Luke (Maanavilja ym. 2021), ja kansantalouden kehitysarviot tuotti THL (Honkatukia 2021). PTT arvioi lisäksi Luken laatimien WEM- ja WAM-skenaarioiden pohjalta mahdollisia vaikutuksia yksityisten maanomistajien puun tarjontaan (Horne ym. 2021). HIISI-hankkeen tulokset johtopäätöksineen ja suosituksineen on koottu lisäksi erilliseen synteesiraporttiin (Koljonen ym. 2021).

TIMES-VTT-malli sisältää energijärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kuvauksen ja investointivaihtoehtojen teknologiakuvaukset eli muun muassa arviot kustannusten ja teknisen suorituskyvyn kehityksestä kuten hyötysuhteesta, käyttöiästä sekä käytettävyy- ja käyttökertoimista (Lehtilä ym. 2021a; 2021b). Mallin avulla voidaan kuvata energijärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehittymistä pitkän aikavälin skenaarioissa. LULUCF-sektorin kasvihuonekaasutase ei ole osa TIMES-VTT-mallin mukaista päästövähennysten kustannusoptimointia, vaan HIISI-hankkeessa Luke laati arvion LULUCF-sektorin netto-nielun kehityksestä (Maanavilja ym. 2021), joka annettiin TIMES-VTT-mallille rajoitteena muiden sektoreiden yhteenlaskettujen päästöjen maksimimäärälle. Näiden arvioiden tuloksena saatiin laskennallinen kuvaus siitä, minkälaisilla kustannuksilla ja teknologisilla ratkaisuilla olisi mahdollista aikaansaada tavoitellut päästövähennykset, jotka tuottavat vuonna 2035 hiilineutraaliuden TIMES-VTT-mallin kustannusoptimin mukaisesti annetuilla rajoitteilla ja oletetulla LULUCF-sektorin kasvihuonekaasutaseella. TIMES-VTT-mallinnuksen tuottaman päästöjen rajakustannustiedon pohjalta puolestaan edelleen arvioitiin THL:n toimesta vaadittavien taloudellisten ohjauskeinojen (esim. verojen) tasoa ja kansantaloudellisia vaikutuksia FINAGE-kansantalousmallia hyödyntäen (Honkatukia 2021). Tämän lisäksi on hyödynnetty aiemmin julkaistua kirjallisuutta arvioitaessa toimiin tai niihin kytkeytyviin teknologioihin ja muihin ratkaisuihin liittyviä ympäristövaikutuksia sekä pohdittaessa riskejä sille, ettei asetettuja päästötavoitteita saavuteta. Nämä VTT:n, Luken ja THL:n mallinnusten pohjalta saadut tiedot ovat toimineet pohjana tässä raportissa esitetylle SOVA-arvioinnille.

1.2.1.1 Arvio nykyisistä ilmasto- ja energiapolitiikan toimista (WEM-skenaario)

Uusi Ilmasto- ja energiastrategia ja KAISU laaditaan vuoteen 2040 asti, mutta HIISI-hankkeen skenaariotarkasteluita on jatkettu vuoteen 2050 saakka. HIISIn WEM-skenaariossa on oletettu keskeisimpinä nykyisinä politiikkatoimina ja -tavoitteina (Lehtilä ym. 2021a, Maanavilja ym. 2021):

- Päästökauppa:** EU:n päästökauppajärjestelmä on voimassa koko tarkasteltavan aikavälin ja perustuu nykyiseen toimialajakoon päästökauppa- ja taakanjakosektorien kesken. Päästöoikeuden hintakehityksen oletetaan olevan komission ohjeistuksen mukainen (30–75 €/t CO₂ vuosina 2021–2050);
- Energia:** Uusiutuvan energian vähimmäisosuus energian loppukulutuksesta vuonna 2020 on 38 prosenttia ja uusiutuvan energian vähimmäistavoite vuonna 2030 on 51 prosenttia. Uusiutuvan energian osuus loppuenergian kulutuksessa ei ole mallinnuksen lähtöoletus, vaan yksi mallinnuksen tuloksista.
- Liikenne:** Liikenteen päivitetty perusennuste (vaikutus erityisesti sähköautojen määrään ja ajosuoritteisiin) kesältä 2021 on huomioitu. Sähkökäyttöisten henkilöautojen (täyssähköautot, ladattavat hybridit) määrä on vuonna 2030 noin 600 000 ja kaasukäyttöisten autojen määrä on noin 24 000; Sähkökäyttöisten henkilöautojen (täyssähköautot, ladattavat hybridit) määrä vuonna 2045 on 1 715 000.
- Polttoaineet:** Valmisteverotasojen oletetaan pysyvän (reaalisesti) vuoden 2019 lopun tasolla; Kivihiilen käytöstä luovutaan sähkön ja lämmön tuotannossa viimeistään vuonna 2029; Turpeen käyttö vähintään puolittuu vuoteen 2030 mennessä. Tätä ei asetettu lähtöoletukseksi mallinnuksessa, vaan tavoitteen toteutumista on tarkasteltu mallinnuksesta saatujen tulosten avulla. Biopolttoaineiden osuus tieliikenteen energiankulutuksesta kasvaa vaihteittain jakeluvaiheita mukailien vuoden 2020 13,5 prosenttiin energiasäilöntöosuudesta 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. Rakennusten erillislämmityksessä käytettävän kevyen polttoöljyn ja työkonien dieselöljyn osalta 10 prosentin bionesteen sekoitusvelvoite, joka kasvaa lineaarisesti vuosina 2020–2030 jakeluvaiheita mukailien.
- F-kaasut:** F-kaasuja korvataan muilla aineilla EU-direktiivien mukaisesti.
- Rakentaminen:** Lämmitettävä rakennuspinta-ala vähenee. Huomioidaan rakennuskannan lämmitystapamuutokset ja uudisrakentamisessa siirtyminen lähes nollaenergiarakentamiseen EU:n yhteisten tavoitteiden mukaisesti; huomioidaan korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimukset ja energiatehokkuuskorjauksiin osoitetun tuen arvioidut vaikutukset ominaiskulutuksiin.
- Jätehuolto:** Valtakunnallinen jätesuunnitelma jätteen synnyn ehkäisyn ja jätehuollon tavoitteista sekä toimista tavoitteiden saavuttamiseksi.
- LULUCF:** Nettonielujen tavoitetaso LULUCF-sektorille on noin 18 Mt CO₂-ekv. Energiaturpeen tuotantoalat pienenevät ja siirtyvät pääosin metsitykseen, kasvaturpeen tuotantoalat säilyvät ennallaan.
- Metsien kehitys:** Ei kasvatuslannoituksia, harvennushakkuut alaharvennustyyppisinä, kunnostusojitusta ei tehdä rehevissä korvissa turvamaiden harvennushakkuuiden yhteydessä.

- Puun käyttö: Metsähakkeen käyttömäärä pienempi ja pientalojen polttopuun (energia-runkopuuta) käyttömäärä suurempi WEM-skenaariossa suhteessa WAM:iin.
- Metsäteollisuus: Samat tuotantomäärät WEM- ja WAM-skenaarioissa; paperin ja mekaanisen massan tuotanto vähenee, kartongin, sellun ja sahatavaran tuotantomäärät kasvavat.

Taakanjakosektorin päästövähennystavoitetta (39 % vähennys vuoden 2005 tasosta) ei otettu WEM-skenaarion mallinnuksessa huomioon velvoittavana, sillä yksi skenaarion nimenomaisista tehtävistä oli tarkastella tavoitteen saavuttamisen todennäköisyyttä jo toteutettujen ohjauskeinojen avulla (Lehtilä ym. 2021a; 2021b).

1.2.1.2 Arvio täydentävistä ilmasto- ja energiapolitiikkatoimista (WAM-skenaario)

WAM-skenaario on arvio kehityksestä, jossa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä ja sen jälkeinen hiilinegatiivisuus saavutetaan Suomessa. WAM-skenaariossa on samat makroekonomiset oletukset kuin WEM-skenaariossa, mutta siinä on lisätoimia päästöjen vähentämiseksi sekä tavoitteen mukaan asetetut päästörajoitteet. Tähän liittyen taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästövähennys vuoteen 2030 mennessä on määritetty -50 prosenttiin (vertailuvuosi 2005) ja kokonaispäästövähennys vuodelle 2050 korkeintaan -90 prosenttiin (vertailuvuosi 1990). Lisäksi vuodelle 2035 on asetettu hiilineutraaliustavoite, jolloin kasvihuonekaasujen päästöjen tulee olla yhtä suuret kuin poistumat.

WAM-skenaarioon on pyritty sisällyttämään uudet (1.1.2020 alkaen päätetyt) ilmasto- ja energiapolitiittiset toimet sekä mahdolliset lisätoimet, joista ei ole poliittista päätöstä, mutta joiden avulla WAM-skenaariolle asetetut tavoitteet voisivat mahdollisesti toteutua. Esimerkiksi liikenteen perusennusteen kesällä 2021 tehty päivitys on huomioitu määrittelyissä, samoin työkoneiden ja rakennusten erillislämmityksen osalta sekoitevelvoitteen bio-osuuden nosto, polttoaineiden valmisteverojen korotus ja valmisteverojen palautuksista luopuminen hallituksen päätösten mukaisesti sekä lisäksi lämmityspolttoaineiden valmisteverojen asteittainen korotus ja maatalouden valmisteverojen palautuksista luopuminen. Jälkimmäisistä ei ole toistaiseksi tehty poliittisia päätöksiä. Skenaariorissa on hyödynnetty mahdollisuuksien mukaan myös toimialakohtaisia vähähiilitiekarttoja sekä niissä esitettyjä tavoitteita ja toimia. (Lehtilä ym. 2021a)

- Kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteet noudattavat ilmastolakiehdotusta -60 prosenttia vuonna 2030 (päästöjä korkeintaan 28 Mt CO₂-ekv.), -80 prosenttia vuonna 2040 (päästöjä korkeintaan 14 Mt CO₂-ekv.) ja vuonna 2050 vähintään -90 prosenttia vuoden 1990 päästötasosta, mutta pyrkien -95 prosenttiin (päästöjä korkeintaan 7 Mt CO₂-ekv., pyrkien korkeintaan tasolle 3,5 Mt CO₂-ekv.).
- Hiilinielutavoite vuodelle 2035 on 20,8 Mt CO₂-ekv., sisältäen WEM-skenaarion mukaiset maankäyttösektorin (LULUCF) nettonielut (17,8 Mt CO₂-ekv.) lisättynä

hallituksen lisätavoitteella vahvistaa nettonieluja 3 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä.

- Taakanjakosektorille asetetaan tiukennettu päästövähennystavoite: -50 prosenttia verrattuna vuoden 2005 kasvihuonekaasupäästöihin. Tämä tavoite on vertailukelpoinen EU:n asettaman kokonaispäästötavoitteen (-55 % vuonna 2030) kanssa.
- Verotaso sähkön käytön veroluokka II:n osalta lasketaan noin EU-minimiin (0,063 snt/kWh). Lisäksi ko. veroluokkaan sisällytetään kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavat konesalit, lämpöpumput ja sähkökattilat siirretään alempaan sähköveroluokkaan II (hallituksen päätökset olemassa).
- Energiaveropalautukset (ml. sähkön käytön valmisteverot, lämmityspolttoaineiden valmisteverot sekä maatalouden valmisteverot) poistetaan asteittain ennen vuotta 2025 (maatalouden valmisteverojen palautuksia lukuun ottamatta hallituksen päätökset olemassa).
- Rakennusten erillislämmityksen jai työkoneiden käyttämän fossiilisen polttoaineen valmisteveron asteittainen korotus +3 €/MWh vuonna 2023, +3 €/MWh vuonna 2026 ja +4 €/MWh vuonna 2029 (yhteensä +10 €/MWh), joka korvaa tuplaindeksi-korotuksen, kunnes sen taso saavuttaa 10€/MWh (päätöksiä ei toistaiseksi olemassa).
- Päästöoikeuden hintakehityksen lähtökohtana ovat nyky hinnat (50–100 €/tCO₂ vrt. WEM-skenaariossa 30–75 €/tCO₂). Lisäksi on toteutettu herkkyytarkastelu (WEM-S) WAM-skenaariota hintatasolla.
- Teollisuustuotteiden tuotantovolyymit ovat WEM:n kaltaiset, mutta teollisuus luopuu pitkälti fossiilisten polttoaineiden käytöstä teollisuuden raaka-aineena ja energialähteenä.
- Nesteen ja SSAB:n investoinnit (vety, CCS) toteutuvat aikavälillä 2030–2040; CCS-investoinnit (teollisuus, BECCS) sallitaan VTT-TIMES-malliin vuodesta 2035 lähtien.
- Rakennuskannan lämmitystapamuutokset: uusiutuvan energian osuuden vaatimus korjaus- ja uudisrakentamisessa öljylämmityksen asentamisen rajoittamiseksi; energiatehokkuusvaatimukset kiristetään kustannusoptimaaliselle tasolle; vanhojen rakennusten fossiilisten lämmityspolttoaineiden käytöstä luopumista edistetään niin, etteivät ne ole enää käytössä 2030-luvun alkupuolella.
- Liikenteen osalta päästöt puolitetaan vuoteen 2030 mennessä ja tavoitteena on fossiiliton liikenne vuonna 2045. Lisätään sähköautojen määrää (750 000 henkilöautoa vuonna 2030), autokannan kasvu ja henkilöautosuoritteiden kasvu pysähtyy, energiatehokkuus paranee WEM-skenaariota enemmän.
- Maataloudessa päästövähennyksiä toteutetaan vähentämällä pellonraivausta sekä metsittämällä hylättyjä ja huonotuottoisia peltoja. Lisäksi viljellään turvemaita märkänä esimerkiksi nurmi- kuivike- ja kasvu-alkusavilla ja lisätään vettä. Nurmia siirtyy kivennäismaiden viljelykiertoihin, kerääjä- ja maanparannuskasvien ala lisääntyy. Typpilannoituksen päästöjä vähennetään täsmäviljelyn avulla ja lypsylehmien päästöjä rehun lisäaineiden avulla.
- Maataloudesta ja turvetuotannosta vapautuvia alueita ei ”hylätä”, vaan alueille kohdistetaan aktiivisia toimia kuten metsitystä ja kosteikoiksi vettä. Lisäksi

entisillä energiaturpeen tuotantoaloilla korvataan kasvaturvetuotantoa rahkasamaleen kasvatuksella.

- LULUCF-sektorilla metsien kehityksessä kasvatuslannoitusten tavoitetasona kiennäis- ja turvemailla yht. 150 000 ha/v; 30 prosenttia rehevien korpien harvennushakkuista yläharvennustyyppisinä, harvennus aina kiertoajan viimeiseen pohjapinta-alaan perustuva; kunnostusojitukset ojitetuilla turvemailla harvennushakkuiden yhteydessä (ei rehevissä korvissa eikä karuilla rämeillä). Energiapuun hakkuukertymärajoitteissa on eroja WEM-skenaarioon, ainespuun osalta samat rajoitteet. Metsitysalat lisääntyvät, kun alaa vapautuu muusta käytöstä.
- Puuston kasvu ja kasvatushakkuiden kertymä suurempia kuin WEM-skenaariossa. Metsähakkeen käyttömäärä on suurempi ja pientalojen polttopuun (energiarunkopuuta) käyttömäärä pienempi suhteessa WEM-skenaarioon. Metsähakkeen käytön kehitys on mallinnettu markkinaehtoisesti rajoittuen hakkuutähdehakkeeseen, ainespuuksi huonosti sopivaan harvennusten pienpuuhun ja kantomurskeeseen.

1.2.2 Ympäristövaikutusten arviointi (SOVA)

Lain mukaan viranomaisen tulee selvittää ja arvioida valmistelemiensa suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutukset (SOVA) riittävässä määrin valmistelun kuluessa (§3), jos niiden toteuttamisesta voi aiheutua merkittäviä vaikutuksia esimerkiksi ihmiseen, luontoon ja sen monimuotoisuuteen, rakennettuun ympäristöön, maisemaan tai luonnonvaroihin Suomessa tai sen alueen ulkopuolella (§2).

SOVA-lain mukaisia ympäristövaikutuksia ovat vaikutukset, jotka kohdistuvat:

- ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen;
- maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen, eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen;
- yhdyskuntarakenteeseen, rakennettuun ympäristöön, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön;
- luonnonvarojen hyödyntämiseen;
- kaikkiin edellä mainittujen tekijöiden keskinäisiin vuorovaikutussuhteisiin.

Vaikutukset voivat esiintyä Suomessa ja myös Suomen maantieteellisten rajojen ulkopuolella. Kasvihuonekaasupäästöjen osalta vaikutukset jakautuvat päästökauppasektorille, taakanjakosektorille, maankäyttösektorille (LULUCF) tai Suomen rajojen ulkopuolelle.

Johtuen SOVA-lain laajasta tulkinnasta, kaikkia mahdollisia ympäristövaikutuksia ei yleensä voida tunnistaa, vaan ympäristövaikutusarviointissa pyritään osoittamaan toimien keskeiset vaikutukset ja vaikutusketjut. HIISSI-työn puitteissa arvioinnissa keskityttiin

siten tulevan ilmasto- ja energiastrategian ja KAISUn valmisteluiden kannalta keskeisiin ympäristönäkökulmiin ja -vaikutuksiin, joihin strategiassa ja KAISUssa tehdyillä linjauksilla ja oletuksilla sekä niiden toimeenpanolla voidaan vaikuttaa, ja joiden seuranta on olennaista strategian ja KAISUn kokonaiskestävyyden kannalta. Tunnistettuja merkittävimpiä ympäristövaikutuksia ovat kasvihuonekaasupäästöihin, ilmansaasteisiin, luonnon monimuotoisuuteen, metsien hiilinieluihin ja vesistöihin kohdistuvat vaikutukset. Nämä ympäristövaikutukset ovat yhteydessä ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen ja hyvinvointiin, jonka lisäksi niihin voidaan vaikuttaa ilmasto- ja energiastrategian linjausten tai niitä toimeenpanelevien taloudellisten ohjauskeinojen, kuten verojen ja maksujen kautta. Nämä vaikutukset liittyvät kiinteästi myös toimenpiteiden yleiseen hyväksyttävyyteen, koettuun sosiaaliseen oikeudenmukaisuuteen ja kokonaiskestävyyteen osana siirtymää kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa (Kuva 2). Turvallisuus viittaa yksilötason fyysisen, psyykkisen ja sosiaalisen turvallisuuden suojauksen lisäksi laajemmin myös yhteiskunnallisiin arvoihin kohdistuvien uhkien riittävään suojaukseen tai uhkien puuttumiseen.

Kuva 2. Ilmasto- ja energiapolitiittiset toimet vaikuttavat laajasti eri kestävyystekijöihin.



Politiikkatoimet voivat toteutuessaan ja eri muodoissaan kohdistua laajaan joukkoon erilaisia päästöjä vähentäviä teknologioita ja ratkaisuja. Ennakoiden erilaisia uusia politiik-

katoimiskenaarioita ja vähähiilisyyspolkuja, joita Suomen hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi voidaan valita, HIISI-hankkeen vaikutusarvioinnin tueksi koottiin laaja katsaus erilaisiin päästövähennysteknologioihin ja muihin ratkaisuihin.

Eri teknologia- ja ratkaisuvaihtoehtojen yhteydessä kartoitettiin niiden mahdollisia päästövähennyspotentiaaleja ja kustannuksia, toimeenpanon tai käyttöönoton esteitä sekä toimeenpanon kannalta oleellisia ohjauskeinoja. Jokaisen teknologian tai muun ratkaisun kohdalla kuvattiin lisäksi lyhyesti sen aikaansaama potentiaalinen vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle. Aineistona vaikutusten arvioinnissa hyödynnettiin myös olemassa olevia energia- ja ilmastopoliittisia strategioita, eri toimialojen vuonna 2020 laatimia vähähiilisyys- ja ilmastotiekarttoja (yhteenveto Paloneva & Takamäki 2020) sekä eri toimia ja niiden vaikutuksia kuvaavia tieteellisiä vertaisarvioituja tutkimusartikkeleita ja muita julkaisuja. Näiden tietojen perusteella teknologioiden ja muiden ratkaisujen mahdollisia synergioita ja vaihtosuhteita tarkasteltiin SOVA-arvioinnissa. Eri toimien vaikutusten erillistarkastelun tulokset on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 1 ja soveltuvilta osin tämän julkaisun luvuissa 3 ja 4. Taulukon perusteella voidaan tehdä suuntaa antavia arvioita eri teknologioilla tai muilla ratkaisuilla saavutettavissa olevista ja oletetuista päästövähennyksistä niille esitetyn potentiaalinen ja kustannusarvion perusteella. Osalla toimista voi olla paikallisesti tai alueellisesti merkittäviä suoria tai välillisiä vaikutuksia, ja siksi toimien konkretisoituessa niiden vaikutukset on vielä arvioitava tapauskohtaisesti ennen toteutusta.

Ympäristövaikutusten määritelmän laajuuden vuoksi merkittävä osa tarkastelusta on laadullista ja suuntaa antavaa. Poliittikkatoimiin mahdollisesti kytkeytyvien teknologioiden ja muiden ratkaisujen potentiaalisia ympäristövaikutuksia on arvioitu erikseen siten, että muiden asioiden on oletettu pysyvän muuttumattomina (niin sanottu *ceteris paribus* -oletus). Eri päästövähennysteknologioihin ja muihin ratkaisuihin liittyvien ympäristövaikutusten luonnetta ja laajuutta on tällöin lähestytty vertaamalla yksittäisen teknologian tai muun ratkaisun käyttöönoton vaikutuksia tilanteeseen, jossa teknologiaa tai muuta ratkaisua ei oteta käyttöön ja mikään muu tekijä ei muutu. Teknologioiden ja muiden ratkaisujen käyttöönottoon tarvittavien toimien välillisiä vaikutuksia, esimerkiksi toimen myötä kertymättä jääneitä verovaroja tai käyttämättömiä tukivaroja ja niiden vaikutuksia tilanteessa, jossa toimea ei ole toteutettu, ei ole otettu huomioon. Koska yksittäiset päästöjä vähentävät teknologiat ja muut ratkaisut vaikuttavat myös toisiinsa, aiheutuu erilaisia ja eritasoisia ristikkäisvaikutuksia, jotka voivat joko vahvistaa tai heikentää vaikutuksia. Myöskään tällaisia vaikutuksia ei yksittäisten teknologioiden tai muiden ratkaisujen kohdalla ole huomioitu, mutta ne tulevat osin huomioiduksi kokonaistarkasteluissa. Lisäksi arvioinnissa on pyritty tunnistamaan keskeisiä ympäristövaikutuksiin liittyviä haasteita tai riskejä, jotka voivat osaltaan heikentää päästöjä vähentävän teknologian tai muun ratkaisun käyttöönottoa.

Päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi tarvittavia teknologioita ja muita päästöjä vähentäviä ratkaisuja tarkasteltiin kokonaisuutena WAM-skenaarion avulla. Näihin kytkeytyviä ympäristövaikutuksia arvioitiin ensisijaisesti niiden teknologioiden ja muiden ratkaisujen kautta, jotka toteutuivat VTT:n ja Luken tuottamissa skenaariolaskelmissa. Päästövähennystavoitteiden saavuttamatta jäämiseen liittyvien riskien kautta pohdittiin toimien riittävyttä ja toteutettavuutta.

SOVA-arvioinnin toteutuksessa SYKEssä vastasivat pääasiassa ryhmäpäällikkö Sampo Soimakallio, tutkija Päivi Tikkakoski ja erikoistutkija Johanna Niemistö. Erikoistutkija Mikko Savolahti toteutti luvun 3.2 ilmanlaatuun liittyvän arvioinnin ja erikoistutkija Antti Rehunen osallistui lukujen 3.5.1 ja 3.5.2 toteutukseen. Johtaja Jyri Seppälä ja johtaja Mikael Hildén osallistuivat hankkeen ohjausryhmätoimintaan ja raportin viimeistelyyn.

Tämän SOVA-arvioinnin tuloksia esittelevän selvityksen luvussa kaksi kuvataan arvioinnissa käytettyjä menetelmiä ja lähestymistapoja. HIISI-hankkeen arviot nykyisistä politiikkatoimista (WEM-skenaario) esitellään raportin toisessa luvussa ja vastaavasti arviot energia- ja ilmastopolitiikan uusista politiikkatoimista (WAM-skenaario) esitellään luvussa kolme. Luvussa kolme tarkastellaan ilmasto- ja energiastrategian toimenpiteiden ja linjausten mahdollisia vaikutuksia yleisellä tasolla. Päästötavoitteiden saavuttamiseen sekä WEM- ja WAM-skenaarioiden toteutumiseen liittyviä riskejä ja epävarmuuksia käsitellään luvussa neljä. Yksittäisten linjausten ja toimien merkittävimpiä potentiaalisia vaikutuksia on lisäksi tarkasteltu liitteellä 1 esitettävässä taulukossa. Päästövähennysten toteutumisen ja vaikutusarvioinnin epävarmuuksia ja ympäristövaikutusten seurannan merkitystä vaikutusten arvioinnissa ja strategioiden laadinnassa käsitellään luvussa viisi. Arvioinnin johtopäätökset esitellään luvussa kuusi.

2 Sektorikohtainen historiallinen päästökehitys ja arvioitu päästökehitys WEM-skenaariossa

2.1 Päästökauppasektori

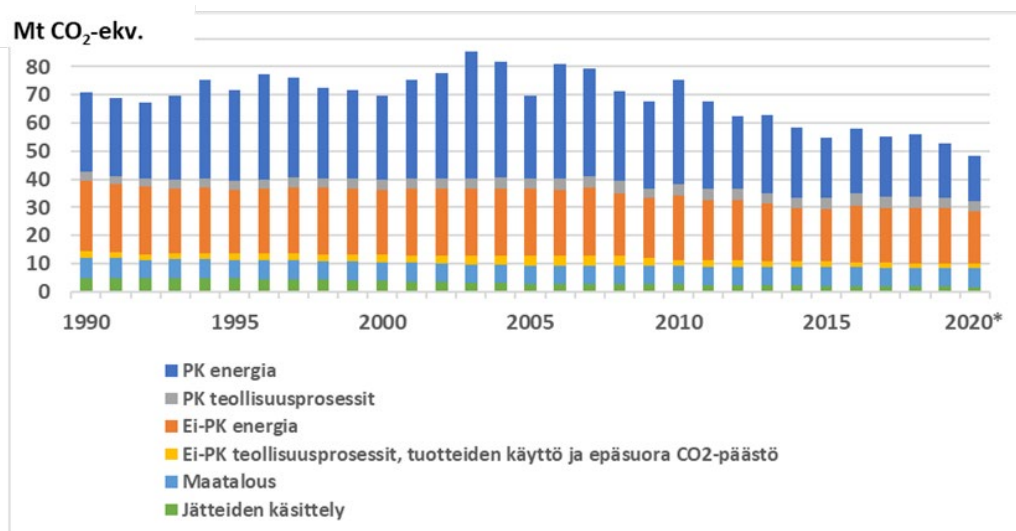
Päästökauppasektorille ei aseteta WEM-skenaariossa erillistä kansallista tavoitetta, vaan päästövähennysten ohjaus tapahtuu päästöoikeuden hinnan kautta, mihin vaikuttaa EU-tason päästökatto. EU:n laajuisesti päästökaupan avulla tavoiteltava päästövähennys on nykyisellään 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä vuoteen 2005 verrattuna (YM 2021a). Keskeinen WEM-skenaarion oletus on päästöoikeuden hintaura vuoteen 2050 asti, joka noudattaa komission ohjeistusta (EC 2020). Päästökauppasektorilla päästöoikeuden hinnan lisäksi keskeisiä energian käyttöä säänteleviä tekijöitä ovat energiaverotus³, kivihiilikielto, biopolttoaineiden sekoitevalvoitteen sekä muu energian käyttöä (mm. uusiutuvan energian lisääminen ja energiatehokkuustoimet) säätelevä kansallinen lainsäädäntö. Rakennusten osalta erityisesti energialuokat ovat tärkeitä ohjauskeinoja.

Suomen kasviuonekaasupäästöt sektoreittain vuosina 1990–2020 on esitetty Kuvassa 3. Viimeisimmän kasviuonekaasuinventaarion perusteella (Tilastokeskus 2021a) vuoden 2019 päästökauppasektorin päästöt olivat 23,2 Mt CO₂-ekv., joka on noin 44 prosenttia kokonaispäästöistä (53,1 Mt CO₂-ekv., ilman LULUCF-sektoria). Ennakkotietojen mukaan vuoden 2020 päästökauppasektorin päästöt (19,6 Mt CO₂-ekv.) olivat noin 16 prosenttia edellisvuotta alhaisemmat ja muodostivat noin 41 prosenttia Suomen kai-

³ Energiaveroa kerätään sähköstä, kivihiilestä, maakaasusta, turpeesta, mäntyöljystä ja nestemäisistä polttoaineista. Energiaverotus perustuu polttoaineen energiasisältöön, elinkaariin hiilidioksidipäästöihin ja paikallisiin päästöihin. Energiasisältökomponenttia peritään sekä fossiilisista polttoaineista että biopolttoaineista niiden tilavuusenergian perusteella. Hiilidioksidikomponentti perustuu kyseisen polttoaineen elinkaariin CO₂-päästöihin, ja minkä vuoksi biopolttoaineiden CO₂-veroaste alennetaan 50 prosentista 100 prosenttiin, jos ne täyttävät Euroopan unionin kestävyyskriteerit. Vuoden 2020 budjettiriihen mukaisesti turpeen energiaverotus kiristyy 2,7 eurolla megawattituntia kohden osana lämmityspolttoaineiden veron korostusta, mikä säilyttää turpeen suhteellisen veroedun muihin lämmityspolttoaineisiin nähden. Vuodesta 2022 lähtien turpeen verotuksessa otetaan käyttöön lattiahintamekanismi, joka varmistaa, että yhdessä päästöoikeuden hinnan kanssa turpeen energiakäyttö vähintään puolittuu hallitusohjelman mukaisesti vuoteen 2030 mennessä. (VNK 580/2020). Mekanismin yksityiskohdista päätetään syksyllä 2021. Vuoden 2021 budjettiriihessä tehty päätös nostaa turpeen verottoman pienkäytön alarajan 5 000 MWh:sta 10 000 MWh:iin vuosina 2022–2026 ja 8 000 MWh:iin vuosina 2027–2029. Veroa maksetaan alarajan ylittävän käytön osalta. (VNK 274/2021)

kista päästöistä (Tilastokeskus 2021a). HIISin WEM-skenaarion tulosten mukaan päästökauppasektorin päästötasot ovat noin 16 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030 ja 14 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035. (Lehtilä ym. 2021a)

Kuva 3. Päästökauppasektorin ja päästökaupan ulkopuoliset khk-päästöt sektoreittain vuosina 1990–2020 (tiedot Tilastokeskus 2021a). PK = päästökauppasektorin päästöt, ei-PK = päästökaupan ulkopuoliset päästöt. Kokonaispäästöt on jaettu vuosina 1990–2004 päästökauppasektorin ja päästökaupan ulkopuolisiin päästöihin päästökaupakauden 2005–2007 mukaisella kattavuudella. Vuoden 2020 tieto on pikaennakkotieto.



2.1.1 Energiantuotanto

Päästökauppasektorilla suurimmat päästövähennykset vuoteen 2030 mennessä tulevat vähennyksistä turpeen ja kivihiilen energiakäytössä. Maakaasun kokonaiskäyttö voi kuitenkin jopa hieman kasvaa vuoden 2020 tasosta. Lisäksi turpeen ja kivihiilen käytön väheneminen johtaa todennäköisesti puupolttoaineiden käytön kasvuun. Turpeen energiakäytön oletetaan vähenevän jopa tavoiteltua enemmän, johtuen pääosin verotuksen ja päästöoikeuksien hinnan noususta. Turpeen aktiivinen tuotantoala supistuu vuoteen 2030 mennessä selvästi alle puoleen vuoden 2019 pinta-alamääriin verrattuna. (Lehtilä ym. 2021a) Kaukolämmön ja teollisuuden fossiilisten polttoaineiden käyttöä ohjaa kotimaisten energiaverojen lisäksi päästökauppahinta.

Energiantuotannon sähköistymisen trendi jatkuu lievänä WEM-skenaariossa ja vaikuttaa myös muiden sektoreiden päästövähennyksiin. Perinteisten polttoaineiden polttoon pe-

rustuvat ja sähkön ja lämmön yhteistuotannon (combined heat and power, CHP) merkitys vähenee, mutta bioenergian tuotannon rooli yhdyskuntien sähkön ja lämmön yhteistuotannossa on vielä merkittävä.

Vetytalouden osuus puhtaassa sähköntuotannossa on toistaiseksi epävarma kustannustehokkuussyistä. Skenaarioiden mallinnuksessa mukana on muun muassa polttokennovoimalaitosteknologiavaihtoehtoja, joista esimerkiksi vaihdettavasuuntaiset polttokennot (reversible fuel cell) voivat tuottaa myös vedystä sähköä aurinkovoimatuotannon tasaimiseksi. Kannattavuudesta riippuen investoinnit vetyvarastoihin, paineilmaparastoihin tai halpenevaan akkuteknologiaan voivat lisätä sähkön varastoinnin kapasiteettia Suomessa. TIMES-VTT-mallin oletuksiin sisältyy myös uusia ydinvoimatekniikoita, kuten pienten modulaaristen reaktorilaitosten teknologia, mutta näiden kaupallistumista ei odoteta tapahtuvan WEM- eikä WAM-skenaariossa. (Lehtilä ym. 2021a)

Energiaperäisten päästöjen osuus Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä (pl. LULUCF-sektori) on merkittävä⁴, joten energian kokonaiskulutuksen päästöjen kehitys on ratkaisevassa asemassa hiilineutraaliuuden tavoittelussa. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus Suomen primäärienergian kokonaiskulutuksesta on laskenut johdonmukaisesti (54 %:sta vuonna 2010 42 %:iin vuonna 2019). WEM-skenaariion tulosten mukaan fossiilisten polttoaineiden ja turpeen kulutus laskee edelleen. Vastaavasti perinteisen ydinenergian ja uusiutuvan energian osuudet kasvavat WEM-skenaariossa. Vuonna 2022 ja 2032 (arvio) valmistuvat uudet ydinvoimalayksiköt tuovat WEM-skenaariion merkittävimmät muutokset sähkön ja lämmön tuotannossa. (Lehtilä ym. 2021a).

Puuenergian määrän kasvu vuoteen 2030 mennessä HIISIn WEM-skenaariossa perustuu metsäteollisuuden tuotannon ja raaka-ainepuun kasvun myötä syntyviin sivutuotevirtoihin. WEM-skenaariossa oletettu metsähakkeen käytön lisäys jää aiempien WEM-skenaarioiden (esimerkiksi vuoden 2017 energiastrategian oletuksien lisäystavoite noin 25 terawattituntia (TWh) vuonna 2020 ja 29 TWh vuonna 2030) lisäystavoitteita huomattavasti alhaisemmaksi. Kotimaisen metsähakkeen kokonaiskäyttö vuonna 2020 oli noin 7 miljoonaa kuutiometriä (m³) (vastaa 14 TWh) ja HIISIn WEM-skenaariossa käytön oletetaan kasvavan noin 11 miljoonaan m³ (21 TWh) vuoteen 2030 mennessä. Kotimaisen metsähakkeen käyttö on siten HIISIn WEM-skenaariion mukaan vähäisempää kuin edellisen energia- ja ilmastostrategian yhteydessä laaditussa WEM-skenaariossa, jossa se oli n. 13 Mm³ vuonna 2030 (Koljonen ym. 2017).

⁴ Vuonna 2019 kokonaispäästöistä energiasektorin päästöt muodostivat 74 % (ml. polttoaineiden käyttö ja haihtumapäästöt). (Tilastokeskus 2019). Vuoden 2020 pikaennakkotietojen mukaan päästöt ovat 72 % (34,7 milj. tonnia CO₂-ekv.) (Tilastokeskus 2021)

2.1.2 Teollisuuden prosessit

Päästökaupan säätelyn piiriin kuuluvat myös teollisuuden prosessien kasvihuonekaasupäästölähteet, joista merkittävimpiä ovat raudan, teräksen, vedyn ja sementin tuotanto. Muutokset teollisuuden tuotantoprosesseissa vaikuttavat näiden päästöjen kehitykseen. Sektorin historialliset päästöt olivat 5,5 Mt CO₂-ekv. vuonna 2019 (Tilastokeskus 2021a). WEM-skenaario sisältää ainoastaan ne investoinnit, joista on olemassa päätökset, eikä se siten sisällä teknologiateollisuuden nopeutetun teknologisen kehityksen edellyttämiä prosessimuutoksia, kuten vetypelkistyksen käyttöönottoa teräksen valmistuksessa (Lehtilä ym. 2021a).

2.2 Taakanjakosektori

Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma koskee päästökaupan ulkopuolisia toimialoja eli niin sanottua taakanjakosektoria, johon kuuluvat kotimaan liikenteen, maatalouden, rakennusten erillislämmityksen, työkoneiden, jätehuollon ja fluorattujen kasvihuonekaasujen (F-kaasut) päästöt.

Suomen kansallisen päästövähennystavoitteen (-39 prosenttia vuodesta 2005 vuoteen 2030 mennessä) mukaisesti taakanjakosektorin päästöjen tulisi olla korkeintaan 20,6 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030. Vuoden 2019 päästötaso on 29,6 MtCO₂-ekv. perustuen viimeisimmän kasvihuonekaasuinventaarion tietoihin (Tilastokeskus 2021a). Taakanjakosektorin päästöt ovat laskeneet hitaasti. HIISIn WEM -skenaarion mukaan jo päätetyillä toimilla päästään 22,6 Mt CO₂-ekv. päästötasoon vuonna 2030 ja vastaavasti 20,1 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035. HIISIn WEM-skenaarion tulosten mukaan taakanjakosektorin päästövähennyksissä ei saavuteta Suomen kansallista 39 prosentin vähennystavoitetta. (Lehtilä ym. 2021a)

2.2.1 Liikenne

Kotimaan liikenne aiheuttaa noin puolet taakanjakosektorin päästöistä. Liikenteessä tapahtuneet päästöjen vuosittaiset vaihtelut johtuvat pääasiassa biopolttoaineen osuuden vuotuisesta vaihtelusta. Biopolttoaineen osuuden oletetaan kasvavan 30 prosenttiin kaikista tieliikenteen polttoaineista vuonna 2029 (ilman kaksoislaskentaa). (VN/4694/2021) Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) fossiilittoman liikenteen tiekartassa on asetettu tavoitteeksi vähentää kotimaan liikenteen päästöjä vähintään 50 prosenttia vuoteen 2030 mennessä (poissulkien kotimainen lentoliikenne).

HIISIn WEM-skenaario pohjautuu LVM:n 2030-luvulle asti ulottuvaan liikenteen valtakunnalliseen perusennusteeseen, jota päivitettiin kesällä 2021. Tähän ennusteeseen pohjautuvan, syyskuussa 2021 julkaistun, tieliikenteen khk-päästöennusteen (LVM 2021a) mukaan liikenteen CO₂-päästöt vähenevät nykytoimilla noin 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä (vuoteen 2005 verrattuna), jolloin fossiilittoman liikenteen tiekartan päästövähennystavoitetta ei saavuteta nykyisillä toimenpiteillä. Myös uudessa ennusteessa tieliikenteen päästöt laskevat hieman aiemmin oletettua nopeamman sähköautojen yleistymisen vuoksi (LVM 2021a). VTT Times -mallilla laaditussa HIISIn WEM-skenaariossa liikenteen kasviuonekaasupäästöt vähenevät n. 43 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 tasosta (Lehtilä ym. 2021a).

2.2.2 Maatalous

Maataloussektorin kasviuonekaasupäästöt lasketaan viidestä pääluokasta: kotieläinten ruuansulatus (metaani CH₄), lannankäsittely (CH₄, typpioksiduuli N₂O), maatalousmaat (N₂O), kalkitus ja urean käyttö (CO₂) sekä oljen/kasvintähteiden peltopolton päästöt (CH₄, N₂O). Maatalousmaat -päästöluokka jakaantuu edelleen keinolannoitukseen, orgaanisiin lannoitteisiin (lanta, puhdistamoliete), niittojäännökseen, eloperäisiin maatalousmaihin sekä typen mineralisaatioon kivennäismailla (Luke 2021a). Turvemaiden viljely ja märehitjät aiheuttavat suurimman osan päästöistä. Lisäksi maatalouskoneiden ja muun maatalouteen liittyvän energiankulutuksen kuten maatalousrakennusten lämmityksen ja kuivureiden käytön päästöt raportoidaan energiasektorilla sekä viljelysmaahan, ruohikkoalueisiin, metsämaahan, kosteikkoihin, rakennettuun maahan ja puutuotteisiin liittyvät päästöt LULUCF-sektorilla (ks. lisätietoja luvusta 2.3).

WEM-skenaario pohjautuu karjatalouden eläinmäärien, viljelyalan ja viljasadon sekä eloperäisten turvepeltojen alan ja päästöjen arvioituun kehitykseen. Maatalouden keskeisimmät skenaario-oletukset koskevat karjatalouden eläinmäärien, viljelyalan, viljasadon sekä eloperäisten turvepeltojen pinta-alan ja päästöjen kehitystä. Turvepeltojen pinta-alakehityksen oletettiin noudattavan päästöjen kehitystä ja muilta osin Luke (Maanavilja ym. 2021a) toimitti lähtötiedot VTT:lle skenaariomallinnusta varten. WEM-skenaariossa Suomen maatalouden heikko kannattavuus jatkuu, mutta tuotannon muutokset ovat melko vähäisiä vuoteen 2030 saakka ja elintarvikkeiden kysyntä seuraa väestönkehityksen trendiä henkilökohtaisen kulutuksen pysyessä ennallaan. HIISIn WEM-skenaarion mukaisiksi päästötasoiksi arvioidaan noin 6,3 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030 ja 6,2 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035. Vuoteen 2050 mennessä kotimaisen naudan- ja sianlihan ja maidon tuotannon arvioidaan vähenevän noin 10 prosenttia nykytasoon verrattuna. (Maanavilja ym. 2021, Lehtilä ym. 2021a)

2.2.3 Rakennusten erillislämmitys

Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategiaa 2020–2050 (YM 2020) sekä siihen liittyvää tiekarttaa ja toimeenpanosuunnitelmaa vuosille 2021–2030 (Motiva ym. 2020) ohjaavat osaltaan EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPDB), energiatehokkuusdirektiivi (EED), uusiutuvan energian direktiivi (REDII), vihreän kehityksen ohjelma (Green Deal) sekä rakennusten perusparannusaalto -ohjelma (Renovation wave). WEM-skenaariossa rakennusten tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden energiankulutuksen sekä kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen perustuvat toimeenpantuihin uudis- ja korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimuksiin ja tukiin sekä Tilastokeskuksen tietokantojen ja Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategian mukaiseen asuin- ja rakennuskannan kehityksen arviointiin (ks. tarkemmat tiedot Lehtilä ym. 2021a; 2021b). Strategian mukaan nykyisen lainsäädännön ja suunnitelmien toteutuessa 2020 mennessä valmistuneen rakennuskannan osalta hiilidioksidipäästöt vähenevät 90 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Päästövähennyksistä 40 prosenttia odotetaan toteutuvan rakennusten lämmityksen ja sähköntuotannon fossiilisista polttoaineista luopumisen seurauksena, 30 prosenttia vanhojen rakennusten poistuman ja tilatehokkuuden parantamisen myötä sekä 20 prosenttia energiatehokkuuden edistämisen avulla. WEM-skenaariion mukaan asumisen ja palveluiden energian kulutus laskee merkittävästi vuoteen 2050 mennessä. Vähenemän perusteina ovat rakennuskannan maltillinen kasvu, korjausrakentamisella saavutettava energiatehokkuuden paraneminen sekä uudisrakentamisen energiatehokkuusstandardit. (Lehtilä 2021b) Rakennusten lämmityksen päästöt olivat 2,9 Mt CO₂-ekv. vuonna 2019 (Tilastokeskus 2021a). Rakennusten lämmityksen päästöt laskevat WEM-skenaariossa 60 % vuoden 2015 tasosta 1,3 Mt CO₂-ekv. tasolle vuonna 2035 (Lehtilä ym. 2021a).

2.2.4 Jätteiden käsittely

Jätteiden käsittelyn kasvihuonekaasupäästöt ja niitä koskevat WEM-oletukset sisältävät kaatopaikoista peräisin olevan metaanin (CH₄) sekä anaerobisesta käymisestä, kompostoinnista ja jätevedenpuhdistuksesta aiheutuvat metaanin ja typpioksiduulin (N₂O) päästöt, poissulkien jätteiden polttoperäiset päästöt, jotka raportoidaan energiankäytön päästöinä. Historiallisten päästövähennysten takana ovat olleet erityisesti kaatopaikkadirektiivin (331/2013) ja kansallisen lainsäädännön täytäntöönpano⁵ sekä strategiat, jotka pyrkivät sekä vähentämään syntyvän jätteen määrää että minimoimaan kaatopaikoille päätyvän yhdyskuntajätteen määrää. Kaatopaikkasijoituksen sijaan jätteet pyritään enenevässä määrin hyödyntämään kierrätyksessä ja energiana. Erityisesti orgaanisen jätteen

⁵ Tarkempia tietoja ajantasaisesta jätelainsäädännöstä löytyy ympäristöministeriön internetsivuilta (YM 2021d).

kaatopaikkasijoitusta koskevat rajoitukset vähentävät kaatopaikkaperäisiä kasvihuonekaasupäästöjä myös pitkällä aikavälillä. (VN/4694/2021) EU:n kesällä 2018 hyväksymää jättesäädöspakettia täytäntöönpaneva uudistettu jätelaki astuu voimaan 1.7.2021 (HE 40/2021) ja lisää tulevana vuosina jätteiden erilliskeräystä. Sektorin historialliset päästöt olivat 1,8 Mt CO₂-ekv. vuonna 2019 (Tilastokeskus) ja HIISin WEM-skenaarion oletetut päästötasot ovat 1,2 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030 ja vastaavasti 1,0 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035 (Lehtilä ym. 2021a).

2.2.5 Työkoneet

HIISin WEM-skenaariossa työkoneiden kasvihuonekaasupäästöjen kehittymistä vuoteen 2040 asti arvioitiin VTT:n laatiman työkoneiden perusennusteen avulla (Markkanen & Lauhkonen 2021) huomioiden biopolttoöljyn lisääntyvän käytön lisäksi myös sähkökäyttöiset työkoneet. Työkoneiden laajamittainen sähköistyminen on toistaiseksi edennyt vasta pienikokoisiin ja -tehoisiin työkoneisiin, sillä akkujen energiasisältö ja koneen tarvitsema teho aiheuttavat haasteita suurikokoisten ja latausinfraan ulottumattomissa käytettävien koneiden sähköistämiseen. Työkoneiden perusennusteessa kasvihuonekaasupäästöt vähenevät -26 prosenttiin vuoteen 2040 mennessä verrattuna vuoden 2020 tasoon. Sähköistymisen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin alkaa näkyä vasta 2030-luvulla. (Markkanen & Lauhkonen 2021, Lehtilä ym. 2021b; 2021a). WEM-skenaariossa työkoneille on asetettu 10 prosentin bio-osuuden sekoitevelvoite vuoteen 2030 mennessä. Työkoneiden päästökehitys on WEM-skenaarion mukaan 2,1 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030 ja 1,9 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035. (Lehtilä ym. 2021a)

2.2.6 F-kaasut

F-kaasujen⁶ päästökehitystä säätelevät EU:n F-kaasuja koskeva asetusta (EU 517/2014) ja EY:n direktiivi moottoriajoneuvojen ilmastointijärjestelmien päästöistä (2006/40/EY). Näiden toimenpiteiden seurauksena jäähdytyksen ja ilmastointilaitteiden päästöjen odotetaan laskevan, minkä lisäksi tekniset muutokset vähentävät F-kaasuihin liittyviä kustannuksia ja pienentävät vuotoja. F-kaasusetuksen tavoitteena on EU:n markkinoille tuotavien HFC-yhdisteiden vaiheittainen vähentäminen ja F-kaasujen käytön kieltäminen eri soveluksissa (VN/4694/2021). Korkean ilmastonlämmityspotentiaalin (global warming potential, GWP) HFC-yhdisteitä voidaan korvata esimerkiksi talojen ilmastoinnin jäähdytysjärjestelmissä luonnollisilla kylmäaineilla tai HFO:illa (hydrofluoro-olefiinit eli tyydyttymättömät HFC:t, hajoavat ilmakehässä jo muutamien päivien tai viikkojen aikana (Reinikainen

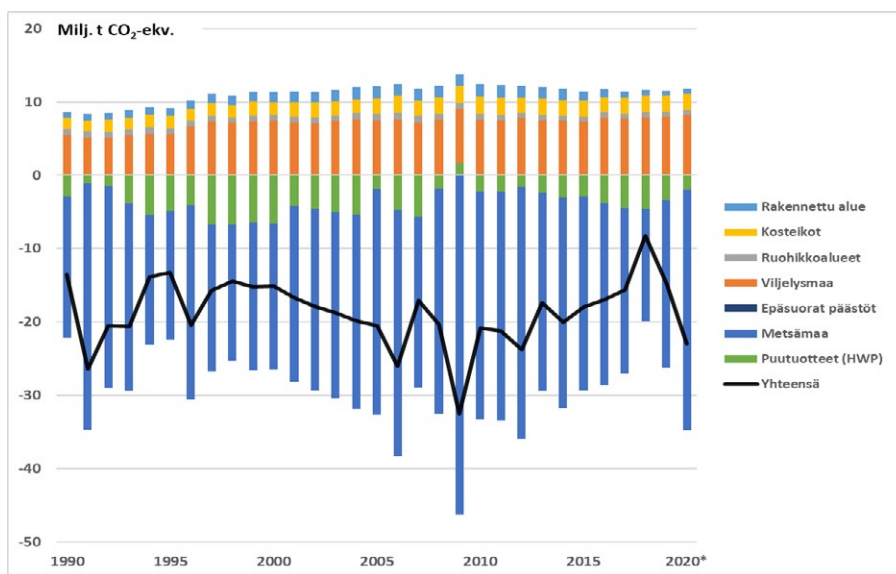
⁶ F-kaasut on yhteinen nimitys fluorihiihivedyille (HFC-yhdisteet), perfluorihiihivedyille (PFC-yhdisteet), rikkiheksafluoridille (SF₆) sekä typpitrifluoridille (NF₃). Kioton pöytäkirjan avulla pyritään rajoittamaan ja vähentämään F-kaasuja ja niiden päästöjä.

& Johansson 2019). F-kaasujen historialliset päästöt olivat 1,2 Mt CO₂-ekv. vuonna 2019 (Tilastokeskus 2021a) ja HIISIn WEM-skenaarion mukaiset päästöoletukset ovat 0,5 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030 ja 0,3 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035 (Lehtilä ym. 2021a).

2.3 LULUCF-sektori

Suomessa maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF) -sektorin päästöinä virallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneeli IPCC:n ohjeistuksen mukaan raportoitavat päästöt (CO₂-, CH₄- ja N₂O) ovat olleet koko raportointiajan (vuodesta 1990 eteenpäin) pienempiä kuin poistumat (Kuva 4). Tämä tarkoittaa, että LULUCF-sektori muodostaa kokonaisuudessaan nettonielun. Sektori kattaa metsämaan ja puutuotteet, viljelysmaan, ruohikkoalueet, kosteikot ja rakennetun maan kasvihuonekaasutaseet, jotka lasketaan ja raportoidaan kansainvälisen käytännön (IPCC 2006) mukaisesti. (Kuva 4). Nettonielun suuruus voi kuitenkin vaihdella merkittävästi vuosittain. Esimerkiksi viimeisten vuosikymmenien aikana nettonielun koko on ollut suurimmillaan -32,5 Mt CO₂-ekv. vuonna 2009 ja pienimmillään vuonna 2018, jolloin jäätiin noin -8,2 Mt CO₂-ekv. tasolle (Tilastokeskus 2021a). Nettonielun muutokset johtuvat erityisesti markkinahakkuissa tapahtuneista vaihteluista.

Kuva 4. Maankäyttöluokittaiset päästöjen ja poistumien summat maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätaloussektorilla vuosina 1990–2020. Vuoden 2020 tiedot ovat pikaennakkotietoja, joissa metsämaalle, viljelysmaalle ja puutuotteille on laskettu pikaennakkoarvot, kun taas muille maankäyttöluokille on käytetty vuoden 2019 lukuja. (Tilastokeskus 2021a)



Kansallisen metsäinventaarion (VMI12) mukaan runkopuun vuotuinen kasvu on voimistunut 1970-luvulta lähtien ja oli metsä- ja kitumaille yhteensä noin 108 miljoonaa kuutiometriä (Mm^3) keskimäärin vuonna 2013. Puuston tilavuus vuonna 2020 oli 2482 Mm^3 , josta puuntuotannon maalla oli 90 prosenttia (Luke 2020a). Puuston nielu määräytyy puuston kasvussa sitoutuvan hiilidioksidin ja puuston kokonaispoistumassa puustosta poistuvan hiilidioksidin erotuksena.

Suomen kansallinen metsästrategia (MMM 2019) määrittää metsäpolitiikan ja metsätalouden päätavoitteet vuoteen 2025 asti. Suomen biotalous perustuu metsien käyttöön, ja metsästrategian tavoitteena on korvata fossiilisia raaka-aineita ja resursseja uusiutuvalla biomassalla lisäämällä puun käyttöä. Merkittävät vaihtelut biomassan korjuussa metsämaalla (ja metsämaan nielussa) johtuvat metsäteollisuustuotteiden kansainvälisten markkinoiden muutoksista, jotka vaikuttavat kotimaisten kaupallisten hakkuiden määrään. Mikäli hakkuut lisääntyvät vuositasolla jopa 80 miljoonaa m^3 :iin (mukaan lukien puun käyttö bioenergiana), olisi metsien arvioitu vuosittainen hiilinielutaso (puut ja maaperä) noin -28 Mt CO_2 -ekv. vuoteen 2025 mennessä. (VN/4694/2021) Arvio saattaa kuitenkin olla merkittävä yliarvio verrattuna kasvihuonekaasuinventaarissa käytettävillä menetelmillä laskettavaan hiilinieluun (ks. luku 4.5).

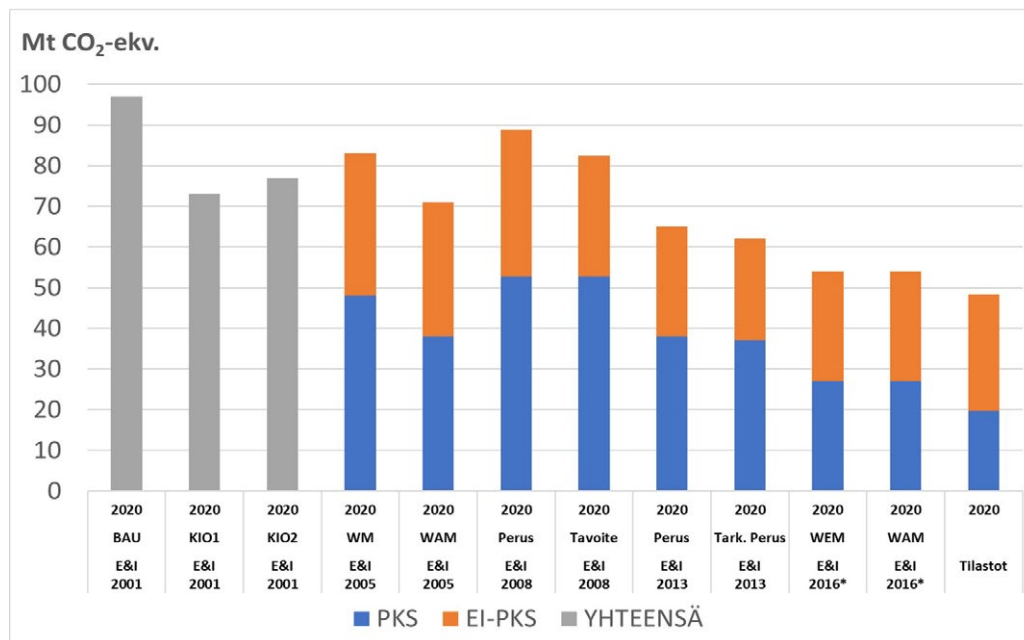
Sektorin suurimmat päästöt raportoidaan ojitettujen turvemaiden maaperästä metsistä ja maatalousmailta. Lisäksi päästöjä tulee käsitellyistä kosteikoista, esimerkiksi turvetuotantoalueilta ja epäonnistuneilta tai kunnostusojittamattomilta metsäojitusalueilta, jotka ovat muuttuneet kosteikoiksi. (Tilastokeskus 2021a) Maatalousmaihin kuuluvien viljelymaiden ja nurmien hiilidioksidipäästöjen odotetaan kasvavan hieman nykyisen kehityksen perusteella. Sen sijaan kosteikoista peräisin olevat päästöt ovat laskeneet vuodesta 2005 alkaen, johtuen turpeen energiankäytön vähenemisestä, mikä vähentää turpeen tuotantoon tarvittavaa alaa. (VN/4694/2021)

Kokonaisuudessaan maankäyttösektorin arvioidaan muodostavan tyypillisesti nettonielun. Tämä tarkoittaa, että sektorin yhteen lasketut päästöt ovat pienemmät kuin poistumat. Sektorin nettonielu oli -14,7 Mt CO_2 -ekv. vuonna 2019 (Tilastokeskus 2021a). Suomen metsien vertailutaso hoidetulle metsämaalle kaudelle 2021–2025 on -29,39 Mt CO_2 -ekv. puutuotteet mukaan luettuna (Luke 2021b). Kokonaisuudessaan LULUCF-sektorin keskimääräinen vuotuinen vertailutaso on noin -21 Mt CO_2 -ekv. vuosina 2021–2025, kun huomioidaan myös muut maankäyttöluokat ja niille asetetut vertailuvuodet (Hildén ym. 2021a). Luonnonvarakeskuksen arvioiden mukaan LULUCF-sektorin nettonielu olisi HII-SIn WEM-skenaariossa -17 Mt CO_2 -ekv. vuonna 2030 ja -18 Mt CO_2 -ekv. vuonna 2035 (Maanavilja ym. 2021). Tämäkin arvio saattaa kuitenkin olla merkittävä yliarvio verrattuna kasvihuonekaasuinventaarissa käytettävillä menetelmillä laskettavaan hiilinieluun (ks. luku 4.5).

2.4 Aiempien energia- ja ilmastostrategioiden päästökehitysarviot

Suomessa on laadittu energia- ja ilmastostrategioita valtioneuvoston selontekona eduskunnalle aiemmin vuosina 2001 (Paavo Lipposen II:n hallitus), 2005 (Matti Vanhasen hallitus), 2008 (Matti Vanhasen II:n hallitus), 2013 (Jyrki Kataisen hallitus) ja 2016 (Juha Sipilän hallitus) (TEM 2021b). Kaikissa edellä mainituissa strategioissa on arvioitu Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä vähintään vuoteen 2020 saakka tyypillisesti sekä perusskenaariossa, jossa ei ole lisäisiä ilmastopoliittisia toimia (*BAU, WM, WEM*) että politiikkaskenaarioissa, joissa on lisäisiä ilmastopoliittisia toimia (*KIO1, 2, WAM, Taavoite, Tarkennettu perus*). Eri arviot on esitetty Kuvassa 5.

Kuva 5. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitysarviot Suomessa päästökauppa- (PK), taakanjakosektorilla (Ei-PKS) ja yhteensä (pl. LULUCF-sektori) aiemmissa energia- ja ilmastostrategioissa (ks. lähteet (TEM 2021b)) ja vuonna 2020 (Tilastokeskus 2021a). Vuoden 2016 Energia- ja ilmastostrategiassa oletettiin syntyvän eroja päästöissä WEM- ja WAM-skenaarion välillä vasta vuoden 2020 jälkeen.



Ilmastopoliittisten lisätoimien myötä kasvihuonekaasupäästöjen on arvioitu kehittyvän pienemmiksi kuin ilman lisätoimia (Kuva 5). Toimien vaikutuksen on arvioitu olevan absoluuttisina päästömäärinä suurempi vanhimmissa strategioissa ja vähentyen mitä lähempänä vuotta 2020 strategia on tehty. Vuoden 2020 toteutuneet kasvihuonekaasu-

päästöt ovat tilastojen mukaan selvästi pienemmät kuin yhdessäkään aiemmassa strategiassa on arvioitu yhdessäkään skenaariossa. Koska vuoden 2020 päästöihin vaikuttivat oleellisesti COVID-19 pandemian lisäksi keskimääräistä lämpimämpi vuosi, on mielekäästä verrata aiempien strategioiden arvioita myös vuoden 2019 kasvihuonekaasupäästöihin, jotka olivat noin 5 Mt CO₂-ekv. vuoden 2020 päästöjä suuremmat, yhteensä 53 Mt CO₂-ekv. Sipilän hallituksen strategian arvio vuodelle 2020 on suurin piirtein tämän suuruisen (54 Mt CO₂-ekv.), mutta sitä aiempien strategioiden arviot ovat selvästi suuremmat sekä perusskenaarioissa (65–97 Mt CO₂-ekv.) että politiikkaskenaarioissa (62–77 Mt CO₂-ekv.). Tarkastelujakson aikana EU:n ilmastopolitiikka on tiukentunut, mikä on vaikuttanut päästöjen kehitykseen.

3 Yleiskuva ilmasto- ja energiapoliittisten toimien ympäristövaikutuksista

SOVA-lain mukaisia ympäristövaikutuksia on arvioitu aiemmin laadittujen Suomen ilmasto- ja energiapoliittisten ohjelmien ja suunnitelmien laadinnan yhteydessä. Sipilän hallituksen energia- ja ilmastostrategian (TEM 2017) sekä keskipitkän aikavälin ilmasto- ja energiapolitiikan suunnitelman (YM 2017) toimien ympäristövaikutuksia arvioitiin vuosina 2016–2017 (Koljonen ym. 2017a; 2017b, Soimakallio ym. 2017). Neljää erilaista Suomen pitkän aikavälin kokonaispäästökehitystä vuodelle 2050 asetetun 85–90 prosentin (vuodesta 1990) päästövähennystavoitteen saavuttamiseksi arvioitiin vuosina 2018–2019 (Koljonen ym. 2019). Kahta näistä kokonaispäästökehityksistä tarkennettiin vuosina 2019–2020 siten, että kyseisissä kokonaispäästökehityksissä saavutettaisiin Marinin hallituksen asettama hiilineutraalius vuonna 2035 (Koljonen ym. 2020). Samassa yhteydessä arvioitiin myös edellä mainittujen kokonaispäästökehitysten ympäristövaikutukset (Koljonen ym. 2019; 2020).

SOVA-lain tarkoittamat eri toimien ympäristöön ja yhteiskuntaan kohdistuvat vaikutukset voivat olla hyödyllisiä, neutraaleja tai kielteisiä. Tässä tarkastellaan ensisijaisesti kielteisiä ja hyödyllisiä vaikutuksia, koska ne voivat johtaa erityisiin jatkotoimiin. Kielteiset vaikutukset vaikeuttavat muiden kuin ilmastoon liittyvien velvoitteiden saavuttamista. Hyödylliset vaikutukset puolestaan edistävät muissa yhteyksissä asetettuja yhteiskunnallisia tavoitteita. Ilmastonmuutoksen hillintä ja sopeutuminen kytkeytyvät keskeisesti kestävän kehityksen tavoitteiden (UN 2015a) edistämiseen. Toimien suunnittelulla ja vaikutusten hallinnalla voidaan vaikuttaa sellaiseen yhteiskuntakehitykseen, jossa yhdistyvät sosiaalinen ja taloudellinen oikeudenmukaisuus sekä luonnonvarojen kestävä käyttö. Ilmastotoimien hyödyllisten ja kielteisten vaikutusten välinen suhde liittyy myös esimerkiksi luonnon monimuotoisuuden ylläpitoon ja suojelemiseen, jolloin toimien kohdistamisella ja suunnittelulla voidaan joko edistää tätä tavoitetta tai tuottaa sitä heikentäviä sivuvaikutuksia. Vaikutus toimii myös niin sanotun takaisinkytkennän (feedback loop) tavoin eli luonnon ja ekosysteemien tasapainon säilyttäminen hillitsee ilmastonmuutosta ja edistää sopeutumista jo tapahtuneisiin muutoksiin ja päinvastoin. Taulukossa 1 on esitetty erilaisia SOVA-arvioinnissa yleisesti huomioitavia tekijöitä, kielteisten vaikutusten aiheuttajia sekä tunnistettuja kielteisten vaikutusten vähentämiskeinoja.

Taulukko 1. SOVA-arvioinnissa yleisesti huomioitavia tekijöitä (YM 2019a).

Vaikutusluokka	Mihin vaikutukset voivat kohdistua	Kielteisten vaikutusten aiheuttajia	Keinoja kielteisten vaikutusten vähentämiseen
Ihmisten terveys, elinolosuhteet ja viihtyvyys	Ilmanlaatu, päästöt, melu, haju, värinä terveyskäyttäytyminen, kansantautien riskitekijät, elinolosuhteet ja arjen sujuvuus, hyvinvointi ja sen jakautuminen, yhdenvertaisuus ja tasa-arvo	Liikenne (pakokaasupäästöt, jarru- ja rengaspöly, katupöly (hiekoitus), työkoneet), puun pienpoltto, lämpö- ja voimalaitokset, teollisuus, pienhiukkasten kaukokulkeutuma ulkomailta	Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen vähäpäästöisellä energiantuotannolla. Puun pienpolton vähentäminen, tekniikat pienhiukkaspäästöjen suodattamiseen. Kestävä kaupunki- ja alue- ja yhdyskuntasuunnittelu. Teknologioiden ja ratkaisujen käyttöönoton tukeminen alueellisesti ja sosiaalisesti oikeudenmukaisella tavalla.
Maaperä ja vesistöt	Maaperä: irtomaalajit, orgaaninen aines, huokosvesi, -ilma ja eliöt Pohjavesialueet ja luonnolliset vesistöt (järvet, lammet, joet, purot) sekä keinotekoiset vesialueet (järvet, kanavat)	Maaperä: rakentaminen, maa- ja kiviainesten otto, kaivostoiminta, kemikaalipäästöt kuljetusten, varastoinnin, jakelun ja käytön aikana Vesistöt: teollisuuden ja yhdyskuntien jätevesipäästöt, ympäristöonnettomuudet, rakentaminen, maatalouden hajapäästöt, vesitalous- ja vesivoimahankkeet, kalankasvatus, metsäojitukset, turpeennosto	Kiertotalouden materiaalihokkuutta edistävät ratkaisut; materiaalien uusiokäyttö ja kierrätys. Maankäytön muutoksen/metsäkadon vähentäminen; hiiliviljely, maaperän kasvipeitteisyys, turvemaiden säätösalaojitus, täsmäviljely, teknologiat ja ravinnekierrätys. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja riskien hallinta: vesien suojeleminen, viherrakenteet, hulevesien hallinta.
Ilmakehä ja ilmasto	Ilman epäpuhtaudet eli typpi- ja rikkiyhdisteet, musta hiili pienhiukkaspäästöt, kasviuonekaasut (hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli), hiilinielut (metsät, turve- ja maatalousmaat), hiilen poisto teknisillä keinoin ilmakehästä	Energiantuotanto/ fossiiliset polttoaineet, maatalous, liikenne Puun pienpoltto	Fossiilisten polttoaineiden käytöstä luopuminen, energian säästäminen, energiatehokkuuden lisääminen, uusiutuvien energiamuotojen käyttö, hiilinielujen ylläpitäminen ja hiilensidonnan edistäminen, luonnonvarojen kestävä käyttö Siirtyminen puhtaan teknologian ratkaisuihin, CCS,

Vaikutusluokka	Mihin vaikutukset voivat kohdistua	Kielteisten vaikutusten aiheuttaja	Keinoja kielteisten vaikutusten vähentämiseen
Kasvillisuus, eliöstö, luonnon monimuotoisuus	Eliölaajien runsaus, elinympäristöjen eheys moninaisuus, perintötekijöiden vaihtelu, linnut, nisäkkäät, kasvit	Luonnonvarojen käyttö, maa- ja metsätalous, rakentaminen, ilman epäpuhtauksien laskeuma	Luonnon monimuotoisuutta edistävä metsänhoito, metsien hiilensidonnain maksut/tuet (kompensaatio) maatalouden tukijärjestelmän kehittäminen (synergiat kestävän ruokajärjestelmä ja monimuotoisuuden edistämisen välillä) Maankäytön muutoksien ja metsäkadon ehkäisy, luonnon suojelualueiden ja suojeluverkostojen kattavuus Ilmastomuutoksen sopeutuminen ja sidosryhmätyö
Yhdyskuntarakenne, rakennettu ympäristö, maisema, kaupunkikuva ja kulttuuriperintö	Väestön, asumisen, työpaikkojen, tuotantotoiminnan, palvelujen ja vapaa-ajanalueiden ja näitä yhdistävien liikenneväylien ja teknisen huollon verkostojen sijoittuminen ja keskinäinen suhde, maisema on aistein havaittu ympäristö (historialliset ja kulttuurilliset arvot), kulttuuriperintö sisältää aineellisia ja aineettomia resursseja	Alueidenkäyttö, toimintojen sijoittuminen, liikennehankkeet, yhteiskunnan rakennemuutokset	Monitavoitteinen suunnittelu ja kaavoitus (hillintä, sopeutuminen) Ilmastovaikutusten arviointi Maa- ja rakennuslain (MRL) yhteydessä, sidosryhmätyö, seuranta Oikeudenmukaisen ja vihreän siirtymän toteuttaminen ottaen huomioon alueiden erilaiset resurssit ja lähtökäytännöt, sosiaalisten ja kulttuuristen arvojen suojelu
Luonnonvarojen hyödyntäminen	Uusiutumattomat luonnonvarat (mineraalit, maa-ainekset, metsävarat, vesivarat, muut raaka-aineet) Luonnon tarjoamat aineelliset hyödykkeet (puu, kalat, sienet, marjat, riista, vesivarat, mineraalit) ja aineettomat (matkailu, kulttuuri, henkinen hyvinvointi, virkistys, retkeily, marjastus, sienestys, mökkeily, maisema, haja-asutuksen elinympäristö)	Luonnonvarojen käytön määrän ja niiden keskinäisten suhteiden muutos, vaikutukset materiaalien kiertoon ja käsittelyyn (esim. jätteiden käsittelyn tarpeen lisääntyminen), Biodiversiteetti, luontokato, sosiaaliset vaikutukset	Siirtyminen puhtaasti teknisiin ratkaisuihin, Tuotannon ja kulutuksen materiaalitehokkuuden edistäminen, materiaalitehokas yhdyskuntasuunnittelu, kiertotalouden edistäminen, kulutuskäyttäytymisen muutos Uusiutuvien materiaalien ja kierrätysmateriaalien käyttö

Tulevan energia- ja ilmastostrategian linjaukset ovat vielä osin tavoitteellisia. Tällöin niille ei ole määritetty konkreettisia toimenpiteitä, tai toimenpiteiden osalta odotetaan vaikutusarvioiteja tai muita selvityksiä ennen ohjaustoimien tarkempaa määrittelyä ja/tai käyttöönottoa. Vaikutusten taso ja kohdentuminen vaihtelevat valittujen toimien, niiden toteuttamisen aikataulun ja laajuuden sekä myös muiden toimien ja yhteiskunnan kehityksen mukaan. Ilman tarkempia konkreettisia päätöksiä SOVA-arviointi voidaan suorittaa vain suuntaa antavana ja enimmäkseen laadullisena arviona.

3.1 Vaikutukset kasvihuonekaasujen taseisiin

3.1.1 Vaikutukset Suomen rajojen sisällä

TIMES-VTT -laskelmien mukaan päästökauppa- ja taakanjakosektoreille jakaantuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat Suomessa vuonna 2035 WEM-skenaariossa 33 Mt CO₂-ekv. ja WAM-skenaariossa 21 Mt CO₂-ekv. LULUCF-sektorin nettohiilinielu on WEM-skenaariossa 18 Mt CO₂-ekv. ja WAM-skenaariossa 23 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035, jolloin päästöjen ja poistumien erotus on WEM-skenaariossa 15 Mt CO₂-ekv. ja WAM-skenaariossa 2 Mt CO₂-ekv. (Taulukot 2 ja 3). Yksityiskohtaiset tiedot khk-kaasujen päästökehityksestä on esitetty HIISI-hankkeen muissa raporteissa (Lehtilä ym. 2021a, Maanavilja ym. 2021).

Kasvihuonekaasupäästöt vähenevät erityisesti energiateollisuudessa, liikenteessä ja teollisuusprosesseissa fossiilisten polttoainesten hiilidioksidipäästöjen vähentyessä ja vähäpäästöisen sähköntuotannon lisääntyessä. (Taulukot 2 ja 3). WAM-skenaariossa (Taulukko 3) polttoainesten polton kasvihuonekaasupäästöjen vähentyminen vastaa noin 85 prosenttia vuoden 2035 päästövähennyksistä suhteessa WEM-skenaarioon. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ovat WAM-skenaariossa vain hieman, noin 10 prosenttia, WEM-skenaariota alhaisemmalla tasolla vuonna 2035. LULUCF-sektorin nettohiilinielu on WAM-skenaariossa WEM-skenaariota suurempi erityisesti suuremman hoidetun metsämaan nielun vuoksi.

Taulukko 2. WEM-skenaarion arviot sektorikohtaisista päästöistä ja nieluista. (Lehtilä ym. 2021a, Maanvilja ym. 2021).

Päästöt (Mt CO₂-ekv.)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Kotimaan liikenne*	12,7	12,5	10,8	10,5	8,6	7,2	6,0	5,0
Työkoneet	2,6	2,5	2,4	2,4	2,2	2,2	1,9	1,8
Rakennusten lämmitys	4,5	4,2	3,2	2,5	2,1	1,7	1,3	0,6
Muut energiaperäiset	3,3	3,1	2,6	2,8	3,0	3,0	2,7	2,7
F-kaasut	1,2	1,4	1,4	1,1	0,9	0,5	0,3	0,2
Muut prosessit ja tuotteet	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Maatalous	6,5	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6,0
Jätteiden käsittely	3,1	2,9	2,3	1,86	1,3	1,2	1,0	0,8
Taakanjakosektori yhteensä	34,4	33,7	29,9	28,0	25,0	22,5	19,9	17,7
Päästökauppa-sektori	35,5	42,1	25,3	20,5	17,7	15,7	13,3	10,6
Kaikki yhteensä	69,9	75,8	55,2	48,5	42,7	38,2	33,2	28,3
Nielut (Mt CO₂-ekv.)				2019**	2025	2030	2035	2040
Metsämaa				-23,0	-29,2	-23,7	-24,9	-21,9
Viljelysmaa				7,9	7,5	7,6	7,6	7,7
Ruohikkoalueet				0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Kosteikot				2,2	1,8	1,3	1,1	0,9
Rakennettu maa				0,7	1,3	1,2	1,0	0,8
Puutuotteet				-3,4	-3,2	-3,9	-3,6	-2,8
Nielut yhteensä				-14,8	-21,2	-16,9	-18,0	-14,7

*poislukien lentoliikenne, **vuoden 2021 kasvihuonekaasuinventaarion mukaan.

Taulukko 3. WAM-skenaarion arviot sektorikohtaisista päästöistä ja nieluista (Lehtilä ym. 2021a, Maanvilja ym. 2021).

Päästöt (Mt CO₂-ekv.)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Kotimaan liikenne*	12,7	12,5	10,8	10,5	7,9	5,6	3,5	1,5
Työkoneet	2,6	2,5	2,4	2,4	2,0	1,5	1,0	0,8
Rakennusten lämmitys	4,5	4,2	3,2	2,5	2,0	0,9	0,5	0,3
Muut energiaperäiset	3,3	3,1	2,6	2,8	2,6	2,0	2,3	2,4
F-kaasut	1,2	1,4	1,4	1,1	0,6	0,2	0,1	0,1
Muut prosessit ja tuotteet	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Maatalous	6,5	6,6	6,5	6,4	6,0	5,7	5,6	5,4
Jätteiden käsittely	3,1	2,9	2,3	1,8	1,2	0,9	0,8	0,7
Taakanjakosektori yhteensä	34,4	33,7	29,9	28,0	22,8	17,3	14,5	11,9
Päästökauppasektori	35,5	42,1	25,3	20,5	13,5	11,3	6,5	2,4
Kaikki yhteensä	69,9	75,8	55,2	48,5	36,3	28,6	21,0	14,3
Nielut (Mt CO₂-ekv.)				2019**	2025	2030	2035	2040
Metsämaa				-23,0	-30,1	-26,7	-28,4	-26,9
Viljelysmaa				7,9	7,0	6,7	6,5	6,1
Ruohikkoalueet				0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
Kosteikot				2,2	1,3	0,6	0,6	0,6
Rakennettu maa				0,7	1,3	1,2	1,0	0,9
Puutuotteet				-3,4	-3,2	-3,6	-3,6	-2,8
Nielut yhteensä				-14,8	-23,1	-21,3	-23,1	-21,4

*poislukien lentoliikenne, **vuoden 2021 kasvihuonekaasuinventaarion mukaan.

3.1.2 Vaikutukset Suomen rajojen ulkopuolella

EU:n päästökaupan ohjauksessa oleviin kasvihuonekaasupäästöihin liittyvät toimet vaikuttavat osaltaan päästöoikeuksien kysyntään. Esimerkiksi verkkosähkön kulutusta kasvattavat toimet lisäävät päästöoikeuksien kysyntää, kun puolestaan sähkön käytön tehostaminen, uusiutuvan energian tuotannon lisääminen tai päästökaupan alaisten tuotantolaitosten päästöjä vähentävät toimet laskevat kysyntää. Suomessa käytettävien päästöoikeuksien määrä vaikuttaa muissa EU-maissa käytettävissä olevien päästöoikeuksien määrään. Päästöoikeuksien ylitarjonnan ja siitä johtuvan alhaisen päästöoikeuden hinnan vaikutusten vähentämiseksi otettiin EU:n päästökaupassa käyttöön 1.1.2019 alkaen markkinavakausvaranto. On kuitenkin epäselvää, missä määrin markkinavakausvaranto vaikuttaa siihen, ettei toimijoiden käyttämättä jättämiä oikeuksia käytetä, ellei niitä mitätöidä (Haanperä 2019).

Päästöoikeuksien kysyntää ohjaavat toimet voivat lisäksi vaikuttaa epäsuorasti päästöjen ja muiden ympäristövaikutusten kehittymiseen tulevien päästökauppaa koskevien päätösten kautta sekä päästökaupan sisällä, että myös päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla ja EU:n ulkopuolella markkinamekanismien kautta. Jos esimerkiksi Suomi tarvitsee tulevaisuudessa enemmän päästöoikeuksia, täytyy niitä ostaa muilta jäsenvaltioilta. EU:n päästöoikeusjärjestelmän piiriä tullaan todennäköisesti laajentamaan uusille toimialoille ja päästökatto tulee tulevaisuudessa tiukentumaan, jolloin päästöoikeuksien kokonaismäärä vähenee ja päästöoikeuden hintataso todennäköisesti nousee. Komissio antoi heinäkuussa 2021 ehdotuksen päästökauppadirektiivin uudistamiseksi, jonka mukaan päästökaupasektorille asetettaisiin -61 prosentin päästövähennystavoite vuoteen 2030 mennessä ja päästökauppa laajentuisi meriliikenteeseen, rakennusten lämmityspolttoaineisiin ja tieliikenteen polttoaineiden jakeluun vuodesta 2026 alkaen (EC 2021a).

Raaka-aineiden hankintaan ja materiaalien tuotantoon liittyviä päästöjä aiheutuu Suomen rajojen ulkopuolella paitsi ulkomaisten tuotteiden valmistuksesta, myös useiden kotimaisten tuotteiden ja palveluiden tuotannossa tarvittavien ulkomaisten välituotteiden kautta. Nissinen & Savolainen (2019) arvion mukaan Suomen kansantalouden elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2015 olivat yhteensä noin 126 Mt CO₂-ekvivalenttia. Tämä on noin 128 prosenttia enemmän kuin kyseisen vuoden kasvihuonekaasuinventaariossa raportoidut Suomen alueelliset kasvihuonekaasupäästöt (pl. LULUCF-sektori), jotka olivat noin 55 Mt CO₂-ekv. (Tilastokeskus 2021a). Suomen kansantalouteen liittyvät Suomen rajojen ulkopuolella tapahtuneet päästöt olivat siis suuremmat kuin Suomen alueelliset kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2015. Suomen kansantalouden elinkaarisista päästöistä noin 73 Mt CO₂-ekv. (58 %) kohdistui kotimaan kulutukseen ja investointeihin (ns. kulutusperusteiset päästöt) ja loput 52 Mt CO₂-ekv. (42 %) vientiin (Nissinen & Savolainen 2019).

Suomen kansantalouden aiheuttamien Suomen rajojen ulkopuolella tuotettujen päästöjen määrään vaikuttaa erityisesti se, paljonko sekä millaisia tuotteita ja palveluita Suomen kansantalous kuluttaa, ja mikä on niiden tuotannon päästöintensiteetti. Erityisesti energiajärjestelmä muuttuu WAM-skenaariossa WEM-skenaarioon nähden, ja tähän muutokseen liittyy myös Suomen rajojen ulkopuolella aiheutuvia päästöjä.

Energiantuotantoon tarvittavien voimalaitosten, laitteistojen ja muun infrastruktuurin kuten tuuli- ja ydinvoimaloiden, aurinkopaneelien, hiilidioksidin talteenotto- ja varastointijärjestelmien, sähkö- ja lämpövarastojen sekä energian siirtoyhteyksien rakentaminen ja näihin tarvittavien materiaalien tuottaminen aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä kohdistuen valtioihin, joissa tarvittavien materiaalien ja komponenttien tuotanto tapahtuu. Kasvihuonekaasupäästöjen tuotettua kilowattituntia (kWh) kohden on arvioitu olevan tuulivoimalle 7–56 g CO₂-ekv./kWh, aurinkopaneeleille 18–180 g CO₂-ekv./kWh ja ydinvoimalle 4–110 g CO₂-ekv./kWh (Bruckner ym. 2014). UNEP (2016) puolestaan on arvioinut, että vähähiilisten energiateknologioiden ilmastovaikutukset vaihtelevat keskimäärin välillä 10–80 g CO₂-ekv./kWh, kun taas fossiilisia polttoaineita käyttävien teknologioiden päästöt ovat välillä 400–1000 g CO₂-ekv./kWh. Eri teknologioihin liittyen mm. alumiinin, sementin, kuparin, raudan ja teräksen, maankäytön sekä ihmisiin ja ekosysteemiin kohdistuvien vaikutusten määrät vaihtelevat. Yksittäisten vaikutusarviointien välillä on usein tarkastelumenetelmistä ja määrittelyistä johtuvia eroja. (UNEP 2016)

Tuonti(bio)polttoaineiden saatavuus ja raaka-ainepohja riippuvat hyvin voimakkaasti erilaisten jakeiden taloudellisesta hyödynnettävyydestä, jota ohjaavat muun muassa raaka-aineiden kysynnän ja biopolttoaineisiin sovellettavien kestävyyskriteerien kehittyminen (Searle & Malins 2015, Chum ym. 2011). Tuontibiopolttoaineisiin liittyvät kasvihuonekaasupäästöt tapahtuvat tuotannon ja kuljetusten osalta Suomen rajojen ulkopuolella ja nämä päästöt voivat olla merkittäviä korvattavien fossiilisten polttoaineiden elinkaariin päästöihin verrattuna, mikäli biopolttoaineen tuotanto aiheuttaa suoraan tai epäsuorasti merkittäviä maankäytön muutoksia, hiilinielun pienenemistä, synteettisten lannoitteiden tai prosessienergian käyttöä (Soimakallio ym. 2009).

Liikenteen sähköistyminen johtaa autonvalmistuksen lisäpäästöihin polttomoottoriautojen valmistukseen nähden, koska akkujen vuoksi sähköautojen valmistuksen kasvihuonekaasujen elinkaari-päästöt ovat tänä päivänä noin 40–80 prosenttia suuremmat kuin samankokoisen polttomoottoriauton päästöt. Mitä suurempi auto, sitä pienempi valmistuksen päästöero (EEA 2018). Näiden lisäpäästöjen voidaan olettaa tapahtuvan valtaosin ulkomailla. Toisaalta Suomessa on orastavaa akkuteollisuutta, ja osa Suomeenkin tuotavista tai täällä valmistetuista sähköautoista voivat saada koriinsa Suomessa valmistettuja akkuja. Suomen ilmastopaneelin Autokalkulaattorin (Suomen ilmastopaneeli 2019) ja uusimman akkujen päästökerrointietojen (Bieker 2021) tietojen perusteella on tässä yhteydessä arvioitu henkilöautojen sähköistymisen vaikutusta.

WAM-skenaariossa sähköautoja on oletettu olevan 750 000 vuonna 2030 (Lehtilä ym. 2021a). Jos oletetaan, että niistä 55 % (412 500 autoa) on täyssähköautoja, aiheuttaa niiden valmistus noin 1 milj. t CO₂-ekv. -lisäpäästön vastaaviin polttomootoriautoihin nähden, kun autojen määrän oletetaan kasvavan nykypäivästä lineaarisesti vuoteen 2030 mennessä ja autojen keskimääräinen valmistuspäästö vastaa keskikokoisen ja ison auton päästöjen keskiarvoa. Lisäksi sähköautojen akkujen valmistuksen päästöjen oletetaan vähenevän lineaarisesti 30 prosenttia tästä päivästä vuoteen 2030 mennessä (ICCT 2018). Olettamalla ladattavien hybridiautojen määräksi 45 % (337 500 autoa) sähköautoista, niiden lisäpäästövaikutuksen voidaan arvioida olevan vastaavilla oletuksilla selvästi täyssähköautoja alempi, noin 0,11 milj. t CO₂-ekv.

EU:n ja Suomen ilmastopolitiikkaan saattaa kytkeytyä myös hiilivuotoa, mikä tarkoittaa sitä, että ilmastopolitiikan seurauksena tuotantoa siirtyy alhaisemman ympäristösääntelyn maihin, jolloin globaalisti päästöt eivät vähene tavoitellulla tavalla, vaan saattavat osin jopa lisääntyä. Hiilivuodolle alttiita toimialoja ovat runsaasti energiaa käyttävä teollisuus, kuten sementti-, rauta-, teräs-, puunjalostus- ja alumiiniteollisuus (Syri ym. 2013). Erilaiset globaalit markkinamekanismit vaikuttavat lopulta hyvin paljon siihen, miten Suomen päästöjen kehitys vaikuttaa Suomen rajojen ulkopuolella aiheutuviin päästöihin. Suomi on pieni markkina-alue, joten Suomessa tapahtuva kulu tus vaikuttaa verrattain vähän globaaleihin markkinoihin. Ei kuitenkaan ole itsestään selvää, että esimerkiksi EU:ssa ja Suomessa osana EU:ta ilmastopolitiikan seurauksena käyttämättä jäävät fossiiliset polttoaineet jäisivät käyttämättä globaalilla tasolla, ellei muu maailma toteuta samankaltaista ilmastopolitiikkaa ja energiamurrosta. Periaatteessa alentuva käyttö jollain markkina-alueella, esimerkiksi Suomessa tai EU:ssa, voi alentaa fossiilisten polttoaineiden hintoja tai lieventää hintojen nousupainetta muualla maailmassa, lyhyellä tai pitkällä aikavälillä, ja sitä kautta johtaa epäsuorasti käytön lisääntymiseen Suomen rajojen ulkopuolella. Toisaalta mikäli fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyminen EU:ssa ja Suomessa osana EU:ta johtaa fossiilisten polttoaineiden tuotannon vähenemiseen globaalisti, saadaan fossiilisten polttoaineiden polton päästöjen lisäksi vähennettyä myös niiden tuotannon, kuljetusten ja jalostuksen päästöjä. Näiden arvoketjuun liittyvien toimien kasvihuonekaasupäästöjen on yleisesti arvioitu olevan noin 5–20 prosenttia fossiilisen polttoaineen polton päästöistä (Frischknecht ym. 2007 lähteinen).

EU on pyrkinyt ehkäisemään hiilivuotoa antamalla ilmaisia päästöoikeuksia hiilivuodolle riskialttiille teollisuuden aloille. Jatkossa päästöoikeuksien ilmaisjaon rinnalle tai sen korvaajaksi saattavat tulla hiilitullit tai muut hiilirajamekanismit EU- komission esityksen mukaisesti (EC 2021a). Hiilivuodon mahdollisuuteen ja merkittävyyteen vaikuttaa oleellisesti se, minkälaista ilmastopolitiikkaa globaalisti toteutetaan ja miten markkinat kehittyvät (OECD 2009).

Pyrkimykset LULUCF-sektorin nielujen vahvistamiseksi saattavat aiheuttaa hiilivuo-
toa, mikäli tuotantoa siirtyy toimien seurauksena Suomen rajojen ulkopuolelle. Esi-
merkiksi, jos Suomessa rajoitettaisiin metsien hakkuita, saattaisi tuontipuun määrä
kasvaa tai ulkomainen metsäteollisuuden tuotanto lisääntyä globaalin kulutuksen tyy-
dyttämiseksi (Kallio ym. 2018). Toisaalta puuntuotannon rajoittaminen laajemmin tai
puuraaka-aineiden hintojen nousu nostaisi todennäköisesti metsäteollisuuden tuotteiden
hintoja, mikä vähentäisi niiden kulutusta, parantaisi mahdollisten vaihtoehtojen
tuotteiden markkinoita ja lisäisi metsäpinta-alaa puuntuotantoon (Liu ym. 2021).

Koska WAM-skenaariossa ei ole hakkuita rajoittavia toimia, ovat metsäteollisuuden
tuotantomäärät WAM-skenaariossa samat kuin WEM-skenaariossa. Näin ollen hak-
kuuvuotoa ei myöskään voi tapahtua suoranaisesti, ellei lisääntynyt energiapuun ky-
syntä johda teollisuuspuun tuontiin tai teollisuuden siirtymiseen ulkomaille. Runko-
puun energiakäyttö nousee WAM-skenaariossa kuitenkin vain hieman WEM-skenaa-
riota suuremmaksi, joten hakkuuvuodon mahdollisuus ei skenaarioiden tulosten pe-
rusteella ole merkittävä.

3.2 Vaikutukset ilmanlaatuun

Suomessa ulkoilmasta mitatut ilmansaasteiden pitoisuudet ovat globaalisti katsottuna
erittäin alhaisia. Silti sekä kotimaiset että ulkomaiset päästöt vaikuttavat ilmanlaa-
tuamme, ja ilmansaasteille altistumisesta aiheutuu meilläkin huomattavaa kansanter-
veydellistä haittaa. Tuoreimman, mallinnukseen ja tilastollisiin menetelmiin pohjautu-
van arvion mukaan ilmansaasteet aiheuttivat Suomessa 2000 ennenaikaista kuolemaa
vuonna 2015 (Lehtomäki ym. 2018). Ihmisten terveydelle haitallisimpia ilmansaasteita
ovat pienhiukkaset (halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometrin hiukkaset = PM_{2,5}), joiden arvi-
oitiin aiheuttavan 74 prosenttia ilmanlaatuun liittyvistä terveyshaitoista. Altistuminen
hengitysilman pienhiukkasille voi johtaa eriasteisiin terveyshaittoihin, jotka vaihtelevat
lievistä ärsytys- ja hengityselinoireista sekä lääkityksen tarpeesta lisääntyneisiin sai-
raalahoitajaksoihin ja kuolleisuuteen. Pitkäaikainen altistuminen on erityisen haitallista,
koska se voi lisätä matala-asteista tulehdusta ja siten pahentaa kroonisia sairauksia tai
johtaa niiden kehittymiseen. Ilmansaasteiden terveyshaittoja arvioidaan usein väestö-
tason tutkimuksilla, jolloin yksittäisessä tapauksessa ilmansaasteiden osuutta vakavan
sairauden kehittämisessä tai eliniän lyhenemisessä on vaikea todentaa.

3.2.1 Ilmansaasteiden kansanterveydelliset vaikutukset Suomessa

Edellisen energia- ja ilmastostrategian yhteydessä tehdyssä ympäristövaikutusten arvioinnissa (Soimakallio ym. 2017) mallinnettiin hengitysilman pienhiukkasille altistumisesta syntyviä terveyshaittoja Suomessa vuosina 2015 ja 2030 (Taulukko 4). Pääasiallisia hiukkasten lähteitä ovat erilaiset polttoprosessit, joista vapautuu kiinteitä partikkeleita eli primäärihiukkasia sekä kaasumaisia päästöjä, jotka voivat myöhemmin tiivistyä ilmakehässä ns. sekundäärihiukkasiksi. Kotimaisten päästölähteiden arvioitiin aiheuttavan noin 40 prosenttia pienhiukkasille altistumisen terveyshaitoista Suomessa, joskin tarkastelusta puuttuivat kotimaisten lähteiden sekundäärihiukkaset. Yksittäisistä sektoreista puun pienpoltolla oli selvästi suurin vaikutus terveyteen. Tulisijassa palamistapahtuma on aina jossain määrin epätäydellinen, jolloin palamatta jääneestä aineksesta muodostuu hiukkasia. Tällöin päästöt ovat suuria suhteessa tuotettuun lämpöenergiaan. Vuonna 2015 tieliikenteen ja työkoneiden pakokaasut aiheuttivat vielä merkittäviä terveyshaittoja, mutta vuoteen 2030 mennessä kehittyneemmän moottoritekniikan käyttöönoton arvioidaan laskevan päästöt hyvin alhaiselle tasolle ilman lisätoimiakin. Tällöin katupöly jäisi liikenteen osalta suurimmaksi päästölähteeksi. Katupölypäästöjen määrään vaikuttavat ajosuorituksen kehittyminen, rengasvalinnat ja käytössä olevat katujenhoitomenetelmät. Muutokset liikennevälineiden käyttövoimassa eivät juuri näy katupölypäästöissä.

Päästöjen kehittymiseen vaikuttavat sekä ns. aktiviteetit, kuten polttoaineenkäytöt ja ajosuoritteet, että päästövähennysteknologia. Lainsäädännön tuomilla vaatimuksilla on tyypillisesti suurin vaikutus päästövähennystekniikan käyttöönottoon, joka voi olla joko palamistapahtuman optimointia tai savukaasujen puhdistamista. Edellisen strategian jälkeen ei ole tullut merkittäviä uudistuksia ilmansuojeluun liittyvään lainsäädäntöön, eikä vuoden 2030 jälkeisistä vaatimuksista ole vielä tietoa. Tällöin Taulukon 4 terveyshaitta-arvioiden käytettävyyttä nykyisen strategian yhteydessä voi mielekkäällä tasolla arvioida aktiviteettikehitysten kautta.

Taulukko 4. Edellisen energia- ja ilmastostrategian skenaarioista mallintamalla arvioidut, pienhiukkasten aiheuttamat ennenaikaiset kuolemat ja sairaalahoitojaksot Suomessa, jaettuna päästölähteittäin (Soimakallio ym. 2017). Ennenaikaiset kuolemat johtuvat pääosin pitkäaikaisesta altistumisesta ja sairaalahoitojaksot lyhytaikaisesta altistumisesta. Laskelmissa ei ole mukana kotimaista päästöistä muodostuneita sekundäärisiä pienhiukkasia.

Päästölähde	2015	WAM 2030 (E&I 2016)			
		Ennenaikaiset kuolemat		Sairaalahoitojaksot	
		Nykyinen väestö	Ennustettu väestö	Sydän- ja verisuonisairaudet	Hengityselin-sairaudet
Energiantuotanto ja teollisuus	9	7	8	3	4
Pienpoltto	210	190	210	90	100
Tieliikenne	77	10	11	5	5
Työkoneet ja muu liikenne	74	10	12	5	6
Katupöly	55	53	61	27	30
Muut lähteet*	53	55	64	29	31
<u>Kotimaiset yhteensä</u>	470	320	360	160	180
Kaukokulkeuma	960	830	930	410	450
<u>Kaikki yhteensä</u>	1400	1200	1300	570	620

Lukujen pyöristyksestä johtuen osa taulukon tiedoista ei ole täysin yhteneviä lähteen kanssa.

* Sisältää mm. rakennustyömailta, maatalouseläimistä ja turpeentuotannosta syntyvät pölypäästöt.

Taulukossa 5 on verrattu vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian WAM-skenaarion primäärienergiankulutuksia HIISI-hankkeen WEM- ja WAM-skenaarioihin. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksissa käytettävien polttoaineiden määrä on nykyisissä skenaarioissa yhteensä 11–14 prosenttia alempi kuin edellisessä WAM-skenaariossa vuodelle 2030. Polttoaineiden kokonaiskäyttö laskee HIISI-skenaarioissa vain vähän vuodesta 2030 vuoteen 2050. Sähkön hankinta muista lähteistä ei aiheuta merkittäviä ilmansaastepäästöjä kotimaassa. Koska edellisen strategian arviossa on jo huomioitu vuoteen 2030 asti päätetty polttolaitoksia koskeva lainsäädäntö, voi vuoden 2016 WAM-skenaarion päästöihin perustuvaa terveyshaitta-arviota käyttää karkealla tasolla kuvaamaan myös nykyisiä skenaarioita vuoteen 2050.

Taulukko 5. Primäärienergiankäytöt [PJ] vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian WAM-skenaariossa ja nykyisessä strategiassa, sekä ennakkotiedon mukainen tilanne vuodelle 2020.

Sähkö, kaukolämpö ja teollisuus						
	Lähtötilanne (2020)	I&E 2016 WAM (2030)	HIISI WEM (2030)	HIISI WAM (2030)	HIISI WEM (2050)	HIISI WAM (2050)
Fossiiliset ja jäte	250	250	190	140	130	110
Biomassa	130	170	180	180	180	190
Mustalipeä	180	170	170	200	210	200
Muu uusiutuva, ydinvoima ja sähkön tuonti	320	510	510	500	530	570
Puun pienpoltto*	53	65**	56	52	45	39

Tieliikenne						
Henkilö- ja pakettiautot	100	78	82	71	46	30
Raskas liikenne	56	54	53	47	40	27
Työkoneet	33	33	36	32	36	29

* Sisältää asuin- ja palvelurakennusten puunkäytön. Lisäksi puuta käytetään esim. teollisuusrakennusten hakekattiloissa, joiden vaikutus päästöihin on kuitenkin vähäinen.

** Pienpolton osalta aktiviteetti on vuoden 2016 strategian WEM-skenaariosta, jota käytettiin terveysvaikutusten arvioinnissa.

Kotitalouksien puunpolton on nykyisessä strategiassa arvioitu pysyvän lähellä nykyistä tasoa vuoteen 2030 ja laskevan selvästi vuoteen 2050. Puulämmityksen suosion vaikutusta terveyshaittoihin on tarkasteltu seuraavassa luvussa. Tieliikenteen osalta primäärienergiankäyttö on nykyisessä strategiassa arvioitu lähelle edellisen strategian tasoa vuonna 2030, mutta vuosina 2030–2050 käyttö vähenisi WEM- ja WAM -skenaarioissa noin 40 ja 50 prosenttia, vastaavasti. Tämä vaikuttaisi suoraan sekä katupöly- että pakokaasupäästöihin. Työkoneilla primäärienergiankäyttö laskee myös vuoteen 2050, mutta ei yhtä merkittävästi. HIISI-hankkeen WEM- ja WAM-skenaariot eivät ilmansaastepäästöjen osalta eroa toisistaan oleellisesti, vaikkakin WAM-skenaariossa alhaisemmat puunkäyttö- ja liikennemäärät alentaisivat myös päästöjä jonkin verran.

3.2.2 Puulämmityksen vaikutus päästöjen ja ilmanlaadun kehitykseen

Primäärienergiankulutusten perusteella arvioituna Taulukon 4 terveyshaikka-arvioita voidaan pitää kohtalaisella tarkkuudella kuvaavina myös nykyisen strategian WEM- ja WAM-skenaarioille vuoteen 2030. Vuosien 2030 ja 2050 välillä päästöt laskisivat lähinnä rakennusten lämmitystarpeen ja liikenteen primäärienergiankäytön alenemisen takia. On myös todennäköistä, että sinä aikana tulee voimaan uutta, päästöjä vähentävää lainsäädäntöä. Sen mahdollista vaikutusta ei kuitenkaan voi vielä arvioida. Kuten Taulukosta 4 nähdään, merkittävin kotimainen pienhiukkaspitoisuuksiin vaikuttava päästölähde on puun pienpoltto. Sen suhteellinen merkitys kasvaa vielä ainakin vuoteen 2030, johtuen lähinnä siitä, että muilla sektoreilla on enemmän päästöjä rajoittavaa lainsäädäntöä. Puun pienpoltto sisältää tulisijojen, puukiukaiden ja keskuslämmityskattiloiden käytön sekä lisäksi kaiken muun kiinteistön alueella tapahtuvan puunpolton, kuten grillaamisen tai paljujen lämmityksen.

Puun pienpolton suosio on kasvanut Suomessa viime vuosikymmeninä, joka on myös lisännyt päästöjä (Savolahti 2020). Viimeisen reilun kymmenen vuoden aikana käyttömäärät ovat näyttäneet tasaantuvan, joskin vaihtelevat sääolosuhteet voivat näkyä suurinakin vuosittaisina eroina puunkäyttötalastoissa. Käytössä oleva laitekanta myös uudistuu, vaikkakin hitaasti, ja tulee keskimäärin vähäpäästöisemmäksi. Tulevaisuuden ympäristövaikutukset määräytyvät laitteiden teknologisen kehityksen, laitekannan uusiutumistahdin ja puunkäytön suosion mukaan. Suurimmat terveysvaikutukset tulevat säännöllisestä puunkäytöstä tiiviisti asutuilla pientaloalueilla, eli lisälämmitykseen käytettävistä takoista ja saunojen kiukaista taajamissa.

HIISI-hankkeessa tehtiin lisämallinnuksia puun pienpolton ja suurten energiantuotantolaitosten päästöjen terveysvaikutuksista nyt ja tulevaisuudessa. Vuonna 2020 pienpoltto (ennakkoarvion mukaisella puunkäytöllä) aiheutti laskennallisesti arvioituna 160 ennen aikaista kuolemaa ja 140 sairaalahoitojaksoa. Luvut ovat hieman alempia kuin Taulukossa 5, johtuen lähinnä siitä, että edellisen strategian jälkeen arviot puukiukaiden päästöistä ovat tarkentuneet (Tissari 2019). Puun käytön laskiessa WAM-skenaarion mukaisesti ja laitekannan kehittyessä oletetusti, pienpolton aiheuttamien ennen aikaisten kuolemien määrä alenisi 20 prosenttia vuoteen 2030 ja 50 prosenttia vuoteen 2050. Tekniikan kehittymiseen ja laitekannan uusiutumismuutosten liittyvän epävarmuuksia, mutta todennäköisesti päästöt keskimäärin alenevat tulevaisuudessa ilman uusia lisätoimenpiteitäkin. Nykyisten oletusten mukaisella laitekehityksellä pienpolton aiheuttamat terveyshaitat pysyisivät vuoden 2020 tasolla, jos puulämmityksen suosio kasvaisi 20 prosenttia vuoteen 2030 ja 50 prosenttia vuoteen 2050.

Herkkystarkasteluissa on oletettu puukiukaiden käytön pysyvän vakiona, koska se ei ole riippuvainen rakennusten lämmitystarpeesta. Vuonna 2020 kiukaat aiheuttivat arviolta 30 prosenttia pienpolton PM_{2.5}-päästöistä. Mittausten mukaan nykyään markkinoilla olevat kiukaat ovat keskimäärin selvästi vähäpäästöisempiä kuin 10 vuotta sitten, joten kiuaskannan uusiutumishopeudella on vaikutusta ennustettuun päästökehitykseen. Aktiivisessa käytössä olevan kiuaskannan on oletettu sisältävän lähes pelkästään nykyisiä moderneja kiukaita vuonna 2030, perustuen kiukaiden vuosittaisiin myynteihin ja suositeltuun vaihtoaikaan. Toisaalta esim. Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY:n kyselyn perusteella yli puolet pääkaupunkiseudun puukiukaista ovat vanhempia kuin 20 vuotta (HSY 2018). Kiukaiden päästöihin vaikuttaa luonnollisesti myös muutokset sähkö- ja puukiukaiden osuuksissa.

Puun pienpolton suosiolla on vaikutusta päästöihin myös sähkön- ja kaukolämmön tuotannon kautta. Edellisessä strategiassa kotimaisten energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten primääristen hiukkaspäästöjen arvioitiin aiheuttavan verrattain pienet terveyshaitat. Polttolaitokset ovat kuitenkin suurin SO₂- ja NO_x-päästöjen lähde Suomessa, aiheuttaen sekundääristen hiukkasten muodostumista. HIISI-hankkeessa mallinnettiin karkeasti myös näiden päästöjen vaikutus ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksiin ja siten terveyshaittojen syntymiseen. Käyttäen Kansallisessa ilmansuojeluohjelmassa (YM 2019b) mallinnettuja päästömääriä polttolaitoksille, niiden arvioitiin aiheuttavan 45 ennenaikaista kuolemaa ja 35 sairaalahoitojaksoa Suomessa vuonna 2020. Vuonna 2030 terveyshaittoja syntyisi noin 20 prosenttia vähemmän. Haitat jakautuvat melko tasaisesti eri saastukkeille (primääri-PM_{2.5}, SO₂, NO_x). Arvio on karkea ja sitä voidaan pitää lähinnä suuntaa antavana.

Puulämmityksen (tai -kiukaiden käytön) korvaaminen sähköllä (maalämmöllä, lämpöpumpuilla jne.) tai kaukolämmöllä vähentää suurella todennäköisyydellä terveydelle haitallisten päästöjen määrää merkittävästi, vaikka tarkka järjestelmätason vertailu on haastavaa. Suhteutettuna käytettyyn primäärienergiaan, puun pienpoltto tuotti keskimäärin noin 70 kertaa enemmän pienhiukkaspäästöjä vuonna 2019 kuin sähkön- ja kaukolämmöntuotanto. Vastaavasti primäärienergiaan suhteutettuna SO₂-päästöt olivat pienpoltossa noin viidesosa ja NO_x-päästöt noin 50 prosenttia korkeammat kuin teollisen mittakaavan energiantuotannossa. Lisäksi huomioiden puulämmityksestä syntyvät mustan hiilen päästöt sekä vaikutuksen hiilivarastoihin, talokohtaisessa vertailussa puulämmityksen arvioitiin aiheuttavan lyhyellä aikavälillä suuremman ilmastoa lämmittävän vaikutuksen kuin muut yleiset lämmitysmuodot Suomessa (Savolahti ym. 2019). Huomioiden kaikki syntyvät päästöt, puulämmityksen osuuden mahdollista lisäämistä ei voida perustella ympäristöhyödyillä, joskin siihen voi liittyä muita hyötyäkökulmia, kuten huoltovarmuus, omavaraisuus ja polttoaineen hinta.

3.3 Vaikutukset luonnonvarojen käyttöön

Raaka-aineiden ja luonnonvarojen käytön kannalta keskeisimmät toimialat Suomessa ovat hiekan, soran ja saven otto, maanrakennus, metsänhoito ja metallimalmien louhintaa (Lehtilä ym. 2021b). Sora, murske ja raakapuu ovat merkittävimmät Suomen luonnosta otetut materiaalipanokset. Erityisesti puu- ja paperituotteita sekä perusmetallituotteita viedään Suomesta ulkomaille. Metall- ja konepajatuotteiden ja elektronikan valmistus vientiin on merkittävää etenkin niiden suuren luonnonvarojen kokonaiskäytön tarpeen vuoksi. Tuontituotteiden käyttö on kuitenkin merkittävämpi tekijä, fossiilisten polttoaineiden lisäksi erityisesti metallimalmeja ja rikasteita, peruskemikaaleja, rautaa ja terästä tuodaan Suomeen. (Savolainen & Nissinen 2019.)

Globaalisti energiamurros voi lisätä skenaariosta riippuen mineraalituotantoon liittyviä materiaalivirtoja noin 200–900 prosenttia sähköntuotannossa ja 350–700 prosenttia liikennesektorilla vuosina 2015–2050. Materiaalivirtojen voimakas kasvu liittyy suurelta osin kuparin, hopean, nikkelin, litiumin, koboltin sekä teräksen kysynnän lisääntymiseen. Vaikka puhdas sähköntuotanto pienentää energian tuotannon materiaalivirtoja (jolloin vähähiilisten tekniikoiden lisäys teoriassa vähentäisi kokonaisresurssien käyttöä), sähköajoneuvojen lisääntyminen liikenteessä aiheuttaa mineraalituotantoon liittyvien materiaalivirtojen voimakkaan kasvun, mikä todennäköisesti heikentää nettohyötyjä. Kestävän energiasiirtymän kannalta resurssisykliä suunnitellaan lähentymistavalla, eli eri luonnonvarojen ja sektoreiden väliset kytkökset huomioiden, on siten välttämätöntä. (Watari ym. 2019)

Uusien vähäpäästöisten energiateknologioiden käyttöönotto ja hajautettu energian tuotanto lisää tarvetta uuden infrastruktuurin rakentamiselle, mikä kohdistuu erityisesti sähkönsiirtokapasiteetin ja sähkö- ja kaasuautojen latausverkoston rakentamiseen. Raaka-ainekulutuksen ohella uusiutuvien energiateknologioiden käyttöön liittyvästä kapasiteetin rakentamisesta aiheutuu aina jonkin verran maankäytön muutoksia, joilla voi olla vaikutuksia muuhun luonnonvarojen käyttöön tai elinkeinojen harjoittamiseen. Sektorikohtaisesti sähköistäminen ja energiatehokkuuteen kohdistuvat vaatimukset kasvattavat investointeja uusiin koneisiin, laitteisiin sekä elektroniikkaan, mikä lisää niiden tuotantoon vaadittavien materiaalien ja energian kulutusta. Voimakas digitalisaatio ja älykkäät ratkaisut tehostavat toisaalta energian ja resurssien käyttöä, mutta digitalisaation myötä kasvava datan käyttö saattaa myös kasvattaa energian kulutusta ja päästöjä (Lange ym. 2020), jotka voivat myös jakaantua globaalisti epätasa-arvoisesti ja aiheuttaa hiilivuotoa (Toivonen 2021). Digitalisaation myötä saavutettu tehottomuus työvoiman ja energian käytössä ei siten automaattisesti johda energiakulutuksen pienenemiseen, vaan saattaa lisätä kulutusta toisaalla (rebound effect), minkä lisäksi digitalisaation hyödyt tulevat usein jo olemassa olevan tuotannon päälle (Lange ym. 2020). Mikäli talous palveluvaltaistuu voimakkaasti tulevaisuudessa, voi se osittain hillitä raaka-aineiden kulutusta ja luonnonvarojen tarvetta. Lisäksi kiertotalouden

ratkaisut voivat vähentää luonnonvarojen kulutusta neitseellisen raaka-aineen tarpeen vähentyessä.

Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen energian tuotannossa ja liikenteessä lisää erilaisten biomassojen ja biopohjaisten sivuvirtojen kysyntää, jonka lisäksi tarvetta pääosin puupohjaisille biomassavirroille syntyy teollisuuden fossiilipohjaisten raaka-aineiden korvaamisesta (esim. kemianteollisuus) ja biotalouden tuotteiden jalostuksesta (metsäteollisuus) (Paloneva & Takamäki 2020). Mahdolliset vaikutukset näkyvät hakuiden intensiteetissä ja biomassan korjuun lisääntymisenä, mikä vaikuttaa metsien hiilinielun ja varaston kokoon mutta myös luonnon monimuotoisuuteen ja sen ylläpitiin ekosysteemipalveluihin, vaikkakin vaikutuksen suuruutta säätelee osittain valitut metsähoito- ja käsittelytavat (Forsius ym. 2016, Verkerk ym. 2014). Voimakkaampi biomassankorjuu ja biomassan ja ravinteiden talteenotto voivat vaikuttaa metsän fyysikaalisiin ominaisuuksiin, maaperän ravinnetasapainoon ja hedelmällisyyteen (Sokka ym. 2016).

Agroekologisia materiaalikiertoja lisäämällä ja jättepohjaisten sekä puupolttoaineiden biomassavirtojen hyödyntämällä voidaan tehostaa luonnonvarojen käyttöä sekä minimoida osittain muita haitallisia ympäristövaikutuksia. Tuontibiomassan määrän kasvu voi lisätä kestäväntä bioenergian tuotantoa, jolla voi olla, raaka-aineista ja niiden alkuperästä sekä tuotantotavasta ja -laajuudesta riippuen, haitallisia vaikutuksia maankäyttöön (lisääntyvä metsäkato/kilpaileva maankäyttö), ruoan tuotantoon, luonnon monimuotoisuuteen ja veden käyttöön sekä kestäväen kehityksen ja ilmastonmuutoksen sopeutumisen edellytyksiin. Biomassan kestävä tuotanto tarvitsee tuekseen integroivia politiikkoja ja instituutioiden välistä yhteistyötä sekä parempia hallintomekanismeja, jotta sektorien välisiä vaikutuksia voidaan hallita. (Calvin ym. 2021)

3.3.1 Vähäpäästöisten teknologioiden materiaalitarve

Kansainvälisen energijärjestön selvityksen (IEA 2021) mukaan sähköajoneuvot ja akkuvarastointi ovat jo ohittaneet kuluttajaelektronikan suurimpana litiumin käyttäjänä ja ohittamassa myös ruostumattoman teräksen valmistuksen nikkelin suurimpana loppukäyttökohteena vuoteen 2040 mennessä. On arvioitu, että vähähiiliseen talouteen siirtyminen vaatisi maailmanlaajuisen akkutuotannon kasvua 19-kertaiseksi (WEF 2019). Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi lisääntyvä vähäpäästöisen energian tarve lisää tulevien kahden vuosikymmenen aikana litiumin tarvetta arviolta lähes 90 prosenttia, nikkelin ja koboltin tarvetta 60–70 prosenttia sekä kuparin ja REE-materiaalien tarvetta yli 40 prosenttia. Kaikkiaan mineraalien kokonaiskäytön tarpeen arvioidaan vähintään nelinkertaistuvan vuoteen 2040 mennessä. (IEA 2021)

Niin sanottuja high-tech-metalleja⁷ käytetään runsaasti nykyteknologioissa, erityisesti sähkö- ja hybridiautoissa, aurinkopaneelissa, tuuliturbiineissa, tietotekniikassa ja viihde-elektronikassa. Erityisesti harvinaiset maametallit (REE) sekä platinaryhmän metallit on luokiteltu EU:n kannalta hyvin kriittisiksi materiaaleiksi. Mineraalivarannot ja tuotanto ovat keskittyneet maantieteellisesti hyvin rajatusti, ja Kiinassa arvioidaan sijaitsevan yli puolet maailman REE-varannoista, ja 95 prosenttia harvinaisista maametalleista tuotetaan siellä. (SKGK 2019) Kuparin ja litiumin tuotanto vaatii paljon vettä ja yli 50 prosenttia tuotannosta keskittyy korkean vesistressin alueille mm. Australiassa, Kiinassa ja Afrikassa (IEA 2021). Myös Suomen maaperässä on high-tech-metalliraaka-aineiden esiintymiä sekä toiminnassa tai suunnitteilla olevia akkumeraalikaivoksia ja -prosessointilaitoksia (GTK 2021). Globaalinen kysynnän kasvu voi lisätä kaivostoimintaa Suomessa ja kasvattaa siitä aiheutuvia päästöjä ja ympäristövaikutuksia. Suomen kansallinen akkustrategia 2025 (TEM 2021c), pyrkii edistämään Suomen roolia akkualalla ja sähköistymisessä myös kansainvälisesti. Osaaminen, vastuullisuus ja kilpailukyky ovat strategian kannalta keskeisiä tekijöitä, ja Suomi sekä muut EU-valtiot kilpailevat Aasian maiden kanssa akkuteknologioiden kehityksessä. Suomen kaivoslakia ollaan myös päivittämässä ja hallituksen esitysluonnoksen pitäisi valmistua lausuntokierrokselle syksyllä 2021 (TEM 2021d).

Tuotantomenetelmien kehittyminen on laskenut tuuli- ja aurinkovoiman tuotantokustannuksia ja lisännyt näiden teknologioiden käyttöönottoa. Aurinkovoimalan rakentaminen vaatii noin 2,9 tonnia kriittisiä mineraaleja yhtä megawattia kohden, ydinvoima 5,2 tonnia, tuulivoima maalla 10,2 tonnia ja merellä 15,4 tonnia per megawatti (IEA 2021). Vaikka tekninen kehitys vähentää kriittisten materiaalien tarvetta⁸ tuotettua energiayksikköä kohti, lisää voimakas tuotannon kasvu kuitenkin materiaalien kokonaistarvetta. Erityisesti tuuliturbiinigeneraattoreiden ja sähköautojen moottoreissa tarvittavien kestopagneettien valmistuksessa käytettävien neodyymin (Nd), praseodyymin (Pr), terbiumin (Tb) ja dysprosiumin (Dy) käytön odotetaan lisääntyvän. Vähähii-listen teknologioiden kuten tuulivoiman ja sähköisen liikkumisen osalta REE-materiaalien käyttöön vaikuttavat teknologinen kehitys ja materiaalin käytön optimointi sekä poliittinen kunnianhimo, mutta elektronikan ja erikoislaitteiden (special devices) osalta

⁷ Hi-tech-metalleja ovat antimoni (Sb), beryllium (Be), gallium (Ga), germanium (Ge), indium (In), koboltti (Co), litium (Li), molybdeeni (Mo), niobium (Nb), platinaryhmän metallit (PGM), harvinaiset maametallit (Rare Earth Elements), tantaali (Ta), titaani (Ti), vanadiini (V) ja volframi (W). Harvinaisiin maametalleihin kuuluvat 15 lantanoidi-ryhmän metallia sekä skandium (Sc) ja yttrium (Y). (SKGK 2019)

⁸ Tuulivoimaloiden rakentamisessa käytettäviä kriittisiä materiaaleja ovat mm. dysprosium (Dy), neodyymi (Nd), molybdeeni (Mo), kromi (Cr), nikkeli (Ni) ja magnesium (Mg). Aurinkopaneelien valmistuksessa puolestaan telluuri (Te), indium (In), tina (Sn), hopea (Ag), gallium (Ga), germanium (Ge), seleeni (Se) ja rutenium (Ru). (Leskinen ym. 2014)

pääasiassa markkinoiden dynamiikka vaikuttaa käyttöön. Kierrätysmenetelmiä ja infrastruktuuria tulee kehittää merkittävästi, sillä REE-materiaalien kierrätysaste on tällä hetkellä vain noin prosentin luokkaa. (Alves Dias ym. 2020)

Uusien kaivoshankkeiden käynnistäminen mineralisaation löytymisestä tuotannon aloitukseen kestää keskimäärin 16 vuotta. Luonnonvarojen ehtyessä siirrytään mineraalipitoisuudeltaan köyhempien esiintymien hyödyntämiseen, jolloin haluttujen mineraalien rikastaminen vaatii enemmän energiaa ja lisää riskiä tuotantokustannusten, ympäristövaikutusten ja jätemäärien kasvulle. Rahoittajat, kuluttajat ja muut sidosryhmät vaativat yhä enenevästi, että yritykset hankkivat kestävästi ja vastuullisesti tuotettuja mineraaleja. Ilman laajaa ja jatkuvaa kehitystyötä ympäristöllisten ja sosiaalisten haitallisten vaikutusten vähentämiseksi asiakkaiden voi olla vaikea välttää heikompien standardien mukaan tuotettuja mineraaleja, etenkin jos laadukkaampien arvoketjujen kautta tuotettujen mineraalien tarjonta ei täytä kysyntää. (IEA 2021). Tällöin mineraalien kulutuksen lisääntymiseen liittyviä haitallisia ympäristöllisiä ja sosiaalisia vaikutuksia on vaikeampi hallita.

3.3.2 Resurssitehokkuus ja kiertotalous

Aiemmassa hallituksen energia- ja ilmastostrategian vaikutusten arvioinnissa (Koljonen ym. 2017) resurssitehokkuuden kehittymistä tarkasteltiin käyttäen kolmea elinkaari-indikaattoria: raaka-aineiden kokonaiskäyttö (raw material requirement, RMR) kuvaa materiaalitehokkuutta, sivukivi-indeksi (surplus ore potential, SOP) ja elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt (eKHK) puolestaan ympäristötehokkuutta. 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 keskeisimpiin toimialoihin ja tuotevirtoihin. Analyysin keskeisenä johtopäätöksenä oli, etteivät vuoden 2016 strategian linjaukset juurikaan kohdistuneet suoraan raaka-aineiden käytön tai mineraalivarantojen köyhtymisen kannalta merkittäviin toimialoihin tai tuotevirtoihin, mutta epäsuoria vaikutuksia voi syntyä erilaisen rakentamisen ja tuotannon kautta (Koljonen ym. 2017). HIISI-hankkeessa ei tehty ENVIMAT-mallitarkastelua, mutta johtopäätökset vuoden 2016 strategian vaikutusten arvioinnista ovat laadullisesti pätevätkin myös tässä yhteydessä.

Suomelle on laadittu Sitran koordinoimana tiekartta kiertotalouteen vuosille 2016–2025 ja vuonna 2019 päivityksenä Suomen kiertotalouden tiekartta 2.0 (Sitra 2016; 2019). Valtioneuvosto teki huhtikuussa 2021 periaatepäätöksen kiertotalouden edistä-

misestä ja asetti tavoitteiksi vuodelle 2035, että kotimaan primääriraaka-aineiden kulutus ei ylitä vuoden 2015 tasoa (vientituotteiden valmistus ei kuulu tavoitteeseen), resurssien tuottavuus on kaksinkertaistunut verrattuna vuoden 2015 tilanteeseen, ja että materiaalien kiertotalousaste kaksinkertaistuu. Lisäksi periaatepäätöksessä linjataan ministeriöiden keskeisistä toimenpiteistä kiertotalouden edistämiseksi vuosina 2021–2024. (YM 2021e).

Kiertotalouden päästövähennyspotentiaalia on selvitetty esimerkiksi liikkumisen, teollisuuden, rakentamisen, ruokajärjestelmän sekä materiaalien (alumiini, muovit, sementti, teräs) suhteen EU-tasolla (Material Economics 2018, 2019) ja globaalisti (Ellen MacArthur Foundation 2019). Globaalisti ilmastopäästöjä voitaisiin vähentää vuositasolla lähes neljän miljardin hiilidioksidiekvivalenttitonin verran jo käytössä olevien muovien, alumiinin, teräksen ja betonin kiertotaloutta toteuttavalla uudelleenkäytöllä. Edelleen, EU-tasolla kiertotalouden myötä materiaalien tuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämispotentiaalin on arvioitu vuoteen 2050 mennessä olevan 56 prosenttia ja lähes 300 Mt CO₂. (Material Economics 2018). Kansallisia tutkimuksia kiertotalouden päästövaikutuksista on tehty lisäksi ainakin Suomessa, (Seppälä ym. 2016, Ruokamo ym. 2021), Saksassa (RESCUE 2019) ja Belgiassa (Geerken ym. 2019).

Ruokamo ym. (2021) tunnistivat useita hyvän päästövähennyspotentiaalin kiertotaloustoimenpiteitä Suomessa. Näitä ovat esimerkiksi metallien, sementin ja betonin käytön optimointi ja uudelleenkäyttö, puumateriaalin kaskadikäytön lisääminen metsäteollisuudessa ja rakentamisessa, rakennusten käyttöiän pidentäminen ja tilojen käytön optimointi. Geopolymeerit sementti- ja betoniteollisuudessa, hiilidioksidin talteenotto- ja hyödyntämisteknologiat (CCU) ja niiden hyödyntäminen esimerkiksi kemian-, metalli-, metsä- ja sementtiteollisuudessa sekä P2X-teknologioiden avulla tuotetut vähähiiliset tai päästöttömällä energialla tuotettavat liikennepolttoaineet, proteiinit ja materiaalit tarjoavat lisäksi päästövähennysmahdollisuuksia tulevaisuudessa (Ruokamo ym. 2021).

Kiertotalouden kehitys, resurssitehokkuus ja lisääntyvä kierrätys hidastavat osaltaan luonnonvarojen ehtymistä. Kiertotalouden ratkaisujen toteuttaminen edellyttää usein varastointia sekä logistiikkaa, ja myös materiaalien kierrätys ja uudelleen käsittely voivat lisätä energian kulutusta ja kustannuksia vaikka primäärimateriaalien käyttö vähentyisi. Lisäksi on huolehdittava jätteen sisältämien kemikaalien turvallisesta käsittelystä ja talteenotosta. Kiertotalouden edistäminen ja onnistuminen onkin ratkaisevaa luonnonvarojen käytön tehostamisessa ja vähentämisessä. Ollakseen kustannustehokkaita, ratkaisujen jalkauttaminen vaatii todellista markkinakysyntää. Kiertotalouden skaalautuminen voi myös kiihdyttää talouskasvua ja investointeja. Kokonaistalouden tasolla välilliset vaikutukset voivat siten olla myös raaka-ainekäyttöä lisääviä. Kiertota-

louden skaalautuminen ja elinkaariset materiaalikierrot eivät tällä hetkellä ulotu kriittisten mineraalien kierrätykseen, sillä niiden lajittelu- ja kierrätysteknologiat eivät ole kustannustehokkaita (Mathieux ym. 2017). Myös sähkö- ja elektroniikkajätteen (SER-jäte) sisältämien kriittisten materiaalien kierrätysaste on matala, eikä nykyinen EU-lainsäädäntö huomioi riittävästi tämänhetkisiä materiaalitehokkuuden ja kiertotalouden haasteita (Penttilä 2020).

Kaiken kaikkiaan kiertotalouden toimenpiteiden vaikutuksia talouteen, sosiaalisiin tekijöihin ja ympäristöön, esimerkiksi luonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin, tunnetaan kuitenkin edelleen melko huonosti (Ruokamo & Antikainen, 2020). Vaikutusten arviointia tukemaan tarvitaan erilaisten arviointimenetelmien ja vaikutuksia ilmaisevien indikaattoreiden kehittämistä. Euroopan Komissio on laatinut kiertotalouden indikaattoreita (Eurostat 2021a), joiden pohjalta Tilastokeskus ja SYKE ovat yhteistyössä laatineet kiertotalousliiketoiminnan suomalaisia indikaattoreita (Tilastokeskus 2021b, Olsson & Pirtonen 2020). Moraga ym. (2019) mukaan indikaattorien käyttö edistää kiertotalouden kehittymistä, mutta indikaattorit keskittyvät enimmäkseen materiaalien säilyttämiseen toimintojen sijasta. Lisäksi kiertotalous voidaan määritellä eri tavoin, mikä asettaa haasteita indikaattorien käytölle (ibid).

3.3.3 Kulutuksen elinkaariset khk-päästöt

Nykyisin elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen osalta keskeisimpiä toimialoja ovat sähkön sekä kaukolämmön tuotanto ja jakelu, raudan ja teräksen valmistus, tierahtiliikenne ja kotieläintalous (Koljonen ym. 2017). Erityisesti sähkön, raakaöljyn ja peruskemikaalien osalta vaikutuksia kohdistuu myös Suomen rajojen ulkopuolelle. WEM- ja WAM-skenaarioihin liittyvät päästövähennystoimenpiteet kohdistuvat erityisesti sähkön, lämmön ja polttoaineiden tuotantoon, liikenteen sähköistämiseen sekä uusien teknologioiden kuten vetypelkistyksen ja hiilidioksidin talteenoton ja käytön hyödyntämiseen (erityisesti BECCS) teollisuudessa. Toimet vähentävät asumisen ja liikkumisen lisäksi myös tuotteiden ja palveluiden tuotannon ja logistiikan kasvihuonekaasupäästöjä.

Suomen talouden materiaalivirrat ovat suuria sekä tuotannon että kulutuksen osalta, ja kansainvälisissä materiaalikulutuksen indikaattorien⁹ vertailuissa Suomen materiaali-intensiteetti väkilukuun suhteutettuna on yksi suurimmista (Eurostat 2021b, Tucker ym. 2016). Nissisen & Savolaisen (2019) ENVIMAT-tulosten mukaan raaka-ainei-

⁹ Esimerkiksi DMC (direct material consumption, suora aineellinen kulutus), RMC (raw material consumption, raaka-ainekulutus) ja TMC (total material consumption, kuinka paljon luonnonvarojen kokonaiskäytöstä kohdistuu kotimaan loppukäyttöön, sisältäen kulutuksen ja investoinnit).

den ja luonnonvarojen käyttö Suomessa on kestävämmällä tasolla, sillä raaka-aineiden käyttö vuonna 2015 oli 29 tonnia ja luonnonvarojen kulutus 52 tonnia henkilöä kohden. Kestävän luonnonvarojen kulutuksen tulisi olla korkeintaan 8–14 tonnia ja raaka-ainekulutuksen 3–6 tonnia per henkilö vuodessa (Bringezu 2015). Materiaalien kulutus on merkittävää varsinkin julkisia hankintoja toteuttavassa maarakentamisessa (erityisesti soran ja murskeen käyttö), kotitalouksien kulutusta varten puolestaan käytetään runsaasti luonnonvaroja ja energiaa etenkin rakentamisen, energian- ja ruoantuotannon valmistusketjuissa. (Nissinen & Savolainen 2019)

Vuonna 2015 Suomen kansantalous aiheutti elinkaarisia kasvihuonepäästöjä yhteensä arviolta 125,8 Mt CO₂-ekv., mikä on yli kaksi kertaa enemmän kuin saman vuoden kasvihuonekaasuinventaarion mukaiset Suomen alueelliset päästöt (55,1 Mt CO₂-ekv.). Hieman yli puolet elinkaarisista kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuivat ulkomaisten tuotteiden valmistuksesta. Kotitalouksien kulutuksella on erittäin suuri merkitys (66 % vuoden 2015 kulutuksesta) mikäli Suomen kasvihuonekaasupäästöjä tarkastellaan kulutusperäisesti eli ottamalla huomioon se, mihin tuotetut tavarat ja palvelut käytetään. Nämä niin sanotut kotimaan loppukäytön päästöt (eli Suomen kulutusperäiset päästöt) eivät ole laskeneet yhtä paljon kuin virallisen kasvihuonekaasuinventaarion mukaiset alueelliset päästöt. Lämmön- ja sähköntuotannon päästöintensivisyyden aleneminen ja kotimaisen tuotannon teknologinen kehitys ovat vähentäneet kotitalouksien kulutuksen kasvihuonekaasupäästöjä, ja yhteiskunnan sähköistyminen vähentää muun muassa polttoperäisiä päästöjä. Vuoteen 2000 verrattuna kotitalouksien kulutus on kasvanut niin paljon, että teknologiakehityksen aikaansaamat päästövähennykset eivät riitä kokonaispäästöjen vähentämiseen. (Nissinen & Savolainen 2019)

WAM-skenaariossa investoinnit uudistavat talouden tuotantorakennetta, ja erityisesti talouden sähköistyminen ja sähkön tuotannon päästöttömyys tuottavat merkittävää tehostumista sekä uusia mahdollisuuksia (Honkatukia 2021). Lisäksi fossiilista tuotantoa korvautuu uusilla teknologioilla, mikä kasvattaa tuotannon energia- ja materiaalihokkuutta. Investointien toteuttamiseksi vaaditaan todennäköisesti kotimaisen päästöverotuksen tiukentamista, mikä vaikuttaisi kuluttajien ostovoimaan (ibid) ja oletettavasti vähentäisi kulutusperäisiä päästöjä.

Kulutuksen vähentäminen, materiaalien kierrätyksen edistäminen sekä siirtyminen ilmastoystävällisempien tuotteiden käyttöön ja vähäpäästöisten palveluiden ja jakamistalouden suosimiseen vähentää kansantalouden kulutuksesta aiheutuvia ilmastovaiikutuksia. Kulutuksen muutos vähäpäästöisemmäksi aiheuttaa todennäköisesti myönteisiä ympäristövaikutuksia. Suosimalla kotimaisia tuotteita ja palveluita päästövaikutukset ohjautuvat ulkomaisiin vaihtoehtoihin verrattuna enemmän Suomen rajojen sisäpuolelle, joskin raaka-aineiden ja tuotannon päästövaikutuksia ohjautuu aina osin

ulkomaille myös kotimaisten tuotteiden ja palveluiden osalta. Kansalliset kulutusmuutokset ja kansallinen tuotanto eivät kuitenkaan välttämättä reagoi muutoksiin suoraviivaisesti, eli esimerkiksi tarjonnan lisääminen ei välttämättä automaattisesti johda kysynnän kasvuun, ellei riittävän suuri joukko kuluttajia siirry käyttämään vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja. Tuotteiden hiilijalanjälkitiedon lisääminen ostopäätöksen tekemisen tueksi ohjaa kuluttajia valitsemaan ilmastoystävällisempiä tuotteita. Eri raaka-ainneiden hankinnan ja tuotteiden hiilijalanjäljistä tulisi kuitenkin saada enemmän ajantasaista, luotettavaa ja avointa tietoa, jota voitaisiin hyödyntää niin kuluttajien, yritysten kuin julkisen sektorinkin valintojen tukena (Nissinen & Savolainen 2019).

3.4 Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

Ilmastonmuutos ja luonnon monimuotoisuuden heikentyminen vaikuttavat ihmisten elämänlaatuun ja taloudelliseen toimintakykyyn sekä elinympäristöihin ja lajistoon niin paikallisesti kuin maailmanlaajuisestikin. Jatkoissa ilmastonmuutoksen voimistuminen vahingoittaa ekosysteemien toimintakykyä ja saattaa hallitsemattomana johtaa arvaamattomiin ja epälineaarisiin seurauksiin, mikäli useat kriittiset keikahduspisteet (*ns. tipping points*) realisoituvat. Toisaalta luonnon monimuotoisuuden heikentymisen pysäyttäminen on edellytyksenä, jotta jo käynnissä olevaan muutokseen voidaan ylipäättään sopeutua ja sitä hillitä. Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneeli IPCC:n ja kansainvälisen luontopaneeli IPBES:n tuoreen yhteisraportin mukaan ilmastonmuutoksen vaikutusten voimistuminen uhkaa nykyisellään ekosysteemien tasapainoa ja siten hillintätoimien tehokkuutta, mikäli maankäyttösektorin merkittävästi hiiltä sitovat ja lajirikkaat ekosysteemit (metsät, kosteikot, suot ym.) katoavat tai oleellisesti heikkenevät (Pörtner ym. 2021).

Luontokadon ja ilmastonmuutoksen synergiat ja mahdolliset ristiriidat on tärkeää huomioida osana kaikkia hillintätoimia, mutta erityisesti metsien ja maatalouden kohdalla niiden merkitys on ratkaiseva. Esimerkiksi vuonna 2019 julkaistun Suomen luontotyyppien (Kontula & Raunio 2018) ja lajien (Hyvärinen ym. 2019) uhanalaisuusarviointien mukaan luontotyypeistä joka toinen ja lajeista joka yhdeksäs (11,9 % arvioiduista lajeista) on uhanalainen. Luonnolle vahingollisia toimia ovat yksipuoliset metsitystoimet tai kasvinviljely bioenergiaksi laajoilla alueilla tai puiden istuttaminen alueille, jotka eivät ole alun perin olleet metsiä (esim. savannimaat) ja monokulttuurinen metsänviljely, kuten eukalyptus-pellot. Haitallisia vaikutuksia voi aiheutua paikallisen ekosysteemin tilaan ja lajistoon, vedenkiertoon, paikallisen yhteisön mahdollisuuksiin harjoittaa elinkeinoaan sekä ruoan tuotantoon. Näiden lisäksi toimet voivat heikentää alueen eliöstön ja ekosysteemin kykyä sopeutua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Yhteisvaikutusten arvioimista tarvitaan myös joidenkin uusiutuvien energiamuotojen kohdalla, mikäli ne lisäävät merkittävästi kaivostoimintaa tai edellyttävät laajojen maa-alueiden

käyttöönottoa. Tämän vuoksi ilmastotoimien hyöty- ja haittasuhteita sekä muita yhteiskunnallisia vaihtosuhteita on tarkasteltava kokonaisuutena. (Pörtner ym. 2021) Globaalit luontokatovaikutukset voivat kytkeytyä Suomen ilmastotoimiin muun muassa erilaisten raaka-aineiden tuonnin kautta.

EU:n biodiversiteettistrategian (COM/2020/380 final) tavoitteena on pysäyttää luontokato ja lisätä luonnonsuojelua siten, että oikeudellisen suojelun piirissä on 30 prosenttia EU:n maa-alueista ja saman verran merialueista. Lisäksi strategiassa on suuri joukko kunnianhimoisia ennallistamistavoitteita, joista merkittävimmistä suunnitellaan jäsenmaita sitovaa lakialoitetta. Strategiassa korostetaan luontokadon pysäyttämisen ja ilmastomuutoksen hillinnän välisiä yhteyksiä mm. kohdentamalla suojelua erityisesti hiilirikkaisiin elinympäristöihin. Strategian kansallisia toimenpiteitä ei vielä ole määritelty, mutta Suomen suuren metsäpinta-alan vuoksi merkittävimmät suojelutoimet kohdistuvat todennäköisesti metsiin, mikä voi vaikuttaa niiden käyttöön ja hoitoon. (Koljonen & Kärkkäinen 2021)

3.4.1 Metsät

Luonnon monimuotoisuuden tilaan ja metsäkadon vähentämiseen vaikuttavat hakkuumäärien kehitys ja rakentamisen sekä pellon raivauksen määrä, niiden kohdentuminen turve- tai kivennäismaille, hakkuiden toteutustapa sekä metsään jäävän lahoppuun määrä. (ks. esim. Auvinen ym. 2020) Metsälajiston uhanalaistumiskehityksen pääsyitä ovat vanhojen metsien ja lahoppuun sekä metsäluontoa uudistavien luontaisten häiriöiden, kuten palojen vähentyminen metsätalouden seurauksena (Kärkkäinen ym. 2021). Vanhojen ja kookkaiden puiden sekä lahoppuun väheneminen ovat keskeisiä taantumisen syitä ja tulevaisuuden uhkatekijöitä noin kolmannekselle uhanalaisista ja silmälläpidettävistä metsälajeista (542 lajille 1 587 lajista). Lisäksi metsäpalojen tai ihmisen tulenkäytön seurauksena syntyneiden luonnollisten häiriöiden vähentyminen on vaikuttanut lehtipuumetsien harvinaistumiseen ja lehtojen kuusettumiseen, mikä on yksi taantumisen syy noin neljännekselle uhanalaisista ja silmälläpidettävistä metsälajeista (426 lajille 1 587 lajista) (Hyvärinen ym. 2019).

Käytettävistä metsänhoitomenetelmistä jatkuvapeitteinen kasvatus tuottaa keskimäärin enemmän ekosysteemipalveluja (mukaan lukien hiilensidonta) kuin jaksollinen kasvatus (Gamfeldt 2013, Pukkala 2016, Peura ym. 2018), mutta hyötyjen kannalta keskeistä on mille alueille ja millaisiin metsiin se kohdentuu ja kuinka hakkuut toteutetaan (Saaristo & Pasanen 2020). Talousmetsien luonnonhoidolle asetetuilla tavoitteilla, joita ovat arvokkaiden elinympäristöjen säästäminen, säästöpuiden ja lahoppuun jättä-

minen metsään, metsärakenteen monipuolistaminen, luonnonhoidollinen kulutus, laji-esiintymätiedon huomioiminen ja vesien suojelumenetelmät, voidaan vaikuttaa metsäluonnon monimuotoisuuden säilymiseen. (Saaristo ym. 2017, Peltola ym. 2014)

WAM-skenaariossa metsien raivausala pienenee vähitellen (n. 90 000 ha vuoteen 2040), mutta tuulivoiman ja aurinkovoiman rakentaminen toisaalta lisäävät maankäytön muutosta vastaavasti arviolta 2 ha keskimääräisellä voimalakoolla 2–5 MW (tuulivoima) ja 1000 ha/TWh (aurinkovoima). Tuulivoiman rakentaminen jakaantuu Etelä-Suomeen ja Pohjois-Suomeen ja aurinkovoima sijoittuu enimmäkseen Etelä-Suomeen. (Maanavilja ym. 2021) Hakkuiden vähentyminen tai loppuminen vaikuttaa pitkällä aikajänteellä positiivisesti luonnon monimuotoisuuteen ja vesistöjen tilaan kun ravinnehuhtoumat pienentyvät mekaanisen maan muokkauksen vähennyttyä (Kenttämies & Mattson 2006) ja lajien elinympäristöjen piirteet säilyvät paremmin (mm. uhanalaistuneelle lajistolle tärkeiden vanhojen elävien puiden sekä kuolleen puun määrä ja muu lajiversiteetti on suurempaa vanhoissa metsissä) (Sandström ym. 2019).

WAM-skenaariossa metsien kasvatuslannoitusten tavoitetasoksi on asetettu 150 000 ha/v kangas- ja turvemailla (Maanavilja ym. 2021). Typpi- ja tuhkalannoituksen käyttö vähentää ilmastopäästöjä parantamalla metsien kasvua ja hiilensidontaa (MMM 2020, Jörgensen ym. 2021, Pukkala 2017), mutta voi toisaalta lisätä maaperän hiilen vapautumista (Saksa ym. 2020, Ojanen ym. 2019, Pukkala 2017). Lannoituksen lisääminen voi heikentää metsien biodiversiteettiä sekä aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä (Jörgensen ym. 2021, Sullivan & Sullivan 2017, Pukkala 2017). Toisaalta maaperän karikkeen (biomassan) lisäys edistää maaperän hiilensidontaa (Huotari 2012, Pukkala 2017). Yleisesti intensiivisempi metsätalous voi muuttaa maaperän ravinnekiertoa, vesitaloutta ja vaikuttaa haitallisesti metsäisten luontotyyppien tilaan (Korhonen ym. 2016).

Talousmetsien luonnonhoidon laatu ei ole juurikaan parantunut, vaan on jopa huonontunut 2000-luvulta 2010-luvulle, huolimatta metsäpoliittisista tavoitteista ja metsänhoidon suosituksista, koulutuksesta ja neuvonnasta (Siitonen ym. 2020). Luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa koko maan tasolla arvioiduista metsäluontotyypeistä kolme neljäsosaa arvioitiin uhanalaisiksi ja viidennes silmälläpidettäväksi (Kouki ym. 2018). Metsissä koko maan tasolla kaikkein uhanalaisimpia luontotyyppisiä ovat vanhat metsät ja karut kasvupaikat (Kouki ym. 2018). Yleisesti metsien talouskäyttö on heikentänyt metsien ekologista laatua ja vähentänyt eri metsäluontotyyppien, kuten vanhojen metsien pinta-aloja. Metsien ikärakenteen nuorentuminen on vaikuttanut myös lahoppuun määrän vähentymiseen, mikä on johtanut monien silmälläpidettävien lajien taantumisen tai uhanalaistumiseen. (Hyvärinen ym. 2019, Kouki ym. 2018)

Metsien uudistamis- ja hoitotoimet ovat ojituksen ohella keskeisiä syitä puustoisten suoluontotyyppien, erityisesti korpien tilan heikkenemiseen ja uhanalaistumiseen

(Kaakinen ym. 2018). Muutos on ollut voimakkainta rehevillä soilla, joissa vedenpinnan lasku ja puuston voimakkaan kasvun myötä lisääntyvä varjostus heikentää nopeasti märkiin ja avoimiin olosuhteisiin sopeutuneen lajiston olosuhteita (Ojanen ym. 2021). WAM-skenaariossa 30 prosenttia rehevien korprien harvennusalasta toteutetaan yläharvennustyyppisinä ja ojitetuilla turvemaidella kunnostusojituksesta harvennushakkuiden yhteydessä luovutaan korprien lisäksi karuilla rämeillä. Korvet ovat arvokkaita luontokohteita ja lajistollisen monimuotoisuuden keskittymiä, mikä liittyy korprien sijaintiin kivennäismaiden ja soiden tai vesistöjen ja soiden vaihtumisvyöhykkeissä (Kaakinen ym. 2018). Puutuotannossa olevien korprien ja rämeiden käsittelyssä on pyrittävä säilyttämään ja palauttamaan niiden luontainen vesitalous, pienilmasto ja kasvillisuus esimerkiksi suosimalla jatkuvan kasvatuksen menetelmiä (Äijälä ym. 2019), sillä suoluontotyyppisiin kuuluvat korvet ovat tärkeitä vanhojen elävien ja kuolleiden puiden lajeille (Haapalehto ym. 2015) sekä puuston suojaisuutta tarvitseville metsälajeille (Huhta ym. 2018). Ilmastonmuutoksen tuomat muutokset lämpö- ja sadeoloissa voivat pitkällä aikavälillä vaikuttaa monin tavoin suoluonnon monimuotoisuuden kannalta olennaiseen hydrologiaan ja lajiolosuhteisiin (Kokko ym. 2020).

Runkopuun hakkukertymän on arvioitu lisääntyvän sekä WEM- että WAM-skenaariossa vuosien 2016–2025 noin 70 Mm³:stä hieman yli 80 Mm³:iin kaudella 2036–2045. Tämä voi osoittautua haasteelliseksi, mikäli samaan aikaan pyritään toteuttamaan EU:n biodiversiteettistrategian tavoitteet, säilyttämään puuntuotannollinen kestävyys ja lisäämään metsien hiilinielua. Kärkkäinen ym. (2021) mukaan suojelun, luonnonhoitotoimien ja hakkuiden yhtäaikainen voimakas lisääminen johtaisi talousmetsien nuorentumiseen ja puuston tilavuuden huomattavaan pienenemiseen seuraavan 30 vuoden aikana. Samalla metsät muuttuisivat hiilinielusta voimakkaaksi päästöjen lähteeksi.

3.4.2 Maatalous

Maatalousluonnon monimuotoisuutta on heikentänyt viljelyn tehostumisen ja karjatalouden keskittymisen myötä vähentynyt laidunnus. Kehityksen syinä ovat avoimien ja viljelemättömien elinympäristöjen pinta-alojen väheneminen sekä tuotannon ja maankäytön tehostuminen peltolohkojen sisällä, mikä on osaltaan johtanut maatalousmaiseman rakenteen yksipuolistumiseen. Monimuotoisuuden heikentyminen näkyy mm. lintujen, pölyttäjähönteisten ja perhosten lukumäärien laskuna ja lajikirjon kaventumisena. Luonnon monimuotoisuuden säilyttämisellä on kuitenkin keskeinen rooli maataloustuotannon sopeutumiselle ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ja tärkeiden ekosysteemipalvelujen (viljelykasvien pölytys ja biologinen torjunta) ja maatalousympäristön lajien säilymiselle. Monimuotoisuuden säilyttämisen kannalta tärkeitä toimia ovat mm. perinnebiotooppien, monivuotisten niittyteltojen ja luonnonhoitopeltojen lisääminen ja

ylläpito, mutta vaikuttavimpien toimenpiteiden pinta-alat ovat kuitenkin toistaiseksi jääneet pieniksi niihin liittyvien kustannuksien ja lisärahoituksen puuttumisen vuoksi. (Hyvönen ym. 2020)

WAM-skenaariossa hoidettujen viljelemättömien peltojen ja kesantojen alan lisääminen CAP-suunnitelman (luonnos) mukaisesti edistää hiilensidontaa, lajien elinympäristöjen säilymistä sekä monipuolisempaa maatalousmaisemaa (ks. esim. Hyvönen ym. 2020, MMM 2021a). WAM-skenaariion CAP-suunnitelmaan ja maatalouden ilmastotiekarttaan perustuvissa uusissa toimissa huomioidaan muun muassa suojakaistat, suojavyöhykkeet vesistöjen varrella ja turvemaidella, luonnonhoitopeltonurmet sekä monimuotoisuuspellot. Maaperän ympärivuotisen kasvipeitteisyyden lisäys, maanparannus- ja saneerauskasvien merkittävä kasvu, viljelyalojen lisääminen ja typen luonnollisen tuottamisen lisäys viherlannoituskasvustoilla lisäävät maaperän orgaanista ainetta ja vähentävät yksipuolista viljelykiertoa. (Maanvilja ym. 2021) Toimet edistävät maan parempaa rakennetta, kasvukuntoa sekä veden pidätyskykyä, mikä ehkäisee erityisesti ravinnehuuhtoumien syntymistä ilmaston lämmitessä ja sateisuuden lisääntyessä (Heinonsalo ym. 2020, Smith & Olesen 2010, Peltonen-Sainio ym. 2017). Maanparannustoimilla ja kasvipeitteisyydellä voidaan vähentää lannoitteiden käyttöä sekä toisaalta ehkäistä kasvituhojia (maaperän mikrobiston lisääntyminen) ja rikkakasvien leviämistä. Olennaista on edistää tasapainoisia ja kestäviä viljelymenetelmiä, monipuolista kiertoa sekä sellaisten kestävien lajikkeiden käyttöä, jotka sopeutuvat ilmastomuutoksen mukanaan tuomaan vaihteluun paremmin (Palojärvi 2021, Peltonen-Sainio ym. 2017).

Osana lisäpolitiikkatoimia bioenergian määrää kasvatetaan, mikä näkyy maataloudessa biokaasunurmen alan kasvuna (ks. tarkemmat tiedot Maanvilja ym. 2021). Biokaasutuotannon avulla voidaan vähentää keinotekoisien lannoitteiden käyttöä sekä lisätä ravinteiden kierrätystä, mikä vähentää niiden valmistuksesta ja käytöstä syntyvien päästöjen ohella ravinnehuuhtoumia ja eroosiota kun lannan levitykseen tarvittava peltonraivaustarve vähenee (Prochnow ym. 2009). Biokaasulaitoksen tuottaman mädätteen typen lannoitusarvo voi parantua jopa 20 prosenttia verrattuna lietelantaan ja reaktorin mikrobien vapauttama ammoniumtyyppi on nopeammin kasvien käytettävissä (Luke 2020b). Maatalouden tehostumisen myötä biokaasunurmien tuotanto keskittyy Suomen kaltaisissa kehittyneissä maissa ylijäämä- tai käytöstä poistuneille pelloille, jolloin mahdollista kilpailua ruoantuotannon alan kanssa ei synny. Lisäksi biokaasunurmien hoidon intensiteetin säätelyllä voidaan vaikuttaa luonnon monimuotoisuuteen. (Prochnow ym. 2009) WAM-skenaariossa kaavaillun kasvuturvetta korvaavan rahkasammalen kasvatuksen (entisillä energiaturpeen tuotantoaloilla) osalta ympäristövaikutuksissa korostuu korjuun syvyys, joka vaikuttaa korjuualueen toipumisnopeuteen (Näkilä ym. 2015).

WAM-skenaariossa kaavaillusta turve- ja tai maataloustuotannosta poistuvien alueiden vettämisestä eli kuivatetun suon ennallistamisen vaikutusten nopeudesta on tois- taiseksi saatavilla vähän tutkimustietoa (Ojanen ym. 2021). On mahdollista, että ojituk- sen vaikutukset jatkuvat pitkään ja itseksien vettyvät suot jäävät suhteellisen kuiviksi, korprien ja rämeiden kaltaisiksi, jolloin (korprien lisäksi) suoluonnon monimuotoisuuden kannalta arvokkaat mätät ja avoimet suot eivät palaudu ja jäävät erityisesti harvinaisten lajien tai luonnontilaisen tyyppivaihtelun osalta heikommiksi. (Ojanen ym. 2021, Saari- maa ym. 2019, Kareksela ym. 2021) Ennallistamisella voidaan kuitenkin saavuttaa monia soiden tuottamien moninaisten ekosysteemipalvelujen hyötyjä (Kareksela ym. 2021). Heikentyneiden maaekosysteemien ennallistaminen eli palauttaminen luonnon- tilaiseksi WAM-skenaariossa esimerkiksi metsittämällä tai vettämisellä voi edistää hiilen- sidontaa, tulvien säätelyä ja rannikoiden suojelua, parantaa veden laatua, vähentää eroosiota ja tukea kasvien pölytystä. Ennallistamisella voidaan myös luoda uusia työ- paikkoja ja toimeentuloa. (Pörtner ym. 2021) Ennallistaminen ja muut elinympäristöjen tilan parantamiseen pyrkivät keinot, kuten suojelutoimenpiteet, on tärkeää sovittaa yh- teen alueen muun maankäytön kanssa, jolloin voidaan minimoida esimerkiksi paikal- lista elinkeinotoimintaa heikentävät vaikutukset.

WAM-skenaariossa maatalouden maita metsitettäisiin 10 000 ha enemmän kuin pe- russkenaariossa vuosina 2025–2040. Metsitys kohdistuisi viljelystä poistuviin turve- maihin (666 ha/v) ja kivennäismaihin (1200 ha/v), joiden lisäksi ruohikkoalueilta metsi- tettäisiin turvemaita (650 ha/v) ja kivennäismaita (2280 ha/v). Metsityksen toteutuk- seen vaikuttavana ohjauskeinona on metsitystuki, jonka voimassaolosta on sovittu vuosille 2021–2023 (Maanvilja ym. 2021, MMM 2021b). Maatalouden joutomaiden vähäisyyden vuoksi on kuitenkin oletettavaa että kivennäismaiden metsityksellä on kielteisiä vaikutuksia maatalousluonnon monimuotoisuuteen, vaikka turvemaiden met- sitys voi olla perustelua ilmastoystistä ja sillä voidaan saavuttaa metsäluonnon ja ve- sistöjen tilan kannalta myönteisiä vaikutuksia. Vaikutusten hallinnan kannalta on siten tärkeää kohdistaa toimet oikein. Metsitystoimien avulla voidaan parantaa ekosystee- mien tilaa esimerkiksi parantamalla eristyneiden metsäsaarekkeiden välistä kytkeyty- neisyyttä, mutta toimet voivat myös lisätä monimuotoisuuden kannalta vähäarvoista metsäpinta-alaa ja viedä tilaa arvokkailta perinnemaisemilta, ellei niitä onnistuta rajaa- maan pois metsitettävistä alueista. (Peltonen-Sainio ym. 2018, Lehtonen ym. 2021) Peltojen ja turvetuotantoalueiden metsitys voi vähentää vesistöjen ravinne- ja kiintoai- nekuormitusta, ja turvetuotantoalueiden metsityksellä voi olla positiivinen vaikutus maisemaan, monimuotoisuuteen ja alueen virkistyskäyttöön. Turvepelloilla maanpa- rannus ja metsitys lisäävät pintakasvillisuutta biomassan ja lajiston osalta (vaikkakin hitaasti), mikä tukee kasvupaikkojen monimuotoisuutta (Lehtonen ym. 2021). Moni- muotoisuuden kannalta arvokkaiden peltojen ja perinnebiotooppien määrä ja sijainti olisi tärkeää selvittää ja näiden metsittäminen välttää, mikäli laajamittaista metsittä- mistä harkitaan.

3.4.3 Vaikutukset vesistöihin

Vesistöjen kuormituksesta noin puolet aiheutuu maataloudesta ja noin 10 prosenttia metsätaloudesta. Lisäksi haja-asutus, yhdyskunnat, massa- ja paperiteollisuus sekä kalankasvatus, turkistarhaus ja turvetuotanto aiheuttavat rehevöittävän fosforin ja typpien sekä kiintoaineiden kuormitusta vesistöihin. (SYKE 2019) Suomen peltoalasta 74 prosentilla on valtaojien eli peruskuivatusuomien kautta yhteys vesistöihin, joten maataloudesta johtuvan maanmuokkauksen, lannoitteiden käytön ja lannan levityksen aiheuttaman kiintoaine- ja ravinnekuormituksen määrä on keskeinen vesistöjen rehevöitymistä aiheuttava tekijä (Puustinen ym. 2019). Maatalouden vesistövaikutuksiin vaikuttaa uuden CAP-suunnitelman kansallinen toimeenpano, jossa vaikutusten määrittämisen kannalta keskeistä on ympäristönsuojelun ehdollisuus ja ympäristökorvauksen osalta edellytettävät tavoitepinta-alat tai määrät vuoden 2014–2021 politiikkaan verrattuna. CAP-toimenpiteiden kansallisen toimeenpanon ohella vesistökuormitukseen vaikuttavat eniten maatalouden yleinen rakennekehitys – viljelyn alan määrä ja viljelytekniikat. Maatalouden vesistökuormitusta voidaan vähentää supistamalla viljelykäytössä olevaa pinta-alaa tai pienentämällä hehtaariohtaista kuormitusta joko valunnan määrää pienentämällä tai alentamalla valumaveden pitoisuuksia (Puustinen ym. 2019). Erilaisia menetelmiä ovat muun muassa kevennetty muokkaus, talviaikainen kasvipeitteisyys, lannoituksen vähentäminen, suojavyöhykkeet, maan rakenteen parantaminen esimerkiksi rakennekalkin, kipsin tai kuitujen avulla sekä kosteikot ja laskeutusaltaat (ibid).

WAM-skenaariossa turvemaiden raivauksen ja entisten turvetuotantoalueiden maatalouskäyttöön siirtymisen rajoittaminen vähentävät haitallisia ilmasto- ja ympäristövaikutuksia, sillä aktiivinen viljelykäyttö voimistaa turpeen hajoamista ja siitä syntyviä haitallisia ilmasto- ja vesistövaikutuksia (ks. Esim. Soimakallio ym. 2020, Berninger ym. 2019, Regina 2021, Paustian ym. 2000). Käytöstä poistuneiden turvemaiden kohdalla kosteikoksi vettäminen ja metsittäminen WAM-skenaariossa olisivat tehokkaita keinoja ilmastopäästöjen vähentämiseksi (Lehtonen ym. 2021), jonka lisäksi erityisesti soiden ennallistamisella voidaan vaikuttaa myönteisesti luonnon monimuotoisuuteen ja vesistöihin (Kareksela ym. 2021). Metsitys voi vähentää peltojen ja poistuneiden turvetuotantoalueiden vesistöjen ravinne- ja kiintoainekuormitusta, mutta toisaalta heikentää luonnon monimuotoisuutta, jonka vuoksi sitä arvioitava kohdekohtaisesti (Lehtonen ym. 2021, Peltonen-Sainio ym. 2018, Kärkkäinen ym. 2019). CAP-suunnitelmassa huomioidaan maankäytön muutosta estävät toimenpiteet, kuten turvemaiden ja kivennäismaiden suojeleminen, mutta vaikuttavuutta voi heikentää kansallisen toteutuksen vapaaehtoisuus ja pienet tavoitepinta-alat sekä tiedolliset puutteet peltolohkojen maa-lajeista (Regina 2021). Näiden toimenpiteiden onnistumiseen vaikuttaa myös lannanlevitykseen liittyvän raivauksen ehkäiseminen kiertotalouden ratkaisuin.

Alus- ja kerääjäkasvit voivat vähentää typen huuhtoumaa ja lisätä maan orgaanisen typen määrää, mutta erityisesti nurmen uudistamisajankohta vaikuttaa typpihuuhtoumaan siten että syksy- ja talviaikainen kasvipeitteisyys pienentää typpikuormaa. (Luke 2020c) WAM-skenaarioiden ja suunnitteluista CAP -toimenpiteistä talviaikaisen kasvipeitteen lisäys (1400 000 ha), joka muuttuu tulevalla kaudella vain sängellä ja kasvipeitteisellä alalla sovellettavaksi ja toteutuvan alan mukaan korvattavaksi, vähentää merkittävästi typen (1 957 t/v), liukoisen fosforipartikkelien (88 t/v) kuormitusta sekä eroosiota (100 206 t/v), vaikkakin liukoisen fosforin määrä lisääntyy hieman (-0,973 t/v). Vesistöjen ravinnekuormituksen vähentämisen kannalta keskeistä on maatalouden kiertotalouden edistäminen, jossa lannan käsittelyn ja levityksen menetelmien ansiosta ravinteet (typpi- ja fosfori) saadaan paremmin käyttöön (Hyvönen ym. 2020, Luke 2020c). Ravinteiden tasapainoisella käytöllä sekä ravinteita ja orgaanisten aineita kierrättämällä voidaan tehokkaasti vähentää liukoisen fosforin huuhtoumia, sillä eroosiota ehkäisevät ympäristönhoitonurmet eivät useinkaan rajoita liukoisen fosforin kuormitusta, vaan tämä saavutetaan parhaiten lannoituksen säätämällä. Ympäristönhoitonurmien avulla voidaan torjua tehokkaimmin eroosiota ja typen huuhtoumaa, mutta fosforin huuhtoutuminen voi jatkua ennallaan ja jopa lisääntyä leutojen talvien myötä. (Hyvönen ym. 2020, Luke 2020c)

Muita vesien suojeluun vaikuttavia toimia ovat kosteikkojen hoitoon ja investointiin kohdistuvat pinta-alalisäykset, joilla vähennetään edelleen fosfori- ja typpipartikkelien sekä eroosion määriä. Kosteikkojen ylläpito ja kosteikkoviljely voivat olla kuitenkin kannattamattomia ilman riittäviä kannustimia tai tukia (Lehtonen ym. 2021, Berninger ym. 2020). Kustannustehokkaimpia toimia ovat esimerkiksi monivuotiset ympäristönurmet, luonnonhoitopeltonurmet ja peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys (vähintään 80 % kohdentamisalueella), jotka lisäävät sekä maaperän kasvukuntoa että edistävät tärkeitä vesiensuojelun tavoitteita (Hyvönen ym. 2020). Metsityksen vesistövaikutukset ovat paikkasidonnaisia ja voivat kehittyä maaperän rakenteen ja kasvillisuuden myötä myönteisiksi, jos metsitys tapahtuu ns. köyhällä joutomaalla (ks. yllä). WAM-skenaariossa vettäminen eli pohjaveden noston ja sen myötä syntyvän suokasvillisuuden avulla voidaan mahdollistaa turvepellon hiilivaraston säilyttäminen ja jopa kasvaminen (nielu) (Ojanen ym. 2020). Vettämistä on tärkeää arvioida peltokohtaisesti, huomioiden esimerkiksi vesivarojen riittävyys ja mahdollinen peltojen suuri ravinteikkaus, joka voi lisätä huuhtoumariskiä (Ojanen ym. 2020). Merkittäviä riskejä liittyy esimerkiksi karujen soiden ennallistamiseen, jonka lisäksi ojituksen seurauksena syntynyt spatiaalinen vaihtelu vedenpinnassa voi aiheuttaa ravinteiden kuormituksen jatkumisen ojien tukkimisesta huolimatta (Lehtonen ym. 2021). Myös ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat aiheuttaa muutoksia soiden vesitalouden tasapainossa.

Metsätalouden vesistökuormitusta aiheuttavat hakkuiden määrä ja hakkuutavat, käytetty lannoitus ja suoritettavat kunnostusojitukset (Launiainen 2014), ja vaikutusten suuruusluokkaan vaikuttavat maankäytön alueellinen laajuus, toimenpiteiden voimakkuus

sekä valuma-alueen että vastaanottavan vesistön ominaisuudet. (Lepistö 2017, Finér ym. 2020) Erityisesti kokopuun korjuu ja laajamittainen kantojen nosto aiheuttavat merkittävästi suuremmat vesistövaikutukset keveämpiin menetelmiin verrattuna (Lepistö 2017). WAM-skenaariossa metsien käsittely perustuu nykyisiin metsänhoidon suosituksiin ja metsätalouden puunkäytön ohjaamaan hakkuutasoon, lisäksi vesistövaikutuksia voi syntyä tavoitellusta metsien kasvulannoituksen lisäämisestä 150 000 ha/v kangas- ja turvemaille (Maanvilja ym. 2021). WAM-skenaarion mukaan lannoitus painottuisi turvemaille kaudella 2016–2025 ja kangasmaille kausilla 2026–2045 (ibid).

Metsistä ja soilta kulkeutuu ravinteita ja orgaanista hiiltä sekä luonnonhuuhtouman että metsätaloustoimenpiteiden, kuten ojien kunnostuksen, metsän uudistuksen, maan muokkauksen ja lannoituksen seurauksena (Finér ym. 2010) Vesistöjen rehevöitymiseen vaikuttavat erityisesti typpi- ja fosforikuormituksen määrä, jonka lisäksi maan muokkauksesta aiheutuva kiintoaineiden kuormitus aiheuttaa vesistöjen sameutumista, liettymistä ja umpeenkasvua (Finér ym. 2020, Tattari ym. 2015) Hakkuiden ohella lannoitus on keskeinen vesistöjen rehevöitymiseen vaikuttava tekijä, mutta valumavesien typen ja orgaanisen hiilen virtaamien määriin voi osittain vaikuttaa myös muutokset ilman lämpötilassa, hydrologiassa ja happamassa laskeumassa. Vesistöjen kuormituksessa on myös merkittäviä alueellisia eroja siten että luonnonhuuhtouma on suurinta Etelä-Suomessa ja vastaavasti Pohjanmaalla ja Kainuussa ravinnekuormitusta aiheuttaa metsätalouden seurauksena ojitettujen soiden suuri määrä. Tuoreen arvion (Finér ym. 2020) mukaan metsätalouden kuormitus ja luonnonhuuhtoutuma (huomioiden metsistä ja soilta tuleva typen kokonaiskuormitus) on vuosittain 44 600 tonnia ja fosforin 1 760 tonnia, orgaanisen hiilen vuotuinen kuormitus puolestaan 1,8 miljoonaa tonnia. Metsänhoitokäytännöt, kuten hakkuut ja kuivatus, voivat muuttaa typen kiertoa vähentämällä kasvien sitoman ja maaperään kertyvän typen määrää sekä lisäämällä mineraalisaatiota, nitraattien huuhtoutumista ja typen haihduntaa (Lepistö ym. 2006). Metsätalouden aiheuttama typpikuormitus voi jatkua 10–15 vuotta esimerkiksi hakkuun jälkeen (ibid). Metsien monimuotoisuutta edistävillä toimilla, kuten kevyemmällä käsittelyllä, voidaan saavuttaa myönteisiä vaikutuksia myös vesistöjen kannalta.

3.5 Vaikutukset ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen

3.5.1 Yhdyskuntarakenteen muutoksen vaikutukset

Siirtymä vähähiiliseen yhteiskuntaan tarvitsee tuekseen kokonaisvaltaista maankäytön, alueiden asumisen, ja liikenteen, palvelujen ja elinkeinojen (MALPE) tarkastelua

(Mäntysalo ym. 2019). Yhdyskuntarakenne luo edellytyksiä vähähiiliselle asumiselle ja liikkumiselle (Rehunen ym. 2019a), ja toisaalta näitä integroivan alueiden käytön suunnittelun kautta voidaan keskeisesti vaikuttaa kaupunkiseutujen päästökehitykseen. Osa vaikutuksista on suoria, mutta merkittävä osa on epäsuoria vaikutuksia, jotka toteutuvat ihmisten ja yritysten ratkaisujen myötä.

Yhdyskuntarakenteen kannalta haasteellista on eri alueiden epätasainen kehittyminen. Väestön kasvu on keskittynyt suurimmille kaupunkiseuduille, joilla uudisrakentaminen kuluttaa luonnonvaroja ja vie maa-alaa, mikä aiheuttaa päästöjä ja monin paikoin hajauttaa rakennetta. Maaseudulla sekä monilla pienillä ja keskisuurilla kaupunkiseuduilla väestömäärän väheneminen on johtanut rakennuskannan vajaakäyttöön, mutta uudisrakentaminen on tästä huolimatta laajentanut rakennettua aluetta (Rehunen ym. 2019b). Palveluiden keskittymiseen suurempii yksiköihin ja kaupunkikeskukseen on lisännyt päivittäisen liikkumisen tarvetta etenkin maaseudulla ja pienissä yhdyskunnissa (Rehunen ym. 2018). Myös kaupunkialueiden välillä ja sisällä on merkittäviä eroja joukkoliikenteen, palvelujen ja työpaikkojen saavutettavuudessa, mikä aiheuttaa ongelmia autottoman arjen sujuvuudessa monilla alueilla. Kaupunkiseutujen kehitys näyttää myös jatkavan eriytymistään siten, että ydinalueet tiivistyvät ja niiden joukkoliikennepalvelut paranevat ja samaan aikaan reuna-alueiden autoriippuvaisuus lisääntyy (Tiitu ym. 2018).

Yhdyskuntarakenteen tiivistäminen voi tukea kustannustehokkaampaa rakentamista sekä vähäpäästöisempää joukkoliikennettä, mutta liiallinen tiivistäminen voi myös olla ongelmallista kaupunkiseutujen ilmastomuutokseen sopeutumisen kannalta, mikäli se vähentää viheralueita ja lisää läpäisemätöntä pinta-alaa. Kaupunkikeskustojen tiivistäminen voi siten heikentää esimerkiksi hulevesien hallintaa ja voimistaa lämpösaarekeliä, jossa kaupunkikeskustojen lämpötilat ovat yleensä korkeampia kuin ympäröivillä maaseutualueilla. (Sharifi 2020, Tuomenvirta ym. 2018) Näillä tekijöillä on merkittäviä suoria ja epäsuoria vaikutuksia ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen.

Olemassa olevaa infrastruktuuria ja yhdyskuntarakennetta täydentävä rakentaminen vähentää tarvetta uuden infrastruktuurin kehittämiseen ja ylläpitoon, mikä vähentää rakentamisen ja logistiikan ohella maankäytön muutoksesta aiheutuvia päästöjä ja vaikuttaa siten hiilinielujen kehittämiseen (Berg ym. 2020). HIISI-hankkeessa tehtyjen maanpeiteaineistoihin (Corine Land Cover) ja väestötietojärjestelmän rakennustietoihin perustuvien laskelmien mukaan haja-asutusalueella ja taajamien väljästi rakennetuilla reuna-alueilla uusi rakentaminen on vienyt keskimäärin noin kymmenkertaisesti rakentamatonta maa-alaa kerrosneliometriä kohden verrattuna tiiviisiin kaupunkialueisiin. Alueiden suunnittelu toimintoja sekoittaen voi vähentää liikkumisen tarvetta ja energian kulutusta, samoin kun yhdyskuntarakenteen tiivistäminen ja panostaminen kevyen liikenteen väyliin (Vierikko ym. 2021). Yhdyskuntarakenteen tiheys luo perus-

kysynnän liikenteen palveluille, mutta liikenteen palvelujen kehittäminen voi mahdollistaa autosta luopumisen myös alueilla, joilla se ei aiemmin ole ollut mahdollista (Sihvola ym. 2021). Suhtautuminen liikkumispalveluihin vaihtelee kuitenkin paljon ja erilaisten palvelujen taloudellinen kannattavuus tai käyttötehokkuus (keskitäyttö ja ajoneuvotehokkuus) voivat vähentää toimien kustannustehokkuutta ja saavutettuja päästövähennyksiä. (ibid) Yhdyskuntarakenteen kehityksen haasteena on fyysisen rakenteen tiivistymisestä huolimatta tapahtunut toiminnallinen hajautuminen eli esimerkiksi työmatkojen keskipituuden kasvaminen ja autoriippuvuuden lisääntyminen, joka on kuitenkin viime vuosina tasaantunut (Rehunen ym. 2018).

Ilmasto- ja ympäristövaikutuksien muodostumiseen vaikuttavat suuresti alueen ja yhdyskuntarakenteen käyttäjien valinnat, joiden muodostumiseen vaikuttavat monet tekijät henkilökohtaisista arvoista, mieltymyksistä, ajankäytöstä kustannuksiin (Helminen ym. 2021). Liikenteen päästökehityksessä myös ajoneuvokannan ja teknologian muutokset vaikuttavat liikkumiseen tulevaisuudessa. WEM- ja WAM-skenaarioissa on oletettu sähköautojen yleistymisen kasvattavan henkilöautojen liikennesuoritetta johtuen ajokustannusten edullisuudesta. Sähköautoja hankitaan eniten suurilla kaupunkiseuduilla ja niiden kehysalueilla, joilla asukkaiden tulotaso on muuta maata korkeampi. Sähköautojen nopeasti lisääntyvä käyttö voi näillä alueilla jonkin verran lisätä yhdyskuntarakenteen hajautumiskehitystä ja heikentää joukkoliikenteen kilpailukykyä sekä palvelujen saavutettavuutta.

Ilmastovaikutusten arviointi osana yhdyskuntarakenteen suunnittelua (päästölaskenta) ja niiden huomioiminen osana yleis- ja asemakaavan suunnittelua on keskeistä, sillä molemmilla kaavatasoilla luodaan puitteet erilaisille asumisen, liikkumisen ja energiantuotannon ratkaisuille, kuten kaukolämmön ja maalämmön hyödyntämiselle, ja niillä voidaan vaikuttaa pitkäjänteisesti alueellisten ilmastopäästöjen muodostumiseen. Korjausrakentamisen sekä purkamisen ja uudelleen rakentamisen päästöjen tarkasteluun tarvitaan elinkaarista päästötarkastelua sekä alueiden kehittämisen näkökulmaa, jossa punnitaan käyttöperusteisten päästöjen muodostumista (Helminen ym. 2021). Asemakaavoilla ja rakennusluvilla voidaan tarkemmin vaikuttaa lähiympäristön maankäyttöön ja energian kulutukseen, ja uusien alueiden sekä seutukuntien suunnittelussa on tärkeää mahdollistaa erilaiset uudet energiaratkaisut sekä kiertotalouden ratkaisut (Helminen ym. 2021, Vierikko ym. 2021, Berg ym. 2020).

Erilaisten alueidenkäyttötavoitteiden yhteensovittaminen voi osittain edistää ja osittain vaikeuttaa ilmastopäästöjä vähentävää yhdyskuntarakennetta. Esimerkiksi maaseutualueiden asuttavana ja elinvoimaisena säilyttäminen tai perinnemaiseman suojeleminen liittyvät tavoitteet voivat lisätä tarvittavien infrastruktuurihankkeiden kustannuksia sekä hidastaa päästövähennyksiä. Erityisesti haja-asutusalueilla joukkoliikenteen puuttuminen ja pitkät etäisyydet voivat olla merkittävä tekijä päästöjen syntyemiselle,

mutta myös hyvät liikenneyhteydet ja palvelujen kulutus asutuskeskitymissä voivat lisätä vapaa-ajan liikkumista. Lisääntyvä etätö voi vähentää työmatkaliikennettä ja kasvattaa väljempien asumisratkaisujen suosiota, siirtäen painopistettä takaisin pienempiin taajamiin ja kaupunkien ulkopuolelle (Metsäranta ym. 2021). Tämä voi toisaalta vähentää liikenteen päästöjä, mutta myös heikentää joukkoliikenteen palveluja ja kasvattaa henkilöautosuoritteita sekä vapaa-ajan liikkumista (ibid).

3.5.2 Vähähiilisen elämäntavan vaikutukset terveyteen ja hyvinvointiin

3.5.2.1 Aktiivisten ja kestävien kulkutapojen lisääminen

Lihaskivillä tapahtuvan liikkumisen kuten kävelyn ja pyöräilyn osuuksien lisääminen on tärkeässä roolissa liikenteen päästöjen puolittamistavoitteessa ja siirtymässä vähähiiliseen liikenteeseen. Valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen (2016) perusteella kaupunkien välillä on huomattavia eroja kävelyn ja pyöräilyn kulkutapaosuuksissa, ja aktiivisten kulkutapojen suosion taustalla on liikennejärjestelmän pitkäjänteinen kehitystyö. Näitä esimerkkejä seuraten monilla kaupunkiseuduilla on mahdollisuuksia kasvattaa merkittävästi kävelyn ja pyöräilyn kulkutapaosuuksia. (Jääskeläinen 2018) Kävelyn ja pyöräilyn edistäminen tukee multimodaalista liikkumista ja liikenteen kestäväää palvelullistumista (Sihvola ym. 2021). Eriasteisten ja eri liikkumismuodoin suoritettujen matkaketjujen sujuvuus ja saumattomuus ja niihin liittyvä aikataulu- sekä reittitieto (digitaaliset palvelut), liityntäpysäköinti sekä asemanseutujen strateginen kehittäminen ovat keskeisiä keinoja erityisesti suurissa ja keskisuurissa kaupungeissa. Uusien liikennepalvelujen kehittäminen ei kuitenkaan yksistään ole riittävää, vaan päästöjen vähentämiseksi tarvitaan myös henkilöautoilua hillitseviä toimenpiteitä, kuten henkilöautojen pysäköinnin hinnankorotuksia ja pysäköintitilan rajoittamista sekä ruuhkamaksojen käyttöönottoa kaupunkiseutujen liikenteessä. Lisäksi merkityksellistä on esimerkiksi kaupunkitilan kehittäminen aktiivista liikkumista entistä paremmin tukevaksi sekä liikennepalveluihin liittyvien järjestelmien avoimuuden ja yhteen toimivuuden edistäminen siten, että liikkumismuotoihin ja palveluihin liittyvät valinnat ja käytettävyyden tukevat toisiaan ja ovat helposti saatavilla (ibid).

Kävelyllä ja pyöräilyllä on monia todettuja terveyttä ja toimintakykyä sekä hyvinvointia edistäviä vaikutuksia, jotka voivat tuoda myös merkittäviä kansantaloudellisia säästöjä, kun liikunnan puutteesta johtuvat pitkäaikaissairaudet sekä niihin liittyvät sairaanhoidomenot ja kuolemantapaukset vähenevät. Liikkuminen edistää myös yleistä hyvinvointia ja jaksamista, mikä voi vähentää työpoissaoloja ja parantaa siten työn tuottavuutta. (Jääskeläinen 2018) Kevyen liikenteen kulkutapaosuuksia lisäämällä vaikutetaan myös henkilöautoilun määrään, mikä voi vähentää erityisesti kaupunkiseutujen

ruuhkia ja ilmanlaatuun vaikuttavia pienhiukkaspäästöjä sekä edistää liikenneturvallisuutta. Kevyen liikenteen suosiminen on yhteydessä kasvaneeseen aktiivisuuden ja lisääntyneeseen arkiliikunnan osuuteen (Vaismaa 2011), joiden tuomat terveyshyödyt on arvioitu olevan huomattavia sekä koko maan että yksittäisten kaupunkien tasolla (Lehtomäki ym. 2021). Esimerkiksi vuonna 2016 kävelyn ja pyöräilyn arvioitiin säästäneen Suomessa noin 2000 kuolemantapausta ja 31 400 elinvuotta (Lehtomäki ym. 2021). Yleisesti lihasvoimaisen liikkumisen terveysvaikutukset voidaan jakaa säästöihin terveydenhoitokuluissa, työpoissaolojen vähenemiseen sekä yleisen hyvinvoinnin paranemiseen. Lisääntynyt arkiliikunta on myös keino elintasosairauksien ehkäisemiseen. Lisäksi pyöräilyn ja kävelyn lisääminen voi vähentää myös kuolemaan johtavia liikenneonnettomuuksia. Kevyen liikenteen onnettomuusriskiin sen sijaan voidaan vaikuttaa parhaiten sitä tukevalla kaupunkisuunnittelulla sekä lisäämällä sen suhteellista määrää kulkutapaosuuksista. (Vaismaa ym. 2011)

3.5.2.2 Ilmastoystävällinen ruokavalio

Suurin osa ruoan ilmastovaikutuksista syntyy joko maaperästä lannoitteiden käytön seurauksena tai suoraan eläimistä (Luke 2021a). Vähentämällä ruokahävikkiä ja siirtymällä pois yksipuolisesta ruokavaliosta ravintosisällöltään monipuolisempaan kasvipainotteiseen ruokavalioon voidaan tehokkaasti vähentää sekä ruoantuotannon että kulutuksen päästöjä ja saada myönteisiä terveysvaikutuksia (Springmann ym. 2016, Fréсан & Sabaté 2019). Kasvipainotteisen ruokavalion suosiminen todennäköisesti myös lisää kansataloudellisesti arvokkaita, terveitä elinvuosia ja pienentää terveydenhoitokuluja (Schepers & Annemans 2018). Kasvipainotteisen ruokavalion ilmastohyödyt syntyvät sen pienemmästä resurssien, kuten maaperän, veden ja energian käytöstä verrattuna eläinperäiseen tuotantoon (Fréсан & Sabaté 2019, Sabaté & Soret 2014). Muuttamalla ruokavaliota ja huolehtimalla peltojen hiilivarastosta ilmastovaikutusta voidaan vähentää 30–40 prosenttia (Saarinen ym. 2019). Ilmastoystävällinen ja ravitsemussuositusten mukainen ruokavalio mahdollistaa erilaisia yksilöllisiä ruokavaliota, mutta ilmastopäästöjen vähentämiseksi lihan kulutuksen tulisi kuitenkin vähentyä kolmannekseen (ibid).

Ilmastoystävällisen ruokavalion edistäminen tarvitsee tuekseen sekä kuluttajaan kohdistuvaa informaatio- ja taloudellista ohjausta että maataloustukien muutosta hiilensidontaa kannustaviksi ja tuotantokasvien monipuolistamiseksi. Lisäksi toimia tarvitaan kasviperäisen proteiinin tuotannon kannattavuuden lisäämiseksi alkutuotannossa ja elintarviketuotannon arvoketjuissa. Julkisissa ruokapalveluissa ympäristökriteerien huomioiminen ravitsemussuositusten ohessa voi tukea kestävämpien ruokailutottumusten valtavirtaistamista. Hallittu ilmastoystävällinen ruokavaliomuutos vaatii tuekseen koko ruokajärjestelmän strategista ohjausta, yhteisiä tavoitteita ja toimenpiteitä. (Saarinen ym. 2019)

3.5.3 Ilmastotoimien oikeudenmukaisuus ja hyväksyttävyyys

Ilmastotoimien toimeenpanon edellytyksenä on niiden laaja hyväksyntä ja toteuttaminen sosiaalisesti oikeudenmukaisella tavalla. Ilmastotoimien oikeudenmukaisuuden yleisenä lähtökohtana on YK:n ilmastokonvention puitesopimus (1992), jossa maiden vastuut ja velvollisuudet perustuivat niiden historialliseen päästötaakkaan sekä Pariisin sopimus (2015), joka korostaa kehittyneiden maiden roolia edelläkävijöinä koko talouden laajuisten sitovien, päästövähennyksien toteuttamisessa ja kehittyville maille annettavaa tukea niiden omien hillintätavoitteiden kunnianhimon nostamisessa samalle tasolle, kansalliset olosuhteet huomioiden (Honkonen & Kulovesi 2019, FINLEX 76/2016, UN 2015b). Tämä asetelma on pohjana kansallisten ilmastotoimien tekemiselle ja se näkyy myös aiempien kansalaiskyselyiden tuloksissa, joissa korostuu ilmastomuutoksen hillinnän tärkeys sekä Suomen rooli edelläkävijänä. Suomen pitkän aikavälin kokonaispäästökehityksen skenaariotyön tueksi PITKO-hankkeessa vuonna 2018 toteutetun kansalaiskyselyn perusteella kansalaiset näkevät ilmastomuutoksen hillinnän tärkeänä tavoitteena ja enemmistö korostaa Suomen vastuuta päästövähennyksistä riippumatta muiden maiden teoista. PITKO-hankkeen kyselyvastauksissa hyväksyttävimpinä keinoina korostuivat mm. uuden teknologian kehittämiseen ja käyttöönottoon perustuvat ns. mahdollistavat ratkaisut ja vapaaehtoisuuteen perustuvat omien kulutustottumusten muuttaminen, kun taas suorat tuet, kiellot ja muut rajoitukset sekä verotukset olivat vähemmän suosittuja. (Koljonen ym. 2019) On mahdollista, että ns. kovia ohjauskeinoja ja sääntelyä vastustetaan osin siitä syystä, että niiden kohdentuminen ihmisryhmille ja oikeudenmukainen toteutus on epävarmaa.

Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman (KAISU) uudistamista varten toteutetussa kyselyssä (2021, vastaajia 18 000) nousivat esiin toimenpiteet, joilla liikenteestä, asumisesta ja ruokailusta aiheutuvia päästöjä voitaisiin pyrkiä vähentämään, samoin kuin kulutusta ohjaavat ns. pehmeät keinot (Kulha ym. 2021). Selkeämmät pakkausmerkinnät elintarvikkeissa ja kevyen liikenteen sujuvuuden edistäminen koettiin hyväksyttävimmiksi ja vähiten kannatettiin polttoaineiden, sähkön, lämmön ja lämmitysöljyn merkittävää hinnan nousua. Vaikuttavuuden kannalta tehokkaimmiksi keinoiksi koettiin parempi viestintä sekä kestäviin valintoihin kannustava hintaohjaus. Ilmastotoimien kannatuksessa voidaan kyselyn perusteella nähdä hajontaa vastaajien iän ja asuinpaikan perusteella siten, että alle 30-vuotiaat ja kaupungissa tai kaupungin lähellä asuvat suhtautuivat myönteisemmin myös kunnianhimoisempiin toimiin ja vastaavasti ilmastotoimien kannatus oli heikompaa haja-asutusalueilla. (ibid)

KAISU-kyselyn ja ilmastotoimia arvioineen kansalaisraadin (Kulha ym. 2021) tulokset osoittavat, että kysymykset oikeudenmukaisuudesta ja hyväksyttävyydestä ovat vaikeimpia ilmastotoimiin liittyvien verouudistusten kohdalla. Merkittävät verouudistukset,

kiellot ja rajoitukset lisäävät huolta toimien oikeasta kohdentumisesta, niiden oikeudenmukaisuudesta ja hyväksyttävyydestä eri ihmisryhmien kohdalla, sillä eri alueilla ja niillä asuvilla ihmisryhmillä voi olla hyvin erilaiset resurssit sopeutua sääntelyyn ilman riittäviä tukitoimia. Lisäksi varallisuuden epätasainen jakaantuminen ja alueellinen eriarvoisuus, ja sitä osittain kiihdyttävä yhteiskunnan rakennemuutos, voivat hankaloittaa ilmastotoimien toimeenpanoa huolimatta oikeudenmukaisen siirtymän luomista siirtymäajan tuista. (Kulha ym. 2021) WAM-skenaarion toimenpiteiden arvioidaan kohdistuvan kotitalouksien osalta erityisesti asumisen ja liikkumisen palvelujen kulutukseen ja vaikutuksien määräytyvän niiden tuotannon energia- ja päästöintensivisyyden mukaan ja olevan suurempia keski- ja suurituloisissa kotitalouksissa niiden suuremman kulutuksen vuoksi (Honkatukia 2021). Toisaalta kotitalouksille kohdistuvien kustannusten vaikutus ihmisten hyvinvointiin voi olla huomattavasti merkittävämpää vähemmän kuluttaville pienituloisille kuin enemmän kuluttaville suurituloisille. Lisäksi erilainen aluerakenne ja liikkumistarpeet sekä esimerkiksi julkisen liikenteen palvelujen puuttuminen voivat voimistaa haitallisia hyvinvointivaikutuksia erityisesti pienituloisissa kotitalouksissa.

Euroopan unionin ilmastoneutraaliuustavoitteen (2050) myötä luotu oikeudenmukaisen siirtymän (Just Transition) mekanismi ja rahasto (EC, COM/2020/22 final) ovat yksi keino lieventää erityisesti haavoittuviin alueisiin ja sektoreihin kohdistuvia ilmastotoimien vaikutuksia ja mahdollistaa sosiaalisesti oikeudenmukainen siirtymä, jossa periaate “ketään ei jätetä” toteutuu. (EC 2021b) Rahaston kautta haettavia tukia on ehdotettu Suomessa esim. turvetuotannon hallitun ja reilun siirtymän toteuttamiseksi, jolloin rahoja voitaisiin käyttää maa-alueiden ennallistamiseen ja alan työntekijöiden uudelleen koulutukseen. Euroopan vihreän kehityksen ohjelman (Green Deal) mukaan siirtymän sosiaalisella oikeudenmukaisuudella (COM/2019/640 final) tavoitellaan ilmasto- ja ympäristöpolitiikan johdonmukaisuutta, investointeja kohtuuhintaisiin ratkaisuihin ja energiaköyhyyteen puuttumista. Tämä periaate on yhdenmukainen myös Marinin hallitusohjelman “päästövähennystoimet toteutetaan sosiaalisesti ja alueellisesti oikeudenmukaisesti ja niin, että kaikki yhteiskunnan osa-alueet ovat mukana” kanssa ja reilun siirtymän periaatteen sisällyttämistä on ehdotettu myös osaksi uudistettavaa ilmastolakia (Hildén ym. 2021a).

Ilmastopolitiikan vastustaminen liittyy tyypillisesti huoleen työpaikan, toimeentulon tai merkityksellisen elämäntavan menetyksestä ja uusista toimintatavoista, joiden koetaan rajoittavaan yksilön vapautta tai maailmankuvaa (Hakala ym. 2021). Ilmastopolitiikan käynnistämisen talouden rakennemuutoksen arvioidaan vaikuttavan alue-eroihin, ja lisäävän alkutuotannon, jalostuksen ja rakentamiseen liittyviä teollisuuden toimialojen työpaikkoja (Honkatukia 2021). Sen sijaan pääasiassa kasvukeskuksiin keskittyvän palvelujen kysynnän ja työllisyyden heikentyminen voi lisätä tuloeroja kasvattavien vaikutuksia palvelualueiden keskimääräistä pienemmän ansiotason vuoksi (ibid). Näiden

ilmastotoimien vaikutukset voivat kohdistua eri tavoin sukupuolten ja ikäluokkien välillä, jolloin ne voivat vaikuttaa tasa-arvoon ja osallisuuteen sitä heikentävästi, mikä voi vuorostaan vaikuttaa toimien ja suunnitelmien yleiseen hyväksyttävyyteen ja tehokkuuteen (Paavola ym. 2021).

Kokemukset eriarvoisuudesta voivat johtaa ilmastotoimien kohdalla poliittiseen polarisoitumiseen (Fornaro 2021, Hakala 2021) ja arvojen koventumiseen, jos osa ihmisistä kokee jäävänsä sivuun tai myönteisen kehityksen ulkopuolelle ja pelkää ilmastotoimien johtavan heidän kannaltaan heikompaan sosioekonomiseen asemaan. Lisäksi kasvanut kahtiajako kunnianhimoisen ilmastopolitiikan kannattajien ja vastustajien välillä voi heikentää ilmastopolitiikan legitimitettä ja ilmastotoimien tehokkuutta oleellisesti (Hakala ym. 2021). Sosiaalisen oikeudenmukaisuuden toteutumiseksi kansalaiskeskustelun edistäminen ja ilmastotoimien läpinäkyvyys, riittävän ja luotettavan tiedon edistäminen julkisessa keskustelussa ovat tärkeitä edellytyksiä, jotta ihmisten elämään ja elinkeinoihin vaikuttavia isoja muutoksia voidaan motivoida, perustella ja oikeuttaa (Lyytimäki 2020). Keskittyminen yksittäisten tekojen reiluuteen on toisaalta johtanut siihen, että keskustelussa ilmastopolitiikan oikeudenmukaisuudesta on vähemmälle huomiolle jäänyt ylisukupolvisen oikeudenmukaisuuden -käsite (YM 2021f), joka viittaa keskeiseen kestäväen kehityksen tavoitteeseen varmistaa hyvän elämän edellytykset myös tuleville sukupolville.

Hyväksyttävyyden kannalta on tärkeää, että ilmastotoimien talousvaikutuksista ja päästövähennysten taloudellisista ohjauskeinoista viestitään vahvasti ja selkeästi, jotta sekä kuluttajat että yritykset voivat ajoissa sopeuttaa toimintaansa sekä hakea tarvittavia tukia tai vähennyksiä (Kulha ym. 2021). Oikeudenmukaisen siirtymän viestiminen ja ajatusvinoutumien korjaaminen julkisessa keskustelussa on tärkeää, mutta muutoksen tekemisessä, hyväksymisessä ja siihen sopeutumisessa on huolehdittava kansalaisten osallistamisesta ja riittävästä kuulemisesta. Paikallisten ratkaisujen löytäminen ja alueiden tukeminen ilmastotyössä voi tuoda päästövähennyksille suurempaa tukea ja hyväksyttävyyttä. Lisäksi kunnat voivat tätä kautta saada positiivisia kokemuksia ja rahoitusta esim. uusiutuvan energian hankkeisiin ja kokeiluihin, joilla on myös aluetaloudellista merkitystä (Karhinen ym. 2021).

Kokonaisväestötasolla ilmastotoimista aiheutuneet kulutustapojen muutokset ovat toistaiseksi olleet melko pieniä, joskin yksilötasolla jotkut kansalaiset ovat tehneet merkittäviäkin elämäntapamuutoksia (Koljonen ym. 2019). Energiamurroksen ja kiertotalouden edetessä elintapojen ja kulutustottumusten muutostarve todennäköisesti korostuu, jos esimerkiksi jakamistalouden toimia viedään vahvemmin käytäntöön. Esimerkiksi vähäpäästöisen liikenteen osalta käydyssä julkisessa keskustelussa on jo nähtävissä kuinka erilaisten keinojen toimeenpano, kuten henkilöautosuoritteiden vähentäminen (esim. ruuhkamaksuin) suhteessa joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen

osuuksien kasvattamiseen voi herättää vastustusta johtuen alueiden erilaisista liikkumistarpeista ja mahdollisuuksista esimerkiksi taloudellisesti kannattavalle joukkoliikenteelle. Lisäksi huolta saattavat herättää mahdolliset vaikutukset kaupunkien elinvoimaisuuteen ja ihmisten välttämättömän työmatkaliikenteen kallistuminen. Tämä voi johtaa joidenkin ihmisryhmien kohdalla myös liikenneköyhyyteen, jolloin henkilön mahdollisuudet tyydyttää päivittäinen liikkumistarpeensa kohtuullisessa ajassa, kohtuullisella vaivalla ja kohtuullisilla kustannuksilla eivät toteudu tai ovat heikentyneet (Tiikkaja ym. 2019). Myös sähköistyminen ja vähäpäästöisyyden taloudelliset ohjauskeinot, jotka voivat aiheuttaa energian ja polttoaineiden hinnan nousua sekä muita verotuksen muutoksia, saattavat johtaa tuloerojen korostumiseen ja sosiaaliseen ja alueelliseen eriarvoistumiseen sekä aiheuttaa energiaköyhyyttä. Lisäksi monet toimet edellyttävät joustavuutta opetella uusia toimintatapoja sekä teknologioiden ja digitaalisten käyttöalustojen hyödyntämistä (esim. sähköautojen lataus ja käyttö), mikä voi asettaa esim. vanhemmat ikäluokat eriarvoiseen asemaan. Energiaoikeudenmukaisuuden ja -demokratian toteutumista tulisi tarkastella laajemmin sähköistymisen vaikutuksia, erityisesti sosiaalista oikeudenmukaisuutta, arvioidessa (Lund ym. 2021).

Kiertotalous on keskeisessä asemassa siirtymässä vähähiiliseen ja kestävämpään yhteiskuntaan. Kiertotalouden yhtenä pullonkaulana voidaan pitää siihen liittyviä, osittain kielteisiä mielikuvia, jotka voivat hankaloittaa kiertotalouden toimenpiteiden hyväksyttävyyttä ja toimeenpanoa. Kiertotalous ymmärretään toimintana usein sanamukaisesti ”kierrättämisenä”, jolloin siihen liittyvät mielikuvat kertovat käytetyn ja kuluneen tai laadultaan uutta heikomman tavaran tai materiaalin käytöstä, usein pakon edessä esim. varallisuussyistä (YM 2020b). Tämä voi liittyä myös näkemykseen kiertotalouden oikeudenmukaisuudesta, eli toisaalta jakoon kiertotalouden toimien tai käytäntöjen toteuttajista (kuluttajat/kansalaiset) ja niistä päättävistä, mutta ei välttämättä itse samoja käytäntöjä soveltavista, eliitistä. Hyväksyttävyyden ja mielekkyyden lisäämiseksi tarvitaan siten todennäköisesti sekä kiertotalouden mielikuvien että kulutuskulttuurin ainakin osittaista muutosta, jossa kestävyys ja arvonnisääminen tavaran tai materiaalin elinkaarta pidentämällä nähdään tavoiteltavina arvoina. Lisäksi kiertotaloutta voidaan edistää ohjaamalla kulutusta aineettomiin palveluihin ja hyödykkeisiin, jotka ovat luonteva osa kestävästä elämäntapaa. (YM 2020b).

Kiertotalouden, kuten useiden muidenkin kestävyysmurroksen kuluttajia koskevien valintojen ja mieltymyksien kohdalla kyse on usein ihmisten motivoimisesta toimimaan siten, että toiminta tapahtuu syyllistämisen tai ehdottomuuden kokemuksen sijasta halusta tehdä asioita paremmin ja merkityksellisemmin paremman tulevaisuuden vuoksi. Keskeistä on myös valintojen helppous ja kilpailukykyinen hinta sekä luottamus ja ymmärrys siitä, että valinnoillaan voi vaikuttaa esim. oman hiilijalanjäljen kokoon. Myönteisillä narratiiveilla voidaan vaikuttaa monen asian kokemusravoon varsinkin, kun muutosta ei tarvitse tehdä kerralla vaan asteittain. Kiertotalouden narratiiveissa voidaan korostaa esimerkiksi vahvempaa yhteisöllisyyden ja vanhempien sukupolvien

kiertotaloustaitojen siirtämistä nuoremmille sukupolville, jolloin kiertotalouden mukainen kestävä elämäntapa voidaan myös nähdä jatkumona. (YM 2020b)

3.5.4 Vaikutukset Suomen rajojen ulkopuolella

Ilmastonmuutoksen hillinnän ja sopeutumisen taakat jakautuvat osittain epätasa-arvoisesti johtuen sekä maantieteellisistä että sosio-ekonomisista eroista. Vähähiilinen siirtymä tuo mukanaan merkittäviä muutoksia energiamarkkinoihin, investointivirtoihin, rakentamiseen ja voimalaitoksiin, mikä tarkoittaa vastaavasti muutoksia sekä materiaalien ja resurssien käytössä että maankäytössä (Sovacool 2021). Näiden muutosten on todettu lisäävän haitallisia sivuvaikutuksia, jotka kohdistuvat tyypillisesti marginaalisten ja haavoittuvien yhteisöjen hyvinvointiin, oikeuksiin ja elinkeinojen harjoittamiseen (Sovacool 2021). Osaltaan paineita päästöjen ulkoistamiselle valtion rajojen ulkopuolelle luo myös kansallisiin tai alueellisiin päästöihin perustuva kasviuonekaasujen laskenta ja raportointi ilmastositoumuksille.

Liikenteen sekä energiasektorin globaalin sähköistymisen ennakoitavan aiheuttavan raaka-ainepulaa (IEA 2021). Esimerkiksi sähköautojen kriittisten raaka-aineiden hankintaan liittyvällä kaivostoiminnalla on todettu olevan haitallisia ympäristö- ja ihmisoikeusvaikutuksia hauraissa valtioissa (ks. esim. Church & Crawford 2020, Köllner 2018). Kaivostoiminta lisää isäntämaiden haavoittuvuutta erityisesti, mikäli haitallisilta sosiaalisilta ja ympäristövaikutuksilta suojaavia rakenteita ei ole olemassa (Lébre ym. 2020). Tämä voi osittain lisätä jännitteitä ja epävakautta isäntämaissa ja vaikeuttaa raaka-aineiden saantia. Globaalisti mineraalien louhinta jakautuu epätasaisesti ja haitalliset vaikutukset kohdistuvat erityisesti valtioihin ja alueisiin, joissa heikko hallinto on usein kykenemätön suojaus toimiin ja/tai taloudellisesti riippuvainen kaivostoimintaan liittyvistä tuloista (Lébre ym. 2020). Mineraalien louhinta voi siten johtaa ympäristön tilan heikkenemiseen, väestön siirtymiseen, väkivaltaisiin konflikteihin ja ihmisoikeusloukkauksiin (ibid).

Ulkomailta hankittavien raaka-aineiden osalta hankintaketjujen vastuullisuus on tärkeä tekijä haitallisten sosiaalisten vaikutusten estämiseksi (esimerkiksi Kongon ihmisoikeuskysymykset ja uiguurien kohtelu). Siihen pyritään vaikuttamaan muun muassa erilaisin vapaaehtoisin standardein ja ohjein (mm. ISO 26000 (ISO 2010), YK:n Global compact (2000) yhteisvastuualoite (UN 2021) sekä OECD:n (2011) ja ILO:n (2017) laatimat ohjeet monikansallisille yrityksille).

4 Päästötavoitteiden saavuttamiseen liittyvät epävarmuudet

Skenaariot ovat arvioita mahdollisesta tulevasta kehityksestä. Ne eivät ole ennusteita. Ilmasto- ja energiapolitiikan WEM-skenaario pyrkii kuvaamaan sitä oletettua kehitystä, mitä tapahtuisi ilman uusia ilmastopoliittisia toimia. Vuoden 2019 loppuun mennessä päätettyjen ilmastopoliittisten toimien lisäksi siihen on kiinnitetty joukko makroekonomisia oletuksia, esimerkiksi väestön, teollisuuden tuotantovolyymien ja -rakenteen, yhdyskuntarakenteen, energian, ruoan ja muiden hyödykkeiden kulutuksen ja näihin liittyvien teknologioiden kehityksestä. WAM-skenaario sisältää vastaavat makroekonomiset oletukset, mutta myös uusia päästötavoitteita ja ilmastopoliittisia toimia. Selvää on, että skenaariot sisältävät epävarmuuksia, sillä mikä tahansa yksittäisiin toimiin ja niiden oletettuihin vaikutuksiin liittyvistä oletuksista voi todellisuudessa toteutua toisin. Tässä luvussa käydään läpi WEM- ja WAM- skenaarioiden toteutumiseen liittyviä keskeisiksi tunnistettuja epävarmuuksia.

Esimerkkejä keskeisistä riskeistä, joiden seurauksena skenaarioissa käyttöönotettavien teknologioiden määrät voivat jäädä oletettua alhaisemmiksi ja/tai päästöt tavoiteltua suuremmiksi, ovat:

- Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi ns. CCS-tekniikan taloudellinen kannattavuus;
- Bioenergiaan kytketty hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (BECCS) ei tuota bioenergian tuottajamaalle negatiivisia päästöjä kansainvälisten sääntöjen puuttuessa tai kohdentaessa negatiiviset päästöt hiilidioksidin loppusijoittavalle maalle;
- Bioenergia ei säily energiasektorilla nollapäästöisenä tai sen saataavuus/hyväksyttävyyys heikkenee oleellisesti – biomassat on kenties tulevaisuudessa ohjattavat tarkemmin pidempään materiaalikiertoon energiakäytön sijasta (tai energiakäyttö on viimeisenä vaihtoehtona muun hyödyntämisen jälkeen);
- Ydinvoiman hyväksyttävyyden ja käyttö heikkenee oleellisesti;
- Aurinko- ja tuulivoimatekniikat, liikenteen sähköistyminen ja energian varastointi eivät kaupallistu riittävästi (esim. raaka-aineiden ja teknologioiden hintakehityksen vuoksi);
- Metsien hakkuut kehittyvät oletettua suuremmiksi ja siten hiilinielut jäävät arvioitua pienemmiksi;
- Väestö, talous ja yhdyskuntarakenteet kehittyvät oletettua päästöintensivisemmiksi;

- Arvot, asenteet ja ihmisten käyttäytyminen eivät tue päästöjen vähentämistä ja siihen tarvittavaa muutosta riittävästi;
- Päästöjä vähentävät ohjaukset eivät realisoitu oletetun muutoksen toteuttamiseksi;
- Useiden merkittävien riskien realisoituminen samanaikaisesti;
- Ilmastonmuutoksen kerrannais- ja yhteisvaikutusten voimistuminen johtaa toimintaympäristön osittain hallitsemattomaan muutokseen, joka voi heijastua kansainväliseen turvallisuuteen ja taloudelliseen vakauteen, sekä luonnon ekosysteemien tasapainoon vaikeuttaen siten päästövähennyksien toteuttamista.

Yksi merkittävä epävarmuustekijä molemmissa skenaarioissa hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi vuoteen 2035 mennessä on päästövähennyksien ohella metsien hiilinielujen kehittyminen, joilla on merkittävä rooli jäljelle jäävien päästöjen kattamisessa. Metsien nielujen kokoon vaikuttaa erityisesti puuston kasvun ja hakkuiden määrä sekä maaperän hiilivaraston käyttäytyminen. Puumarkkinoihin ja ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyvät epävarmuudet vaikuttavat metsien hiilinielun kehittymiseen.

4.1 WEM-skenaarion taustaoletusten toteutumiseen liittyvät epävarmuudet

Mallinnuksessa WEM-skenaario on pohjana WAM-skenaarion laadinnalle, jolloin oletuksista poikkeavat muutokset esimerkiksi energiasektorin, toimialojen, teknologioiden sekä päästöjen ja kansantalouden kehityksessä aiheuttavat epävarmuuksia myös WAM-skenaarioon. WEM-skenaarion oletuksien toteutuminen määrittelee sen, kuinka suureksi WAM-skenaariossa tavoiteltuun päästömäärään pääsemiseksi tarvittava päästöjen vähennystarve muodostuu.

Merkittäviä päästöihin vaikuttavia kansantaloudellisia taustaoletuksia ovat muutokset väestökehityksessä, työllisyydessä ja talouden rakenteessa. Talouden kehitykseen ja kasvuun sekä kulutuskäyttäytymiseen liittyvät epävarmuudet ovat osittain lisääntyneet COVID-19 -pandemian myötä. Pandemian pitkän aikavälin vaikutukset päästöihin ovat epävarmat ja kytkeytyvät sen aiheuttamiin pysyviin ja/tai osittaisiin muutoksiin energian ja muiden hyödykkeiden ja palvelujen kulutuksessa. COVID-19 -pandemia saattaa vähentää työ- ja vapaa-ajan matkustamista myös pidemmällä aikavälillä. Toisaalta ihmisten halukkuus siirtyä yksityisautoilusta joukkoliikenteeseen saattaa myös vähentyä. Nämä ovat esimerkkejä siitä, että osa WEM-skenaarion makroekonomisista oletuksista saattaa yliarvioida ja osa aliarvioida päästöjen kehittymisen.

Energian tuotantomuotoihin ja fossiilisten polttoaineiden korvautumiseen vaikuttaa oleellisesti energian kysynnän sekä polttoaineiden ja energiantuotantoteknologioiden hintojen ja niihin liittyvien ohjauskeinojen sekä muun sääntelyn kehitys. Näin ollen fossiilisten polttoaineiden käytön korvautuminen voi todellisuudessa olla WEM-skenaariossa oletettua hitaampaa tai nopeampaa. Mikäli viime vuosien aikana voimakkaasti lisääntyneiden tuuli- ja aurinkoenergian tuotantohintojen aleneminen jatkuu (IEA 2017; 2020, IRENA 2021), saattaa niiden hyödyntäminen muodostua WEM-skenaariossa oletettua suuremmaksi ilman uusia politiikkatoimia. EU:n päästökaupan päästöoikeuden hinnan kehitys on yksi keskeisimmistä päästöintensivisyydeltään erilaisten energiantuotantoteknologioiden keskinäiseen kilpailukykyyn vaikuttavista tekijöistä. Vähäpäästöisten teknologioiden nopeampaa käyttöönottoa ja fossiilisten polttoaineiden käytön korvautumista tukisi oletettua korkeampi päästöoikeuden hinta. WEM-skenaariossa oletettujen päästövähennysten saavuttamisen kannalta ratkaisevaa on vähäpäästöisen sähköntuotannon kapasiteetin kasvu. Tuulivoiman käytön on oletettu kolminkertaistuvan vuoteen 2035 mennessä vuodesta 2020. Myös uutta ydinvoimaa tulee käyttöön merkittävästi, Teollisuuden Voiman Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikön (oletetaan käynnistyvän vuonna 2022) ja Fennovoiman Hanhikivi 1 -hankkeen (tuotannon oletetaan käynnistyvän vuonna 2032) myötä. Hanhikivi 1 -hankkeella ei ole vielä rakennuslupapäätöstä (Fennovoima 2021), mikä lisää merkittävästi WEM-skenaariion toteutumisen epävarmuutta, sillä hanke vastaa arviolta noin 10 prosenttia Suomen sähkön hankinnasta (Lehtilä ym. 2021a).

4.2 Päästökauppajärjestelmään, biomassan käyttöön, energiantuotantoon, teollisuuden prosesseihin ja työkoneisiin liittyvät epävarmuudet

4.2.1 Päästökauppajärjestelmän ja päästöoikeuksien hinnan kehitys

WEM- ja WAM-skenaariot perustuvat oletukseen päästökauppasektorin päästöoikeuden hintakehityksestä, joka vaikuttaa erityisesti energian tuotannon päästövähennysten toteuttamiseen. Vuoden 2021 aikana päästöoikeuden hinta on noussut merkittävästi WEM-skenaariossa oletettua korkeammaksi (Kuva 6). Hinta oli noin 33–35 €/tCO₂ tammikuussa ja nousi jo yli 50 €/tCO₂ toukokuussa sekä yli 60 €/tCO₂ syyskuussa (esim. 56,35 €/tCO₂/17.5.2021 ja 62,31 €/tCO₂/6.9.2021) (Ember 2021). Pääs-

töoikeuksien tulevaan hintaan vaikuttaa muun muassa ilmastotavoitteiden kiristäminen ja päästökaupan uudistus, mistä EU-komissio antoi esityksen heinäkuussa 2021 (YM 2021b). Niiden seurauksena päästöoikeuden hinnan oletetaan nousevan edelleen ja päästökaupan soveltamista harkitaan laajennettavan tulevaisuudessa (EC 2021a, Euractiv 2021).

Kuva 6. EU:n päästökauppaoikeuksien hintakehitys viime vuosina (data ICAP 2021).



Päästöoikeuden hinnan nousu vauhdittaa energiantuotannon irtautumista fossiilisista polttoaineista ja turpeesta parantamalla vähäpäästöiseen energiantuotantoon tehtävien investointien kannattavuutta ja uusien teknologioiden kaupallistumista. Toisaalta päästöoikeuden nopea hinnan nousu voi heikentää teollisuuden kilpailukykyä ja lisätä energiankulutuksen hintaa, millä voi olla erilaisia ja -suuntaisia vaikutuksia kulutukseen ja kansantalouteen.

4.2.2 Biomassan käyttö

Turpeen ja kivihiilen korvautumisen sähkön ja lämmön tuotannossa sekä biojalostamoinvestointien arvioidaan kasvattavan bioenergian ja -polttoaineiden kysyntää Suomessa. Kysyntä tulee kohdistumaan sekä kotimaisiin että ulkomaisiin biomassaraaka-aineisiin, erityisesti puuhun. Biomassan saatavuus sähkön ja lämmön sekä polttoaineiden tuotantoon voi muodostua oletettua rajoitetummaksi johtuen esimerkiksi EU:n kestävyyskriteerien asettamista rajoitteista tukikelpoisuudelle, raaka-aineiden kiristyk-

västä kilpailu kansainvälisillä ja kotimaisilla markkinoilla sekä pyrkimyksistä luontokadon pysäyttämiseksi. Mikäli biomassan saatavuus sähkön ja lämmön sekä polttoaineiden tuotantoon jää oletettua alhaisemmaksi, aiheuttaa se riskin WAM-skenaarion toteutumiseen tältä osin. Toisaalta biomassan vähäisempi hyödyntäminen voi johtaa suurempaan metsien hiilinieluun, mikä osaltaan edesauttaa ilmastotavoitteiden saavuttamista.

Osa kysynnän kasvusta tulee kohdistumaan tuontipuuhun (Afry 2021, Koljonen ym. 2017). Myös muut suunnitellut biotalousinvestoinnit kasvattavat todennäköisesti tuontipuun tarvetta. Tuontipuun saatavuuteen liittyy erilaisia epävarmuuksia.

4.2.3 Energian tuotanto ja uusiutuva energia

Uusien teknologioiden kehittymiseen ja kaupallistumisen nopeuteen liittyy riskejä, jotka voivat vaikuttaa päästövähennysten toteutumiseen tavoitellussa aikataulussa. Keskeisiä epävarmuuksia liittyy esimerkiksi hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin (CSS), negatiivisia päästöjä tuottaviin hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin (esim. BECCS, DACCS) ja hiilidioksidin hyötykäyttöön liittyvään P2X-tekнологiaan. Ydinvoiman osalta merkittäviä riskejä ovat nykyisten hankkeiden viivästyminen, uusien ja korvaavien voimaloiden kehittämisen hitaus sekä ydinvoiman vastustuksen lisääntyminen. Modulaarisen ydinteknologian poissulkeminen energiapaletista voisi tuoda haasteita kaupunkien kaukolämmön vähäpäästöiselle tuotannolle sekä teollisuuden sähkönsaantiin (peruskuorman ylläpito). Energian tuotannon ja päästöjen osalta fossiilisten tuontipolttoaineiden hintojen nousu tai lasku ja muutokset teollisuuden tuotantovoilyymeissa voivat vaikuttaa päästöihin riippuen kotimaisen ja pohjoismaisen uusiutuvan tuotannon tarjonnasta. Sähköistymisen vaikutusten arvioinnissa on huomioitava nykyistä tarkemmin ja moniulotteisemmin turvallisuuteen ja sosiaaliseen oikeudenmukaisuuteen liittyviä tekijöitä esimerkiksi huolto- ja toimitusvarmuuden sekä materiaali-riippuvuuksien riskien vähentämiseksi (Lund ym. 2021).

Tuulivoiman nopea kasvu voi vähentää energian tuotannon päästöjä ennakoitua nopeammassa aikataulussa (vrt. WEM-skenaario). Vuoden 2020 sähkönkulutuksesta katettiin jo noin 10 prosenttia tuulivoimalla ja uutta tuulivoimakapasiteettiä rakennettiin yli 300 megawattia, jolloin kokonaistuotanto kasvoi edellisvuoteen verrattuna noin kolmanneksella (Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2021). Vuonna 2021 tuulivoimakapasiteettiä odotetaan valmistuvan n. 1 000 megawattia. (ibid) Myös verkkoon kytketyn aurinkoenergian kasvu jatkuu, mutta potentiaalinen markkinaehtoinen lisäys pysyy marginaalisena sähkön kokonaistuotannosta WEM-skenaariossa. Tuulivoiman ja aurinkoenergian kasvu sekä varastointikapasiteetin riittävyys voivat aiheuttaa merkittäviä-

kin tuotantotehon vaihteluja, jolloin tarvittava varavoima ja säätökapasiteetti huipputehon kuorman tasaamiseksi voi osittain lisätä metsähakkeen tai muiden puupohjaisten polttoaineiden käyttöä fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä.

4.2.4 Teollisuuden prosessit ja työkoneet

Teollisuuden sähköistäminen sisältää monia erilaisia ratkaisuja kuten polttoaineen, lämmitysmuodon (lämpöpumput sekä lämmön tuonti prosessiin esim. vastuksella, induktiolla, infrapunalla tai mikroaalloilla) tai yksikköprosessin muuttamisen sähköllä toimivaksi. Myös hybridiratkaisuja kehitellään. Soveltamistapoja ja tekniikoita on monia, ja optimaalisen ratkaisun valintaan vaikuttavat monet eri tekijät ja riittävä tekninen tietotaito on välttämätöntä eri vaihtoehtojen vertailussa, etenkin suuren mittaluokan kohteissa (Lund ym. 2021).

Työkoneiden päästövähennyksiä ohjaavat biosekoitevelvoite ja valmisteverojen asteittaisen korotuksen kautta edistyvä kaluston uusiminen energiatehokkaampiin ja vähäpäästöisempiin laitteisiin. Työkoneiden laajamittaista sähköistämistä voivat hidastaa akkujen suorituskapasiteetin riittämättömyys sekä latausinfrastruktuurin puute (ks. Markkanen & Lauhkonen 2021), jotka vaikuttavat myös kustannuksiin. Investointien pitkän elinkaaren vuoksi keskeisen riskin muodostavat toimintaympäristön vaikeahko ennustettavuus sekä tukien ja muiden taloudellisten kannusteiden saatavuus, jotka vaikuttavat yritysten investointihalukkuuteen ja -mahdollisuuksiin.

Teknolohiateollisuuden vähähiilitiekartassa arvioidaan tuotannon volyymin kasvavan noin 0,5 prosenttia vuosittain ja kohdistuvan WEM-skenaarion oletusten mukaisesti erityisesti ruostumattoman teräksen valmistukseen. Teknolohiateollisuuden vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 6 Mt CO₂-ekv., johon sisältyvät sekä tuotantolaitosten suorat päästöt että niiden käyttämän energian tuotannon päästöt. Teollisuuden vähähiilitiekarttojen mukaan päästövähennyspotentiaalia olisi yli 10 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä. (Teknolohiateollisuus 2020) Päästövähennysten toteutuminen vaatii kuitenkin useiden reunaehtojen, kuten esimerkiksi mahdollistavan ja vakaan toimintaympäristön, osajien saatavuuden ja investointien sekä TKI-panostusten, toteutumista (Paloneva & Takamäki 2020). Teknolohiateollisuuden päästöistä valtaosa syntyy metallinjalostuksesta. Suurin päästövähennyspotentiaali liittyy siten SSAB:n kehittämään vetypelkistykseen, joka muuttaisi teräksen valmistuksen fossiilitomaksi 2030-luvulla ja vähentäisi Suomen päästöjä 7 prosenttia, mikä helpottaisi hiili-neutraaliustavoitteen saavuttamista merkittävästi (SSAB 2020). SSAB:n ratkaisun toteutuminen Raahen tehtaalla edellyttää päästöttömän sähkön huomattavaa lisätuotantoa (ratkaisun myötä sähkön tarve kasvaisi jopa 10 TWh:iin vuodessa [Uusiouutiset

2019]), samalla kun teollisuuden (vähähiilisen) sähköntarpeen arvioidaan kokonaisuudessaan kasvavan nykyisestä 30 TWh:sta 50 TWh:iin vuodessa vuoteen 2035 mennessä ja edelleen lähes 70 TWh vuositasolle vuoteen 2050 mennessä¹⁰. (Teknologia-teollisuus 2020) Mikäli vetypelkistys ei syystä tai toisesta toteudu WAM-skenaariossa oletetulla tavalla, vaikuttaa se terästeollisuuden päästöjen kehitykseen oleellisesti.

4.3 Liikenteen sähköistymiseen ja biopolttoaineiden osuuden kehittymiseen liittyvät epävarmuudet

Liikenteen päästöjen puolittaminen ja WEM-skenaariossa arvioitu 46 prosenttiin päästövähennys vuoteen 2030 mennessä (vuoteen 2005 verrattuna) perustuvat voimakkaasti liikenteen sähköistymiseen sekä biopolttoaineiden sekoitevelvoitteen kautta saavutettaviin päästövähennyksiin, erityisesti raskaan liikenteen ajosuoritteissa. Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivien henkilöautojen osuus kaikista ensirekisteröinneistä on Suomessa kasvanut voimakkaasti viime vuosina, ollen noin 20 prosenttia vuonna 2020 ja 29 prosenttia tammi-elokuussa 2021 (Traficom 2021a). Täyssähköautojen ja ladattavien hybridien yhteenlaskettu osuus kaikista rekisterissä olevista henkilöautoista oli kesäkuun 2021 lopussa kuitenkin vain 2,7 prosenttia, joista täyssähköisiä henkilöautoja oli 14 682 ja ladattavia hybridejä 62 786 (Traficom 2021b).

Autokannan uusiutuminen vähäpäästöisemmäksi perustuu käytännössä uusien sähkö- tai ladattavien hybridiajoneuvojen hankintaan. Autokannan uudistumista hidastaa uusien sähköautojen korkea myyntihinta (huolimatta ka. matalammista elinkaarikustannuksista), latausasemien vähäisyys, käytettyjen sähköautojen heikko saatavuus sekä vähäinen tuonti. VTT-TIMES -mallin laskelmissa huomioidaan vain uusien sähköautojen vaikutus, jolloin mallin oletus antaa todennäköisesti optimistisemmat tulokset energiatehokkuuden ja päästövähennyksien osalta kuin esimerkiksi ALIISA-mallin perusennuste (Lehtilä ym. 2021a; 2021b). Erityisesti sähköautojen yleistymisen pullonkaulana on tarvittavan latausinfrastruktuurin sekä edullisempien ja eri kokoluokkien automallien yleistyminen. Valtion tukeman romutuspalkkion osuus autokannan uudistumiseen on todennäköisesti marginaalinen (5000 tCO₂) ilman huomattavia lisäpanostuksia 8 miljoonan euron budjettiin (Traficom 2021c). Sähköautojen yleistymiseen vaikuttaa siis sekä latausinfrastruktuurin kehittyminen että sähköautojen hankinta, jotka vaikuttavat myös toisiinsa. Sähköautojen kysynnän nopea kasvu globaalisti voi myös vaikuttaa niiden saatavuuteen Suomeen ja mahdollinen akkumateriaa-

¹⁰ Suomen sähkönkulutus oli alle 90 TWh vuonna 2020.

lien kilpailu voi pitää sähköautojen hankintahinnat korkeina vielä pitkään. Niinpä oletettua heikompi kehitys toisessa näistä tekijöistä voi johtaa kokonaisuudessaan huomattavasti oletettua alhaisempaan sähköautojen käyttömäärään.

Tulevaisuudessa liikkumisen päästöihin vaikuttavat myös kaupunkiseutujen joukko- ja kevyenliikenteen väylien ja palveluiden kehitys sekä maankäytön suunnittelu yhdessä kaupunkien yhdyskuntarakenteen kehityksen kanssa. Trendinomaisesti jatkuva kaupungistuminen, väestön ikääntyminen ja väestömäärän väheneminen voivat näkyä henkilöautoliikennesuoritteiden alentumisena sekä osittain myös arvopohjaisena muutoksena kulkutapojen valinnassa, jolloin nuoremmat sukupolvet suosivat kestäviä kulkutapoja ja henkilöauton omistaminen vähenee. Henkilöautosuoritteiden määrään on kuitenkin toistaiseksi vaikuttanut merkittävimmin talouden kehitys. (Ristikartano ym. 2014) Toisaalta sähköautojen yleistyminen ja ajamisen kustannusten lasku saattavat myös lisätä suoritteita tulevaisuudessa.

Biomassan kysynnän kasvu myös muiden sektorien polttoainesubstituutiassa ja kiertotalouden raaka-ainekäytössä voivat nostaa biopolttoaineiden kustannuksia ja hidastaa niiden osuuden kasvua tieliikenteen energiankulutuksesta. Lisäksi muiden pohjoismaiden kiristyvät sekoitevelvoitteet kasvattavat biopolttoaineiden kysyntää, jolloin kilpailu kestävien biojalosteiden hankinnasta kasvaa. Myös biopolttoaineiden kestävyyskriteereiden tiukentuminen voi vaikeuttaa merkittävästi kestäviksi luokiteltavien biopolttoaineiden saatavuutta. Tämä nostaa ensisijaisesti biopolttoaineiden hintaa, sillä jakeluelvoite on instrumenttina joustamaton. Sähköisen liikenteen yleistymiseen ja liikennesuoritteiden määrien kehittymiseen liittyvä epävarmuus vaikuttavat myös biopolttoaineiden jakeluelvoitteen täyttämiseen. Mitä suuremmaksi polttoaineiden kokonaiskysyntä kehittyy, sitä enemmän biopolttoaineita jakeluelvoitteen täyttäminen edellyttää.

4.4 Maataloussektorin kehittymiseen liittyvät epävarmuudet

Maatalouden päästövähennyksiin vaikuttavat EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) mukainen kansallinen suunnitelma, ja sen tukien määräytyminen erityisesti käynnissä olevassa CAP-uudistuksessa. WEM-skenaariossa maatalouspolitiikka on pitänyt myös heikotuoottoisia peltoja viljelyssä, vaikeuttaen päästövähennyksiä, mutta odotettavissa olevat EU:n tiukentuva ilmasto- ja energialainsäädäntö voi vaikuttaa myös kansallisen taakanjakosektorin päästövähennyksien ohjauskeinoihin. Toistaiseksi maatalouden rakennemuutos sekä energian ja lannoitteiden kustannukset ovat pääosin ohjanneet viljelyn siirtymiseen parhaimmille maille, maatilojen määrän

väheneeseen ja tuotannon keskittymiseen suurille ja keskikokoisille maitotiloille, joiden kustannustehokkuus on parempi (Luke 2020d; 2019; 2018). Kotimaisen elintarvikkeiden kysynnän on arvioitu pysyvän ennallaan alhaisen väestönkehityksen vuoksi, mutta toisaalta maataloustuotteiden ja eläintuotteiden globaali kysyntä lisääntyy ja saattaa siten kasvattaa vientiä. Kasvipainotteisen ruokavalion yleistymisen sekä uusien tuotteiden, kuten synteettisten proteiinien kehitys, lisäävät epävarmuutta perinteisen maatalouden piirissä (ks. esim. Aakkula 2021). Ilmastonmuutoksen voimistuminen lisää ennakoimattomuutta ja vaikuttaa satotasoihin esimerkiksi pitkittyvien kuivuus- tai sadekausien seurauksena sekä tilakohtaisiin riskeihin. Ilmaston lämmitessä myös kasvitautien aiheuttamien tuhojen odotetaan lisääntyvän. Sektoriin kohdistuva tiukentuva sääntely voi osaltaan vaikuttaa maatalouden tuotanto- ja tilamäärien supistumiseen edelleen. Maatalouden ja maatalousmaiden päästöjen oletetun kehittymisen keskeisenä riskinä on tarvittavien toimien täytäntöönpanoon ja päästövähennysten arviointiin liittyvä epävarmuus.

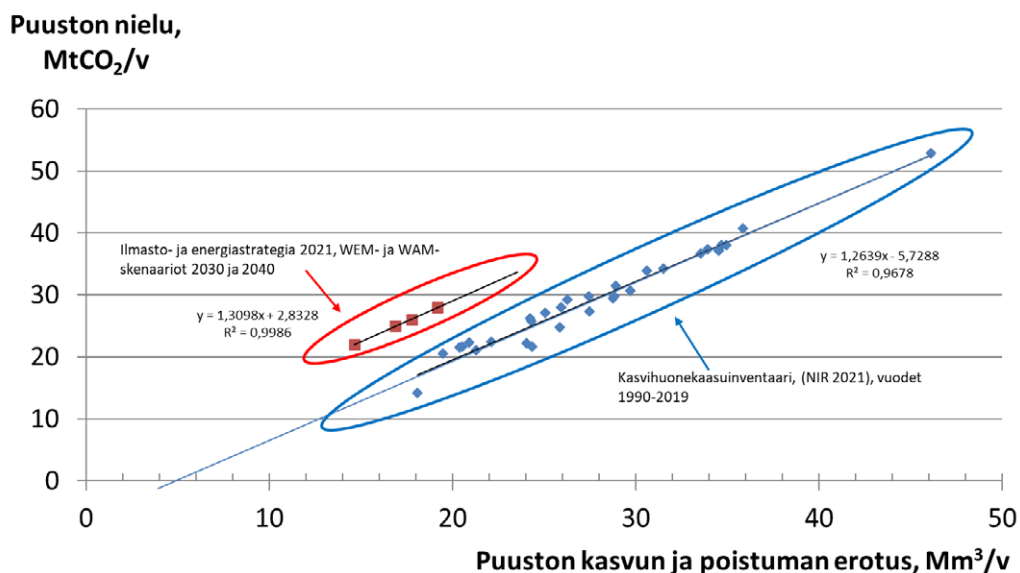
4.5 Metsien hiilinieluun liittyvät epävarmuudet

Metsien hiilinielun kehitys riippuu voimakkaasti siitä, miten teollisuuden ainespuun hakkuut kehittyvät. Lisäksi nieluun vaikuttavat puuston kasvun kehitys, puuston luonnon poistuman ja hukkarunkopuun määrä, hakkuutähteiden korjuun ja maaperän kasvihuonekaasutaseiden kehitys. Mikäli metsäteollisuuden volyyymi ja sen myötä kotimaiset ainespuun hakkuut kasvavat WEM- ja WAM-skenaariossa oletettua suuremmiksi, muodostuu metsien hiilinielusta oletettua pienempi ja toisinpäin. Lisäksi epävarmuutta nielun kokoon aiheutuu siitä, minkälaiseen puustoon hakkuut kohdistuvat (Koljonen ym. 2020). Vuosille 1990–2019 tilastoidun puuston hiilinielun ja runkopuun kasvun ja kokonaispoistuman (Luke 2021c; 2021d) erotuksen välillä on voimakas positiivinen korrelaatio (Kuva 7). Vastaavasti HIISI-hankkeessa MELA-mallilla vuosille 2030 ja 2040 mallinnettujen WEM- ja WAM-skenaarioiden puuston hiilinielun ja runkopuun kasvun ja kokonaispoistuman välillä on voimakas positiivinen korrelaatio (Kuva 7). Tilastoidut puuston hiilinieluarvot eivät kuitenkaan asetu runkopuun kasvun ja poistuman erotuksen funktiona samalle lineaariselle trendikäyrälle MELA-mallilla laskettujen arvojen kanssa, vaan MELA-mallin tuloksista piirretty lineaarinen trendikäyrä on noin 10 Mt CO₂ tilastoiduista arvoista piirrettyä lineaarista trendikäyrää suurempi (Kuva 7). Toisin sanoen, WEM- ja WAM-skenaarioiden puuston hiilinielu on runkopuun kasvun ja poistuman erotukseen nähden merkittävästi tilastoitua suurempi. Tämä johtuu menetelmäerosta puuston hiilinielun laskennassa. WEM- ja WAM-skenaariossa puuston hiilinielu on laskettu puuston varaston muutoksen kautta, kun taas kasvihuonekaasuintentaariossa puuston hiilinielu on laskettu biomassan kasvun ja poistuman erotuksena (Koljonen ym. 2020). Tulevissa kasvihuonekaasuintentaareissa arvioitu puuston

hiilinielu saattaa siten muodostua oletetun runkopuun kasvun ja kokonaispoistuman toteutuessa selvästi WEM- ja WAM-skenaarioissa arvioitua pienemmäksi.

Runkopuun kasvu on WEM-skenaariossa arvioitu olevan noin 106 Mm³ vuosina 2016-2035 ja 108 Mm³ jaksolla 2036-2045 (Maanvilja ym. 2021). Valtakunnan metsien 13. inventoinnin kahden ensimmäisen mittausvuoden tietojen mukaan runkopuun kasvu on Suomessa alentunut 108 Mm³:stä 103,5 Mm³:iin (Luke 2021e). Puuston kasvun mitattu alentuminen saattaa vaikuttaa jatkossa myös puuston kasvun kehitysarvioihin.

Kuva 7. Puuston hiilinielu puuston kasvun ja poistuman erotuksen funktiona vuosina 1990–2019 (Tilastokeskus 2021c ja WEM- ja WAM-skenaarioissa vuosina 2030 ja 2040 (Maanvilja ym. 2021a).



4.6 Toimintaympäristön muutosten tuomat epävarmuustekijät

Yhteiskuntarakenteen kehitys ja siihen vaikuttavat globaalit ilmiöt, kuten kansainvälisen talouden kriisit ja toisaalta pakolaisuutta tai muuttoliikettä kiihdyttävät konfliktit tai luonnonmullistukset voivat tuottaa ylikansallisia vaikutuksia, joilla on kansallisesti vaikutusta taloudelliseen toimintakykyyn ja yhteiskunnan vakauteen sekä käytettäviin resursseihin. Esimerkiksi kyberriskit lisääntyvät yhteiskunnan sähköistymisen myötä ja ne voivat lamaannuttaa yhteiskunnan keskeisiä toimintoja tai estää kriittisen infra-

struktuurin tai tiedonkulun osittain tai kokonaan. Riskien ja häiriötilojen vaikutukset näkyvät tyypillisesti raaka-aineiden ja resurssien tuotanto- ja toimitusvaikeuksina, mutta pitkittyessään ne voivat vaikeuttaa valtioiden huoltovarmuutta ja nostaa esimerkiksi polttoaineiden ja elintarvikkeiden hintoja. Ilmastonmuutoksen vaikutusten voimistumisen myötä tällaiset häiriöt todennäköisesti yleistyvät ja se voi osittain vaikeuttaa myös hillintätoimien toimeenpanoa. (ks. Carter ym. 2021, Hakala ym. 2021 Hildén ym. 2016, Tuomenvirta ym. 2018)

Ilmastonmuutoksen voimistumisen ohella tarvittavien ohjauskeinojen toimeenpanon hitaus saattaa johtaa siihen, että päästövähennysten edellyttämästä siirtymästä tulee todennäköisemmin hallitsematon kuin hallittu (Nichols & Clisby 2021). COVID-19 pandemian kaltaiset pitkittyvät kriisit voivat lisätä epävarmoja tulevaisuudennäkymiä ja rahoituksen riskejä (Palmén 2020), jotka hidastavat myös ilmastotoimenpiteiden täytäntöönpanoa. Toisaalta pandemian aiheuttaman kriisin lieventämiseksi tarkoitettujen talouden elpymispaketit voivat myös tukea investointien rahoitusta ja toimeenpanoa, mikä luo mahdollisuuksia teknologioiden nopeammalle käyttöönotolle osana EU:n vihreän siirtymän (COM/2019/640 final) toteuttamista¹¹. EU:n tiukentuva ilmasto- ja energialainsäädäntö voi lisätä kansallisten politiikkatoimien käyttöönottoon liittyviä riskejä niihin liittyvien muutostarpeiden sekä nopeamman päästövähennysaikataulun vuoksi.

Osaavan työvoiman saatavuus, toimialoihin kohdistuva sääntely sekä työllisyyden ja talouskasvuun liittyvät epävarmuudet vaikuttavat myös päästövähennysteknologioiden käyttöönottoon. Arvioiden mukaan positiivisia työllisyysvaikutuksia voidaan edistää veroratkaisuilla, työvoimapolitiikalla ja koulutuksella, joiden lisäksi uuden, ns. vihreän teknologian ja tuotteiden vienti voi tukea talouden ja työllisyyden myönteistä kehitystä. (Kuusi ym. 2021). Vastaavasti fossiiliseen energiaan suoraan tai välillisesti liittyvien toimialojen työpaikkojen ja työvoimavaltaiten alojen rakennemuutoksen riittämätön tuki esimerkiksi työllisyyspolitiikan ja julkisten investointien muodossa saattavat heikentää päästövähennystoimien hyväksyttävyyttä ja oikeudenmukaisuutta, ja siten toimeenpanoa. (ibid)

¹¹ EU:n pitkän aikavälin talousarvio ja elpymisen vauhdittamiseen tarkoitettu rahoitusväline NextGenerationEU muodostavat yhdessä n.1,8 biljoonan euron elpymispaketin, jonka yhtenä painopisteenä on ilmastonmuutoksen torjunta. Tähän tarkoitukseen käytetään 30 prosenttia EU:n talousarviovaroista, mikä on tähän saakka suurin kohdistus ilmastoteemaan. (EC 2021). Tähän perustuvan, Ympäristöministeriön hallinnoiman kestävän kasvun ohjelman tukien arvioitu päästövähennys 2026 lähtien n. 3 Mt per vuosi, mikä vastaa 6 prosenttia Suomen kokonaispäästöistä (VM 2021).

5 Ympäristövaikutusten arvioinnin ja seurannan kehittäminen

5.1 Vaikutusten arvioinnin haasteet ja mahdollisuudet kehittää seurantaa

Vaikutusten arviointiin liittyy monenlaista epävarmuutta, joka jakaantuu linjausten ja toimien toteutukseen liittyviin epävarmuuksiin, vaikutuksiin liittyvän riittävän tai tarkoituksenmukaisen tiedon puuttumiseen sekä vaikutusten tarkastelussa käytettyihin oletuksiin ja menetelmiin. Epävarmuuksien vuoksi toimien vaikutusten seuranta on hyvin tärkeää, jotta pystytään arvioimaan tavoiteltujen vaikutusten sekä mahdollisten sivuvaikutusten toteutumista. Näiden tietojen pohjalta voidaan edelleen tarkentaa toimien tai suunnitelmien vaikutusten ja vaikuttavuuden arvioita. (Soimakallio ym. 2017)

Hankekohtaista ympäristövaikutusten YVA-arviointia on tehty lain ja asetusten edellyttämänä Suomessa vuodesta 1994, ja laajempaa suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten SOVA-arviointia vuodesta 2005. Menettelyiden pääasiallisena tarkoituksena on ollut merkittävien ympäristövaikutusten tunnistaminen ja käsitteleminen (Hildén ym. 2021b). Sen sijaan hankkeiden ympäristövaikutusten systemaattinen seuranta jälkikäteen ja erilaisten mahdollisten kehityskulkujen arvioiminen ovat jääneet sivurooliin osittain johtuen ilmeisistä haasteista hankkeiden aikatauluissa, ja toisaalta joidenkin vaikutusten laajuudesta ja hitaasta kehittymisestä ja sitä myöten seurantaindikaattorien määrittelyn vaikeudesta. Kestävän kehityksen mukainen ilmastotyö edellyttää pitkäjänteistä ja laaja-alaista tarkastelua, jossa huomioidaan myös ulkoiset olosuhteet (poliittinen, taloudellinen ja teknologinen kehitys), jotta toimien ja suunnitelmien vaikutusten mahdolliset takaisinkytkennät ja synergiat voidaan tunnistaa ja niitä voidaan hyödyntää uusien politiikkatoimien suunnittelussa (mm. Soimakallio ym. 2017). Vaikutusten systemaattista arviointia ja tiedonkeruuta tulisi kehittää, jotta erityisesti merkittävien ilmastotoimien toimeenpanoa voidaan perustella huomioiden samalla niiden synergiat myös ilmastomuutokseen sopeutumisen ja luonnon monimuotoisuuden kanssa. Ilmastovaikutusten ja biodiversiteetin huomioimisen haasteena on toistaiseksi ollut riittävän pitkän aikajänteen sisällyttäminen vaikutusten arviointiin, hilyn ja sopeutumisen vuorovaikutuksen tarkastelu sekä varovaisuusperiaatteen noudattaminen, jonka tarkoituksena on, tietopohjaisista epävarmuuksista huolimatta, ennaltaehkäistä vakavien ympäristövaikutusten ja -riskien syntyminen. (Hildén ym. 2021b)

Edellisen energia- ja ilmastostrategian sekä keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman vaikutusten arvioinnin (Soimakallio ym. 2017) seurantaan tarkoitettut kysymykset luovat arviointikehikon, jonka pohjalta voidaan myös hahmottaa alustavia indikaattoreita/seurantaparametrejä (Taulukko 6).

Taulukko 6. Mahdolliset seurantakysymykset ja -parametrit ilmastotoimien ympäristövaikutuksille.

Seurantakysymykset (Soimakallio ym. 2017)	Mahdolliset seurantaparametrit
1) Toteutuvatko linjaukset ja toimet suunnitelman olettamassa muodossa ja laajuudessa. Kuinka paljon voimavaroja toteutukseen käytetään?	Toimeenpanon arviointi Käytetyt resurssit €/htv
2) Muuttavatko linjaukset ja toimet kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavia käytäntöjä ja rakenteita jollakin tavalla (tapahtuuko käytännöissä tunnistettava muutos, laajenevatko/supistuvatko käytännöt joiltakin osin)?	Toimintatavan muutos +/- tai toimintavan/käytännön korvautuminen toisella
3) Opitaanko linjausten ja toimien toimeenpanosta jotakin niin, että voidaan tehostaa sitä osaa toiminnasta, joka oletettavasti vähentää kasvihuonekaasupäästöjä?	Sidosryhmähaastattelut / sektoriraportit (laadulliset arviot toimeenpanon haasteista ja onnistumisista)
4) Havaitaanko absoluuttisissa kasvihuonekaasupäästöissä, nieluissa, järjestelmien ominaispäästöissä tai epäsuorissa päästöissä muutoksia? Onko tavoiteltu päästökaikitys kiihtyvä vai tasaantuva?	Khk-inventaariot ja sektorikohtaiset kehityspolut
5) Havaitaanko muutoksia linjauksiin ja toimiin liittyvissä muissa mahdollisissa ympäristövaikutuksissa (luonnonvarojen käyttö, ympäristön pilaantuminen/suojelu, luonnon monimuotoisuus, terveys, elinolot)? Ovatko muutokset ennako-oletusten suuntaisia ja suuruisia?	Luonnonvarojen käyttö/materiaalivirtojen kehitys, luonnon monimuotoisuuden tila, ilmanlaatu, hyvinvointi, alueellinen sosioekonominen kehitys/eriarvoisuus Muutosten suunta ja voimakkuus - arviot
6) Mitkä muut tekijät vaikuttavat linjausten ja toimien toteutukseen ja niiden edellytyksiin muuttaa käytäntöjä ja rakenteita?	Merkittävät yhteiskunnalliset, taloudelliset ja /tai poliittiset tekijät (reunaehdot) ja murrokset

Ympäristö- ja ilmastovaikutusten arvioinnin ja seurannan kehittäminen on perustelua, jotta erilaisten ohjauskeinojen ja teknologioiden tai ratkaisuiden vaikuttavuutta tavoitteiden saavuttamiseksi voitaisiin tarkastella läpinäkyvämmiin ja jotta erilaisia riskejä voidaan hallita. Lisäksi on tarpeen seurata mahdollisia ei-toivottuja ja muita vaikutuksia, jotka saattavat ilmetä vasta pidemmällä aikavälillä. Tämä vaatii sekä uusia hankearvioinnin menetelmiä että parempaa tietoperustaa vaikutusten tunnistamiseen, arviointiin ja ehkäisemiseen (LVM 2021b). Esimerkiksi liikenteen osalta merkittäviä ympäristö- ja sosiaalisia vaikutuksia liittyy ilmastonmuutokseen sopeutumiseen, alueellisiin erityiskysymyksiin ja liikkumisen mahdollisuuksien varmistamiseen (ibid), joiden kokonaisarviointia voidaan pitää edellytyksenä sosiaalisen oikeudenmukaisuuden toteutumiseksi. Vaikutusten seurannan toteuttaminen tukee ilmastotoimien ja politiikan läpinäkyvyyttä, tilivelvollisuutta (accountability) ja voi osaltaan edistää parempaa julkista keskustelua sekä oikeudenmukaisen siirtymän toteutumista. Seurannan merkitys korostuu myös paremman politiikkakoherenssin eli yhteensopivuuden vuoksi. Esimerkiksi EU:n vihreän siirtymän ilmastotoimien ja biodiversiteettistrategian tavoitteena on edistää politiikkasynergiaa ja varmistaa etteivät esimerkiksi ilmastotoimenpiteet heikennä luonnon monimuotoisuutta tai toisinpäin (SWD/2020/176 final, COM/2020/562 final). Strategioiden toimeenpano edellyttää jatkossa todennäköisesti mahdollisten riskikäisvaikutuksien tarkempaa arviointia jäsenmaiden osalta. Lisäksi kansainvälisesti on tunnistettu synergiaetuja hillinnän ja sopeutumisen välillä, mikä korostaa suunnitelmien ja ohjelmien vaikutusten arvioinnin strategista merkitystä suhteessa muihin ohjelmiin, strategiaihin ja relevanttiin lainsäädäntöön (Hildén ym. 2021b).

Politiikkakoherenssin edistäminen tukee myös politiikkatoimien kokonaishyötyjen parempaa arviointia sekä arvottamista. Päästövähennysten ohella voi toteutua myös muita hyötyjä (co-benefits), joita ovat esimerkiksi kestävä kehityksen tavoitteiden mukaiset tai muut sosiaaliset hyödyt, kuten paikallisen talouden tukeminen. Muita hyötyjä ei kuitenkaan usein huomioida päätöksenteossa riittävästi suhteessa perusteluihin, mikä voi heikentää politiikkojen ja päätöksenteon hyväksyttävyyttä. Arviointien kehittämisen tavoitteena on lisätä tietoa ja osaamista kokonaishyödyistä. Tähän tarvitaan muun muassa enemmän havainnollistavaa ja vertailukelpoista tietoa sekä yleisesti hyväksyttävä tapa hyötyjen jaotteluun, mittaamiseen ja esittämiseen. Näin tieto pystyttäisiin paremmin integroimaan päätöksenteon tueksi. Monikriteerinen päätöksenteko vaatisi vahvempaa kriteerien, dokumentointivaatimusten ja yhtenäisten arviointiprosessien luomista (Karlsson ym. 2020).

5.2 Ehdotuksia skenaarioiden laadinnan ja vaikutusten arvioinnin parantamiseksi

Politiikkatoimien ympäristö- ja ilmastovaikutusten arvioinnin parantamiseksi skenaariotyötä tulisi virtaviivaistaa ja laajentaa, jolloin erot jo päätettyjen toimien sekä kokonaispäästövähennystavoitteen saavuttamiseksi mahdollisesti vaadittavien kustannusoptimoitujen malliratkaisujen vaikutuksissa voitaisiin tuoda selkeämmin esiin. Jo aiemmin on tunnistettu tarpeita kehittää politiikkatoimien kasvihuonekaasupäästöihin ja -nieluihin kohdistuvien vaikutusten ja politiikkatoimien kustannuksien arviointia, joita koskee seurantajärjestelmäpäätöksen mukainen raportointivelvoite (Semkin ym. 2019). Vaikutusten arvioinnin läpinäkyvyyden kannalta keskeistä on ministeriöiden ja kustannustehokkuuslaskelmia tekevien toimijoiden tiiviimpi yhteistyö. Päästö- ja kustannusvaikutusten lisäksi tietotarpeita liittyy sosiaalisten ja työllisyysvaikutusten arviointiin ja seurantaan sekä vaikutuksiin Suomen rajojen ulkopuolella, jotka liittyvät erityisesti kestävään kehitykseen ja haavoittuviin maihin. (Semkin ym. 2019)

Yksi oleellinen kysymys on se, riittävätkö WAM-skenaariossa esitetyt toimet päästötavoitteiden saavuttamiseen. Se taas riippuu siitä, saadaanko toimia käyttöön oletetussa laajuudessa ja aikataulussa ja onko niiden vaikuttavuus oletetun kaltainen. HIISSI-hankkeessa laskettu WAM-skenaario sisältää sekä uusia, WEM-skenaariotoimien lisäksi, mahdollisesti käyttöönotettavia päästövähennystoimia että VTT TIMES -malliin asetetuilla rajoituksilla laskettuja kustannusoptimoituja päästövähennyskeinoja. Tuloksista ei suoraan voida päätellä sitä, mikä olisi mallin mukainen kustannusoptimoitu tapa saavuttaa asetetut päästötavoitteet eikä sitä, minkälainen päästötaso saavutetaan esitetyillä mahdollisilla lisätoimilla. Tätä tarkoitusta palvelisi paremmin kolme erilaista skenaariota, jotka olisivat 1) perusskenaario eli WEM, 2) kustannusoptimoitu WAM eli mallinnus mahdollisista lisätoimista oletuksella, jossa vain päästörajat on kiinnitetty, 3) varsinainen politiikkatoimi-WAM, jossa vain WEM-toimet ja linjatut mahdolliset WAM-toimet on huomioitu. Näiden arvioiden avulla voitaisiin luoda nykyistä parempi kokonaisymmärrys siitä, miten päästöt kehittyvät a) ilman lisätoimia b) lisätoimilla ja c) mikä olisi kustannusoptimoitu ratkaisu, sekä d) kuinka linjatut toimet suhtautuvat kustannusoptimoituun ratkaisuun ja kuinka paljon lisätoimia vielä tarvitaan esimerkiksi hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi.

Koko kansantalouden päästökehitystä kuvaavissa skenaarioissa tarvitaan suuri määrä erilaisia oletuksia. Kuten luvussa 4 käytiin läpi, erilaiset yksittäiset oletukset voivat todellisuudessa toteutua toisin kuin mallinnuksessa on oletettu, ja mikäli ne ovat merkittäviä päästöjen kannalta, saattaa mallinnuksessa kuvattu päästöjen kehitys todellisuudessa toteutua huomattavan erilaisella tavalla. Tarvittavien oletusten suuri määrä aiheuttaa haastetta niihin liittyvien epävarmuuksien ja herkkyyksien riittävän kattavalle

analysoinnille. Koska tulevaisuus joka tapauksessa on monella tavalla epävarma, tulisi kestävän päätöksenteon kuitenkin pyrkiä mieluummin sisällyttämään epävarmuudet kuin sivuuttaa ne päätöksenteossa. *Info-gap* ja *robust decision-making* ovat tieteellisiä menetelmiä, jossa epävarmuus sisällytetään kuvaamalla tulevaisuus useina erilaisina mahdollisina vaihtoehtoina ja etsimällä strategioita, jotka eivät ole herkkiä epävarmuuksille (Hall ym. 2012). Tällä tavoin on mahdollista tunnistaa päästövähennystoimia, joiden käyttöönottoon sisältyy enemmän tai vähemmän riskiä ja hallita toimien riittävyteen ja päästötavoitteiden saavuttamiseen sisältyvää riskiä. Epävarmuuksien tunnistamisessa *ex-ante*-arviointia varten voitaisiin hyödyntää oppia myös aiemmista strategioista ja niiden oletusten toteutumisesta *ex-post*-analyysien kautta.

Arviointiyhteistyön tiivistäminen sekä skenaarioiden laskentaoletusten avaaminen mahdollistaisi paremman vertailun eri selvityksien ja menetelmien välillä (Semkin ym. 2019). Lisäksi se helpottaisi inhimillisten virheiden havaitsemista, oletusten kriittistä tarkastelua ja menetelmien edelleen kehittämistä. Nykyistä tarkempi, monipuolisempi ja läpinäkyvämpi skenaariotyö parantaisi päätöksenteon luotettavuutta, mutta myös auttaisi arvioimaan eri politiikkatoimien vaikuttavuutta ilmastopäästöjen vähentämiseksi sekä niiden erilaisten sosio-ekonomisten ja ympäristövaikutusten haarukoimiseksi (ks. Peñasco ym. 2021). Tämä tukisi myös systemaattisempaa päästövähennystoimien ja ohjauskeinojen suunnittelua ja seuranta hyötyjen ja kustannustehokkuuden arvioimiseksi (Semkin ym. 2019). Poliittikkatoimien negatiivisten, erityisesti tulonjakoon liittyvien vaikutusten analysointi on tärkeää, jotta niiden toimeenpanoon liittyviä esteitä voidaan tunnistaa (ja purkaa) sekä lisätä toimien yleistä hyväksyttävyyttä ja niiden kestävyiden kannalta olennaista julkista tukea. Vaikutusten parempi tunnistaminen tukee siten niin lieventävien toimien kuin politiikkatoimien kokonaisuudenkin suunnittelua. (Peñasco ym. 2021). Suomessa kustannustehokkuusanalyysit ja -laskennat ovat tyypillisesti suunnattu toimien ja teknologioiden vaikutusten analyysiin. Toteutuksen ja esimerkiksi sosiaalisen oikeudenmukaisuuden kannalta tarvittaisiin enemmän analyysiä siitä, miten eri ohjauskeinot kuten tuet ja kannustimet tukevat päästövähennystavoitteiden (kustannustehokasta) saavuttamista. Jotta vaikutusten arviointi ja seuranta voisivat paremmin palvella toimien suunnittelua ja täytäntöönpanoa, tarvittaisiin prosessille jatkuvuutta, systemaattisuutta, pitkäjänteisyyttä, yhteistyötä, tutkimista ja kehittämistä (Semkin ym. 2019). Prosessin keskeisenä tehtävänä tulisi olla pyrkimys saavuttaa ilmastomuutoksen hillintätavoitteet mahdollisimman oikeudenmukaisesti, kustannustehokkaasti, synergisiä ympäristöhyötyjä korostaen ja haittoja minimoiden siten, että erilaiset ja -asteiset riskit hallitaan mahdollisimman kattavasti. Arvioinnin kehittämiseen löytyy nykyisellään runsaasti hyviä käytäntöjä eri maista, ja Suomen kannalta hyödyllisiä käytäntöjä voidaan omaksua esim. Saksan, Iso-Britannian tai Ruotsin toimintamalleista (Semkin ym. 2019).

6 Yhteenveto

Tässä raportissa kuvatussa SOVA-arvioinnissa on tarkasteltu lähinnä laadullisesti Suomen hiilineutraaliustavoitteen ja sen jälkeisten ilmastotavoitteiden saavuttamiseen liittyviä ympäristövaikutuksia. Tarkastelut on tehty arvioimalla tavoitteet saavuttavaa WAM-skenaariota suhteessa nykyisten jo päätettyjen politiikkatoimien jatkumista kuvaavaan WEM-skenaarioon, jotka molemmat on mallinnettu HIISI-hankkeessa. Lisäksi on tarkasteltu erilaisia epävarmuustekijöitä ja riskejä skenaarioiden toteutumiseen ja pohdittu keinoja epävarmuuksien ja riskien vähentämiseksi. Tällä perusteella on myös annettu suosituksia vaikutusten arvioinnin ja seurannan kehittämiseksi osana tulevia strategiaprosesseja.

Ilmastotavoitteiden saavuttamisella on sekä hyödyllisiä että eräitä kielteisiä SOVA-lain tarkoittamia vaikutuksia ympäristöön ja yhteiskuntaan. Hyödyllisillä vaikutuksilla tarkoitetaan seurauksia, jotka edistävät asetettuja yhteiskunnallisia tavoitteita ja kielteisillä taas seurauksia, jotka vaikeuttavat muiden kuin ilmastotavoitteiden saavuttamista. Ilmaston lisäksi vaikutuksia kohdistuu muun muassa ilmansaasteisiin, ihmisten terveyteen, luonnonvarojen käyttöön, luonnon monimuotoisuuteen, maaperään ja vesistöihin sekä ihmisten elinoloihin. Ympäristövaikutuksia on HIISI-hankkeessa arvioitu pääsääntöisesti laadullisesti vertaamalla WAM-skenaariota WEM-skenaarioon ja joiltain osin myös pohtimalla yleistä kehitystä WEM- ja WAM-skenaariossa suhteessa nykytilaan.

Tunnistettuja merkittävimpiä ympäristövaikutuksia ovat kasvihuonekaasupäästöihin, ilmastonmuutokseen, ilmansaasteisiin, luonnon monimuotoisuuteen, metsien hiilinieluihin ja vesistöihin kohdistuvat vaikutukset. Nämä ympäristövaikutukset ovat yhteydessä ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen ja hyvinvointiin, minkä lisäksi niihin voidaan vaikuttaa ilmasto- ja energiastrategian linjausten tai niitä toimeenpanevien taloudellisten ohjauskeinojen, kuten verojen ja maksujen kautta. Nämä vaikutukset liittyvät kiinteästi myös toimien yleiseen hyväksyttävyyteen, koettuun sosiaaliseen oikeudenmukaisuuteen ja kokonaiskestävyyteen osana siirtymää kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa. Osa vaikutuksista ilmenee Suomen rajojen ulkopuolella. Seuraavassa käydään läpi tunnistettuja keskeisiä, mahdollisia ympäristövaikutuksia, joita ilmastotavoitteiden saavuttamiseen kytkeytyy.

Lähtökohtaisesti ilmastotavoitteiden saavuttamisella arvioidaan olevan myönteisiä ympäristövaikutuksia, kun ilmastonmuutoksen hillinnällä onnistutaan ehkäisemään ilmastonmuutoksen aiheuttamia mittavia, osin peruuttamattomia ja ennalta arvaamattomia vaikutuksia ympäristöön ja yhteiskuntaan. Kasvihuonekaasupäästöjen vähennys saavutetaan WAM-skenaariossa erityisesti voimakkaalla liikenteen ja teollisuuden sähköistymisellä sekä korvaamalla uusiutuvalla energialla ja sähköllä fossiilisten polttoainesten käyttöä eri sektoreilla. Kaikkein infrastruktuurin ja voimantuotannon ja -siirron

rakentamiseen sekä muun muassa sähköautojen, tuulivoiman ja biopolttoaineiden tuotantoon ja käyttöön liittyy kuitenkin luonnonvarojen kulutusta, mikä osaltaan vähentää saavutettavia ympäristöhyötyjä. Suomen autokannan sähköistyminen lisää kasvihuonekaasupäästöjä ulkomailla, koska esimerkiksi sähköautojen akut aiheuttavat vielä tällä hetkellä noin 40–80 prosenttia suuremmat kasvihuonekaasupäästöt kuin vastaavien bensiinautojen valmistus aiheuttaa. Valmistuksen päästöt pystytään kuitenkin kompensoimaan keskimäärin alle viidessä vuodessa alentuneiden käytönaikeisten päästöjen seurauksena.

Ilman epäpuhtauksien määrä vähenee, joskin sekä kotimaisista lähteistä että kaukokulkeuman mukana tulevista ilmansaasteista aiheutuvat terveysriskit säilyvät edelleen merkittävänä. Suurimpia kotimaisia päästölähteitä ovat puun pienpoltto ja katupöly, joihin nykyiset ilmastotoimet eivät merkittävästi kytkeydy. Liikenteen pakokaasupäästöt ovat jo vähentyneet selvästi ja vähentyvät myös jatkossa, moottoriteknologian kehittyessä. Tästä syystä ajoneuvojen käyttövoiman muutokset tulevaisuudessa eivät vaikuta merkittävästi pakokaasuperäisiin pienhiukkaspäästöihin. Typenoksidien päästöt kuitenkin vähentyvät sähköautojen käytön korvattessa etenkin henkilöautoliikenteessä bensiini- ja dieselautoja. Liikenteen aiheuttamien ilman epäpuhtauksien vaikutus kaupunkien ilmanlaatuun ja ihmisten altistumiseen ilmansaasteille riippuvat viime kädessä ajoneuvosuoritteiden kehittymisestä ja niiden alueellisesta jakautumisesta sekä yhdyskuntarakenteesta. Pienpoltto on terveyshaittoja aiheuttavien pienhiukkasten ja ilmastoa lämmittävien mustan hiilen ja sekä pienissä määrin myös metaanin päästölähde. Pienpolton päästöihin voidaan vaikuttaa muun muassa teknisillä standardeilla, innovaatioilla, valituksella ja kuntien antamalla ohjeistuksella. Pienpolton arvioidaan vähenevän vuoden 2020 tasosta sekä WEM- (n. 5 %) että WAM-skenaariossa (n. 20 % vuoteen 2040 mennessä). Toteutuessaan tämä vähentäisi pienpoltosta aiheutuvia päästöjä ja niiden haitallisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia. Voimalaitosten korkeista piipuista tulevilla päästöillä on vaikutusta erityisesti sekundääristen hiukkasten syntymiseen ilmakehässä. Polttolaitosten merkitystä hengitysilman pienhiukkaspitoisuuksiin ei ole Suomessa mallinnettu kattavasti, mutta energiantuotannon siirtymisellä pois polttoprosesseista olisi oletettavasti suotuisa vaikutus ilmanlaatuun ja sen aiheuttamiin terveyshaittoihin.

Uusiutuvan energian käyttö kasvaa sekä WEM- että WAM-skenaariossa merkittävästi, noin 50 prosenttia vuoden 2020 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Erityisesti kasvavat tuuli- ja aurinkoenergia, jotka myös selittävän suurimman osan WAM-skenaariossa WEM-skenaariota suuremmasta uusiutuvien energialähteiden käytöstä. Puupolttoaineiden käyttö lisääntyy sekä WEM- että WAM-skenaariossa vajaa 20 prosenttia vuoteen 2050 mennessä, ja WAM-skenaariossa vain hieman WEM-skenaariota suuremmaksi. Runkopuun hakkuukertymän on arvioitu lisääntyvän sekä WEM- että WAM-skenaariossa vuosien 2016–2025 noin 70 Mm³:stä hieman yli 80 Mm³:iin kaudella 2036–2045. Hakkuiden lisääntyminen yhdessä hakkuutähteiden korjuun lisääntymi-

sen kanssa pienentävät metsien hiilinielua ja lisäävät riskiä luonnon monimuotoisuuden heikkenemiselle ja haitallisille vesistövaikutuksille. Nämä vaikutukset riippuvat voimakkaasti siitä, kuinka paljon hakkuut sekä kantojen ja hakkuutähteiden korjuu puunkäytön lisäyksen seurauksena laajenevat. Vesistökuormitusta aiheutuu lähinnä hakkuista, lannoituksesta ja kunnostusojituksesta. Monimuotoisuuden heikkenemisen ehkäisyssä oleellisia keinoja ovat kuolleen puuston säästäminen hakkuissa nykyistä paremmin, vanhojen metsien ja arvokkaiden luontokohteiden suojelun edistäminen, puun korjuun välttäminen arvokkailta luontokohteilta, järeiden elävien säästöpuiden lisääminen uudistushakkuissa ja luonnonhoidollinen kulutus. Metsien suojelupinta-alojen ja luonnonhoidon pinta-alojen merkittävä kasvattaminen luontokadon torjumiseksi, hakkuiden lisääminen ja hiilinielujen kasvattaminen ovat haastavia tavoitteita toteutettavaksi samanaikaisesti.

Maataloudessa eloperäisten maiden nurmipeitteisyyden lisääminen ja kosteikkoviljely vähentävät turpeen hajoamisesta aiheutuvia CO₂- ja N₂O-päästöjä sekä kiintoaineen ja myös typen huuhtoutumista vesistöihin. Täsmäviljelyllä ja kerääjäkasvien käytöllä vähennetään typpilannoituksen tarvetta ja siten siihen liittyviä päästöjä ilmaan ja vesistöihin. Lypsylehmien metaanipäästöt vähenevät rehun lisäaineiden avulla. Pellonraivauksen rajoittamisella voidaan vähentää metsäkatoa ja turvemaiden turpeen hajoamista ja siitä aiheutuvia päästöjä. Lisäksi hylättyjen tai huonotuottoisten peltojen metsittämisellä voidaan lisätä jonkin verran hiilinielua, mutta metsittäminen vähentää samalla avoimien alueiden lajitojen elinympäristöjä ja muuttaa maisemaa. Biokaasun tuotannon lisääminen biojätteistä mahdollistaa niiden mätänemisestä syntyvien metaanipäästöjen välttämisen sekä ravinteiden kierrätyksen, joka vähentää päästöjä rajoittamalla tarvetta valmistaa uusia lannoitteita. Maataloudessa biokaasun tuotanto voi välillisesti vähentää pellon raivausta ja siitä syntyviä päästöjä ilmaan ja vesistöihin. Maakaasun ja muiden fossiilisten polttoaineiden korvautuminen biokaasulla tuottaa päästövähennyksiä liikenteessä, energiatuotannossa ja prosessiteollisuudessa.

Uusiutuvien energialähteiden, erityisesti tuulivoimaloiden ja aurinkopaneelien, käytön lisäys vähentää ilmansaasteita, mutta kasvattaa harvinaisten tai kriittisten materiaalien käyttöä ja lisää paineita avata näiden materiaalien kaivoksia. Aurinkopaneelien kehitys on kuitenkin nopeaa ja jatkossa paneeleissa käytettävät materiaalit voivat olla yleisempiä raaka-aineita. Uusiutuvan energian lisääminen todennäköisesti parantaa työllisyyttä ja sitä kautta ihmisten hyvinvointia niillä alueilla, joille investoinnit, rakentaminen ja raaka-aineiden hankinta kohdistuvat. Kansantaloudelliset vaikutukset riippuvat kuitenkin muun muassa siitä, miten ilmastotavoitteiden savuttamiseksi tarvittavat ohjaukset ja sääntely toteutetaan ja miten toteutus vaikuttaa muihin kotimaisiin investointeihin, alueelliseen työllisyyteen, vientiin ja kotitalouksien ostovoimaan.

Rakentamiseen ja maankäyttöön liittyvä sääntely vaikuttaa suoraan elinoloihin. Esimerkiksi vanhan rakennuskannan energiakorjausten tarve on suuri. Toteutuksessa

voidaan ratkaista osa nykyisistä sisäilmaongelmista, mutta samalla tulee varmistaa, että korjaukset eivät aiheuta uusia sisäilmariskejä.

Julkisen liikenteen ja kevyen liikenteen lisääntyminen ja siitä seuraava liikennesuoritteiden vähentyminen sekä sähköautokannan kasvun mahdollistama pienhiukkaspäästöjen ja melun vähenemä aikaansaavat myönteisiä terveys- ja viihtyvyysvaikutuksia. Liikennesuoritteiden vähentyminen puolestaan vähentää katupölypäästöjä, ja kävelen ja polkupyörällä tehdyt matkat lisäävät väestön fyysistä aktiivisuutta, mikä johtaa monipuolisiin terveyshyötyihin. Samalla tulee kiinnittää huomiota siihen, että tarvittavien ohjauskeinojen ja sääntelyn toimeenpano saattavat paikallisesti lisätä viheralueisiin kohdistuvia paineita tai altistumista melulle ja ilmansaasteille hyvin tiiviin yhdyskuntarakenteen alueilla. Suunnittelu, käytännön toteutus sekä yleinen tekninen kehitys määrittävät suurelta osin näiden vaikutusten merkittävyyden.

Sähköautojen tuotannon ja uusiutuvan energian lisääminen kasvattaa harvinaisten tai kriittisten materiaalien käyttöä ja lisää paineita uuden kaivostoiminnan käynnistämiseksi. Kaivosten paikalliset ympäristöön ja työntekijöiden työoloihin kohdistuvat vaikutukset voivat olla merkittäviä, etenkin kehitysmaissa. Akkuteknologiassa saattaa kuitenkin tapahtua innovaatiota materiaalien käytössä. Lisäksi akkuminaalien kierrätyksessä ja akkujen energianvarastointikyvyssä on odotettavissa merkittävää parannusta lähivuosina. Akkuihin liittyy monenlaista kehitystä, joka avaa myös uusia mahdollisuuksia suomalaiselle osaamiselle ja kaivostoiminnalle vahvistaen työllisyyttä.

Vuoden 2030 ja sen jälkeiset kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteet ovat verrattain vaativat aiempiin päästövähennysvaatimuksiin nähden, ja tavoitteisiin pääsemiseksi tarvittavilla toimilla on siten aiempaa merkittävämpiä ihmisten yleisiin elinoloihin kohdistuvia vaikutuksia. Osa toimista kannustaa innovaatioihin, jotka voivat tarjota uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja työpaikkoja. Myös kuluttajien asema voi muuttua. Vaikka teknologian kehittyminen voi säästää energiaa ilman kuluttajien aktiivista roolia, monet linjaukset edellyttävät kansalaisilta uudenlaista toimijuutta muuttuvissa elinoloissa. Tarvittavien toimien täytäntöönpano voi kasvattaa tuloerojen ja alueellisten erojen merkitystä, esimerkiksi energian hinnan noustessa, ellei oikeudenmukaista siirtymää pystytä huomioimaan riittävästi toimien täytäntöönpanossa.

Ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan useita eri toimia, jotka vaikuttavat myös toisiinsa. Lisäksi ilmasto- ja energiastrategian toimeenpanolla on dynaamisia vaikutuksia, joiden seurauksena nousee esiin sekä uusia ratkaisuja että esteitä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Näillä on edelleen erilaisia uusia, sekä myönteisiä että kielteisiä ympäristövaikutuksia. Taulukossa 7 on tunnistettu ilmastotavoitteiden saavuttamisen ympäristövaikutuksiin kohdistuvia vahvuuksia, mahdollisuuksia, heikkouksia ja uhkia.

Taulukko 7. Ilmastotavoitteiden saavuttamisen vahvuudet, mahdollisuudet, heikkoudet ja uhat ympäristövaikutuksiin liittyen.

Vahvuudet	<p>Ilmastotavoitteiden saavuttamisella on lähtökohtaisesti myönteisiä ympäristö- ja terveysvaikutuksia, kun ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ympäristöön saadaan samalla hillittyä.</p> <p>Siirtyminen kasvavassa määrin polttoon perustumattomaan energian tuotantoon vähentää ilmansaasteita ja niihin kytkeytyviä haitallisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia.</p> <p>Päästöjen vähentäminen suuntaamalla kulutusta ilmastokestäviin vaihtoehtoihin ja kohtuullistamalla kulutusta sekä energian ja materiaalin käyttöä tehostamalla vähentää suoraan myös muita tuotantoon kytkeytyviä ympäristövaikutuksia.</p>
Mahdollisuudet	<p>Ilmastotavoitteiden kiristyminen voi kiihdyttää päästöjä vähentävien teknologioiden kehittämistä ja kaupallistamista oletettua nopeammin, mikä synnyttää uutta osaamista ja taloudellisia mahdollisuuksia.</p> <p>Ilmasto- ja muiden ympäristövaikutusten vähentämisen synergiahyödyt voivat edesauttaa ilmastotavoitteiden saavuttamiseen tarvittavien ohjauskeinojen ja sääntelyn täytäntöönpanoa.</p>
Heikkoudet	<p>Ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää merkittäviä muutoksia tavoissa tuottaa ja kuluttaa energiaa ja materiaalia, mihin sisältyy huomattavaa rakentamista ja luonnonvarojen käyttöä. Kasvihuonekaasupäästöjä vähentävät keinot vaativat investointeja uusine luonnon-varapanoksineen, jotka osin myös lisäävät haitallisia ympäristövaikutuksia, kuten luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin, ilmaan ja maaperään sekä ihmisten elinoloihin ja viihtyvyyteen kohdistuvia vaikutuksia.</p> <p>Nykyiset arviointimenettelyt ja menetelmät eivät täysin kykene paneutumaan politiikka-alueiden alueiden välisiin johdonmukaisuuskysymyksiin kestävän kehityksen näkökulmasta. Myös vuorovaikutus eri sidosryhmien välillä on verrattain suppeaa.</p>
Uhat	<p>Ilmastotavoitteita ei välttämättä saavuteta, jos päästöjä vähentävien kehitteillä olevien teknologioiden kaupallistuminen tapahtuu arvioitua hitaammin, teknologioihin liittyvät haitalliset ympäristövaikutukset rajoittavat niiden käyttöönottoa oletettua enemmän tai niiden käyttöönottoon tarvittavia ohjauskeinoja ja sääntelyä ei saada pantua täytäntöön.</p> <p>Päästövähennysvaatimusten toteuttaminen nopeassa aikataulussa voi aiheuttaa polkuriippuvuutta ja muiden ympäristövaikutusten aliarvioimista, mikä voi hankaloittaa päästövähennysten toteutusmahdollisuuksia tulevaisuudessa.</p> <p>Ilmastotoimien toimeenpano voi lisätä alueellista eriarvoisuutta alueiden erilaisten resurssien ja elinkeinorakenteiden vuoksi.</p> <p>Ilman riittäviä tukitoimia merkittävät verouudistukset, kiellot ja rajoitukset voivat lisätä huolta toimien oikeudenmukaisesta kohdentumisesta ja hyväksyttävyydestä. Tämä voi lisätä poliittista polarisaatiota ja ilmastotoimien vastustusta.</p> <p>Toteutuvat päästövähennykset voivat jäädä oletettua pienemmiksi, jos niiden aikaansaamiseksi tarvittavia toimia ei koeta oikeudenmukaisiksi eikä niitä siksi toteuteta halutussa laajuudessa.</p>

Tunnistamalla ja ottamalla huomioon eri ympäristövaikutusten väliset kytkennät on mahdollista saavuttaa synergiahyötyjä haitallisia vaikutuksia vähennettäessä. Yleinen (globaali) taloudellinen kehitys sekä muun muassa energian eri tuotantotapoihin kohdistuva tukipolitiikka muuttuvat jatkuvasti. Talouteen ja teknologioihin liittyvä kehitys voi muuttua nopeastikin, mikä lisää vaikutusarvioiden epävarmuutta. Myös ilmastonmuutoksen vaikutusten voimistuminen voi vaikeuttaa hillintätoimien toteutusta esimerkiksi ekosysteemien heikentymisen myötä sekä erilaisten energian tai raaka-aineiden toimitusketjuihin kohdistuvien häiriöiden kautta, jotka voivat lisätä kustannuksia ja toimintaympäristön epävakautta.

Jokainen yksittäinen WEM- ja WAM-skenaarioiden laadinnassa tehty oletus voi käytännössä toteutua toisin. Tunnistettuja merkittävimpiä riskejä ilmastotavoitteiden saavuttamisen kannalta ovat hiilinieluihin, ydinvoimaan, uusiutuvan energian käytön lisäämiseen, hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin, energian käytön tehostumiseen ja vähentymiseen, ihmisten käyttäytymiseen ja kulutukseen sekä tarvittavien ohjauskeinojen ja sääntelyn täytäntöönpanoon liittyvät oletukset. Ennakoitujen (ja vielä ennakoimattomien) vaikutusten kehittymistä on olennaista seurata, jotta ymmärrettäisiin paremmin havaittua kehitystä ja tunnistettaisiin ne alueet, joilla on perusteltua muuttaa tai tarkentaa linjauksia. Tämä edellyttää johdonmukaista tiedon keruuta linjausten toimeenpanosta sekä seurausten säännöllistä arviointia.

Liite 1. SOVA-taulukot

Tässä liitteessä esitettyihin SOVA-taulukoihin on koottu keskeisimpiä päästövähennysteknologioita ja -ratkaisuja eri sektoreilta sekä esitetty mahdollisuuksien mukaan arvio toimien päästövähennyspotentiaalista (esim. t CO₂-ekv.) ja kustannuksista (€/t CO₂-ekv.) vuonna 2035 tai 2050. Taulukossa on lisäksi kuvattu kun-kin teknologian tai ratkaisun keskeinen käyttöönottohaaste, mahdollinen tai esitetty ohjauskeino teknologian tai ratkaisun käyttöönoton edistämiseksi, ajateltu vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntyemiselle sekä keskeisimmät mahdolliset ympäristövaikutukset, SOVAn mukaisesti sisältäen myös ihmisiin kohdistuvia vaikutuksia.

Taakanjakosektori: Liikenne

Taakanjakosektori: Liikenne				
Päästövähennysteknologia tai -ratkaisu, arvio päästövähennyspotentiaalista (esim. Mt CO ₂ -ekv./v) ja kustannuksista (€/t CO ₂ -ekv.)	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntyemiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset

<p>Uusiutuvien/biopolttoaineiden osuuden lisääminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Potentiaali: Biopolttoaineen osuuden lisäys 30 % (yhdistettynä parempaan polttomoottoriajoneuvojen tehokkuuteen) → 1,6 Mt CO₂ päästövähennys v. 2030 mennessä, ka. hinta 110 EUR/tCO₂ per 30 %:n sekoitusvelvoite.</p> <p>(Granskog ym. 2018¹²)</p> <p>Jakeluvelvoitteen kasvattaminen 34 prosenttiin tai jopa suuremmaksi, 0,21 MtCO₂ (Jääskeläinen 2021)</p>	<p>Kalliimpi hinta fossiilisiin verrattuna, raaka-aineiden saatavuus rajallinen</p>	<p>Sekoitusvelvoitteen nostaminen (yli jo päätetyn 30 %:n) → 35 % v. 2030) (Paloneva & Takamäki 2020).</p> <p>Jakeluvelvoitteen mahdollinen kohdentaminen tavaraliikenteeseen, jakeluvelvoitteen kannustavuuden lisääminen (esim. kehittyneiden biopoltto-aineiden lisävelvoite), tuotantotuki (Paloneva & Takamäki 2020).</p> <p>Verotuksen muuttaminen esim. polttoaineen CO₂-verotuksen tasot, kestävyyskriteerisäätely.</p> <p>RFNBO-polttoaineiden (muuta kuin biologista alkuperää olevat uusiutuvat nestemäiset ja kaasumaiset liikenteen polttoaineet, sis. sähköpolttoaineet) velvoite 2023 alkaen (HE 48/2021).</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden käyttö korvautuu biopolttoaineilla.</p> <p>Polttoaineen pumppuhinta nousee, ellei hinnan nousua ehkäistä verotuksen avulla.</p>	<p>Kasviuonekaasupäästöt fossiilisten polttoaineiden käytöstä vähenevät, ajosuoritteet saattavat vähentyä polttoaineen hinnan nousun myötä.</p> <p>Biopolttoaineiden raaka-aineiden hankinta ja jalostaminen aiheuttavat kasviuonekaasupäästöjä ja lisäävät paineita luonnon monimuotoisuudelle ja vesistökuormitukselle.</p> <p>Ympäristövaikutukset riippuvat voimakkaasti siitä, mihin raaka-aineisiin biopolttoaineiden tuotannon lisäys kohdistuu (Soimakallio ym. 2009).</p>
--	---	--	--	--

¹² Julkaisussa "Kustannustehokas tapa Suomelle vähentää päästöjä vuoteen 2030 mennessä" (Granskog ym. 2018) esitetään kuvaus hiilineutraalispolusta, joka mahdollistaisi 60 prosentin päästövähennykseen vuoteen 2030 mennessä kustannusoptimaalisella tavalla sekä siihen tarvittavat poliittiset päätökset (2019–2023) halutun tuloksen saavuttamiseksi. Raportissa kustannusneutraalit tai kustannusnegatiiviset päästövähennystoimenpiteet, jotka johtavat käyttöään nettokustannussäästöihin järjestelmätasolla, on kuvattu päästövähennysten marginaalikustannuskäyrällä (MACC), ja niiden vähennyspotentiaali arvioitiin jopa noin 50 prosenttia vuoden 1990 päästöistä. Arviointi perustuu yli 300 teknologian ja polttoainevaihdon liiketoimintatapauksen tarkasteluihin sekä sellaisiin peräkkäisiin teknologia- tai polttoainevaihdoiksi, jotka tarjoaisivat edullisimman tavan saavuttaa 60 prosentin päästövähennys. Erityisesti tehtyjen kustannusoletusten kannalta on tärkeää korostaa, että vaadittu polku koostuu johdonmukaisista toimista, jolloin yhden tärkeän toimen/askeleen pois jättäminen/jääminen voi tehdä toisen toteuttamisesta huomattavasti kalliimpaa (Granskog ym. 2018)

<p>Biokaasun käytön lisäys tieliikenteessä</p>	<p>Tuotannon kapasiteetin riittävyys (maatalous, ja muu biokaasun tuotanto), investointikustannukset/takaisinmaksuaika ja logistiikka/jakeluverkostot</p>	<p>Biokaasun jakelunelvoite vuodesta 2022 lähtien, 65 % vuonna 2030 (HE 48/2021). EU-lainsäädännön mukaan kaasun lisääminen jakelunelvoitteeseen edellyttää kaasun verottamista (Sipilä ym. 2020) ja biokaasulle tulee asettaa liikennekäytössä polttoainevero.</p>	<p>Maakaasun ja muiden fossiilisten polttoaineiden korvautuminen biokaasulla liikenteessä. Kasvava kysyntä nostaa kuluttajahintoja.</p>	<p>Liikenteen khk-päästöt vähenevät. Biokaasun tuotanto lannasta, mikäli yksiköt riittävän isoja, voi tuoda tuloja ja edistää kiertotaloutta (lannoitetuotokset). Ravinteiden ja orgaanisten aineiden kierrättäminen voi edistää maatalouden ja jätehuollon päästövähennyksiä. Vesistövaikutusten hallinta (rejektiovesien käsittely) ja häiriötilanteessa mahd. haitalliset kaasupäästöt (Latvala 2009). Voi vähentää LULUCF-sektorin päästöjä.</p>
--	---	---	---	--

<p>Sähkölaittoaineiden (P2X) osuuden lisäys; vety+hiilidioksidi</p> <p>Kaasumaisten ja nestemäisten fossiilisten polttoaineiden korvaus.</p> <p>Kustannusarvio: hiilen talteenotto ilmasta DAC(S)-teknologialla n. 100–300 US\$/tCO₂ (Fuss ym. 2018)</p>	<p>Taloudellinen skaalattavuus riippuvainen uusiutuvan sähkön hinnasta ja saatavuudesta → hyötysuhde, teknologian kypsyminen vasta 2030-luvulla kaupalliseksi. Edullisten CO₂-pistelähteiden riittävyys/DAC-teknologian hyödynnettävyys (Daiyan ym. 2020)</p>	<p>TKI-investoinnit, pilotit, tuotantotuet</p> <p>Jakeluvelvoitteen laajentaminen käsittämään myös sähkölaittoaineet (ns. RFNBO) 2021 alkaen (HE 48/2021).</p> <p>Kestävyysskriteerit (RED II) ja sertifiointivaatimukset, vaikuttavat sähkölaittoaineiden kilpailukykyyn ja käyttöönottoon markkinoilla. Vaikutuksia voidaan arvioida vasta vuonna 2022 lisäsäädösten julkistamisen jälkeen (Sipilä ym. 2020).</p>	<p>Sähkön avulla tuotettua vetyä (elektrolyysiteknologia) yhdistetään hiilidioksidiin, joka voidaan sitoa ilmasta tai esim. biomassan polton savukaasuista. Tuloksena saadaan synteettistä polttoainetta. Prosessi lisää merkittävästi sähkön kulutusta. (Daiyan ym. 2020)</p>	<p>Vähentää liikenteen päästöjä, koska polttoaineiden hiili ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Kokonaispäästövähennys riippuu voimakkaasti lisääntyneen sähkönkulutuksen vuoksi tarvittavan sähkön tuotannon päästöistä. Synteettiset polttoaineet tasaavat sähkön kulutuksen ja vaihtelevan tuotannon välistä eroa rajoitetusti. Teknologian kehittäminen ja onnistunut soveltaminen edistää liikenteen vähähiilistä siirtymää (mm. Daiyan ym. 2020). Jos tuotanto on kotimaista, mahdollinen teknologian/osaamisen vienti voi tuoda positiivisia työllisyys/talousvaikutuksia. P2X-teknologia voi mahdollistaa polttoaineiden ohella muidenkin hyödykkeiden tuotantoa (esim. ruoka, tekstiilikuidut). Sähkölaittoaineen kalleus voi aiheuttaa polttoainekustannusten nousua tai tuettuna valtion verokertymän alentumista (ks. yllä biopolttoaineiden edistäminen).</p>
---	--	---	--	---

<p>Sähkö- tai vetyautojen osuuden lisäys Potentiaali: Laajamittainen sähköisten ajoneuvojen käyttöönotto → 4,6 MtCO₂ päästövähennys 2030 mennessä, ka hinta: -90 EUR/tCO₂ (Granskog ym. 2018) Täyssähköautojen hankintatuen jatkaminen ja tukisumman korotus, 0,0001–0,001 Mt CO₂ (Jääskeläinen 2021) Uuden sähköakuston oletushinta-arvio 300 €/kWh. Akuston oletuspäästökerroin vaihtelee 56–200 kg CO₂-ekv./kWh. (Autokalkulaattori 2020)</p>	<p>Kalliimpi hinta perinteisiin polttomoottoriajoneuvoihin verrattuna. Epäilykset/oletukset/tiedon puute liittyen sähköautojen käytettävyyteen Suomen olosuhteissa sekä auton elinkaaren aikaisiin päästöihin liittyen. Akkujen kierrätys ja uudelleenkäyttö.</p>	<p>Täyssähköautojen autoedun ja käyttöedun verotusarvon alentaminen + sähköautojen latausedun määräaikainen verovapaus (VNK 2020/budjettiriihi). Fossiilisten polttoaineiden korkeampi verotus. Sähköauton hankintatuella ja henkilöautojen kaasu- tai etanolikäyttöisiksi muuntamiselle budjetoitu yht. 24 milj. € vuosina 2018–2021. (Traficom 2021a).</p>	<p>Teknologian kehitys ja tukevat veroratkaisut johtavat polttomoottoriautokannan korvautumiseen sähkö- ja/tai vetyautoilla.</p>	<p>Liikenteen khk-päästöjen väheneminen. Moottoreiden tuottamat pienhiukkaspäästöt ja melu vähenevät. Kokonaispäästövaikutukset riippuvat siitä, miten vety ja sähkö on tuotettu. Sähköautojen tuotanto aiheuttaa ympäristövaikutuksia, erityisesti tiettyjen metallikomponenttien (esim. koboltti) hankintaketjuissa on usein negatiivisia sosiaalisia vaikutuksia. Verotusratkaisut ja tuet määrittelevät sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia.</p>
<p>Liikennesuoritteiden vähentäminen/ vähentyminen</p>	<p>Kaavoitus, liikkumistottumukset, elämäntavat, arvot (LVM 2011)</p>	<p>Verotus, ruuhkamaksut, Etätyön/monipaikkaisen työn yleistymisen tukeminen</p>	<p>Liikennesuoritteiden, erit. yksityisautoilun väheneminen, mahdollinen korvautuminen joukkoliikenteellä, yhteiskäyttöautoilla/kimppakyydeillä, kävelyllä tai pyöräilyllä. Etätyökäytäntöjen yleistymisen voi vähentää tai lisätä energian kulutusta ja siihen liittyviä päästöjä.</p>	<p>Khk-päästöjen ja pienhiukkaspäästöjen väheneminen, kävelyn ja pyöräilyn lisääntyminen voi tuoda positiivisia terveysvaikutuksia. Kävelyn ja pyöräilyn lisääntyminen vähentää katupölyn määrää. (Lehtomäki ym. 2021)</p>

Biokaasun käytön lisääminen (mahdollinen kohdentaminen tavaraliikenteeseen) (HE 48/2021)	Jakeluinfrastruktuurin puuttuminen/ puutteellisuus, kestävän raaka-aineen rajallisuuden ja hinnan vuoksi ei laajassa mittakaavassa taloudellisesti kannattavaa. Puhdistamopohjaisten lannoitteiden hyväksyntä ja käytettävyys rajoittavat kokonais-kannattavuutta.	Biokaasun jakelun tavoite 65 % vuonna 2030 (Paloneva & Takamäki 2020). Biokaasulaitosten investointituet Kuntien ohjaus (jätehuolto, hankinnat) Kaasukäyttöisten rekkojen hankintatuki	Fossiilisten polttoaineiden korvautuminen biokaasulla, mahdollinen hinnan nousu (tuotannon riittävyys)	Liikenteen khk-päästöt vähenevät, ilmanlaatu paranee, raaka-aine (jäte/energiakasvit/nurmi) vaikuttaa tuotannossa syntyviin ympäristövaikutuksiin. Ravinnekierätykset/kiertotalous; Biokaasun tuotannossa syntyy energian lisäksi myös typpi- ja fosforipitoista mädätettä, jolla voidaan rajoitetusti korvata fossiilisten lannoitteiden käyttöä. (Horn ym. 2020)
Autokannan uudistumisen nopeuttaminen (Paloneva & Takamäki 2020) Liikennesähkön ja -kaasun julkisen jakeluinfrastruktuurin tuen jatkaminen ja korottaminen, 0,013–0,026 MtCO ₂ (Jääskeläinen 2021) taloyhtiöiden latausinfrastruktuurin jatkaminen ja korottaminen sekä laajentaminen kattamaan myös työpaikat, 0,11 MtCO ₂ , (ibid) EU:n henkilöautojen CO ₂ -raja-arvojen tiukentaminen 37,5 % → 40 %, 0,106 Mt CO ₂ (ibid)	Hinta, nykyinen verotus, asenteet ja tiedon puute	Verotuksen painopisteen muuttaminen hankinnasta vuosittaiseen autoveroon, romutuspalkkio, raskaan kaluston hankintatuet, työsuhteautojen veromuutokset (Paloneva & Takamäki 2020)	Vanhojen polttomootoriautojen korvautuminen uusilla vähäpäästöisillä hybridi- tai sähköautoilla ym.	Khk-päästöt vähenevät, jos ajoneuvojen kulutus tai päästöt vähenevät eikä liikennesuorite kasva merkittävästi. Ajoturvallisuus paranee. Lisää eriarvoisuutta, mikäli uusien autojen hinta ei laske riittävästi, eikä hankintaan ole saatavissa tukia. Autokannan uusiminen lisää uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä.
Kaupunkien kestävä liikennejärjestelmäkehitys (joukkoliikenne) (Paloneva & Takamäki 2020) → henkilöautosuoritteiden väheneminen taajamaliikenteessä	Kaavoitus ja maankäytön muutokset -pitkä aikajänne, kustannukset ja sitoutuminen	Maankäytön ohjaus (Paloneva & Takamäki 2020) Maankäyttö- ja rakennuslain uudistus (YM 2021)	Yleiskaavan/yhdyskuntarakenteen kehitys uusien joukkoliikenteen väylien rakentamiseksi ja alueiden täydennysrakentamiseksi olemassa olevan infrastruktuurin varaan.	Yhdyskuntarakenteen tiivistäminen ja sekoittunut maankäyttö voivat luoda paremmat edellytykset kevyen- ja joukkoliikenteen lisäämiselle (ja sitä kautta khk-

<p>Kestävän liikenteen edistäminen valtion ja kuntien yhteistyönä, 0,1 Mt CO₂ (Jääskeläinen 2021)</p>	<p>Reitit ja aikataulut eivät kohtaa tarpeita</p>		<p>Tiiviit asuinalueet voivat vähentää ajamista ja kasvattaa kevyen ja joukkoliikenteen matkojen määrää. (Ottelin ym. 2018)</p>	<p>vähennyksille), kun yhteiskunnan eri toiminnot on sijoitettu helposti saavutettavaksi kevyttä ja joukkoliikennettä yhdistellen. Yhdyskuntarakenteen tiivistäminen voi asettaa paineita viheralueille ja vaikeuttaa ilmastonmuutokseen sopeutumista, altistaa melulle ja ilmansaasteille.</p>
<p>Paikallisliikenteen palveluiden siirtyminen vähäpäästöiseen kalustoon (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Investointikustannukset, joukkoliikenteen käyttäjämäärän vähentyminen</p>	<p>Hankintatuki/ verohelpotukset</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla energialähteillä/sähköistäminen. Kysyntä-tarjonta -tasapainosta riippuen vaikutuksia lippujen hintoihin.</p>	<p>Khk- ja pienhiukkaspäästöjen väheneminen, ilmanlaadun paraneminen. Autojen vähentyessä liikenteen melu ja onnettomuusriski vähenee.</p>

<p>Joukkoliikenteen käyttäjämäärien & kevyen liikenteen matkojen lisääntyminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Tavoitteena lisätä kävely- ja pyöräilymatkojen määrää 30 % (450 miljoonaa enemmän) vuoteen 2030.</p> <p>Kustannukset 30 M€ 2019-2023. (LVM 2018)</p> <p>Kävelyn ja pyöräilyn investointiohjelman toteutuksen jatkaminen, 0,004–0,015 Mt CO₂ (Jääskeläinen 2021)</p> <p>Kaupunkiseutujen joukkoliikenteen valtionavustuksen korottaminen, 0,008 MtCO₂ (ibid).</p>	<p>Trendit, kustannukset, mukavuus-helppous, turvallisuus ja matka-aika/pituus;</p> <p>Liikenneköyhyys eli ilmiö, jossa ihmisellä ei ole mahdollisuutta liikkua päivittäisiä asiointimatkojaan kohtuullisella vaivalla, kohtuullisilla kustannuksilla ja kohtuullisessa ajassa (Tiikkaja ym. 2018).</p>	<p>Alueiden käytön suunnittelu. Joukkoliikenteen palvelutason jatkuva kehittäminen ml. joukkoliikenteen, jalankulun ja pyöräilyn edistämistoimet sekä liikenteen hinnoittelu. (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Esim. työsuhde-matkalipun verovapaan osuuden korotus (VNK 2020/budjettiä)</p> <p>Sähköpyörät</p>	<p>Kävely, pyöräily ja joukkoliikenne vähentävät päästöjä yksityisautoiluun verrattuna henkilökilometriä kohden. Kokonaisvaikutukset riippuvat mm. siitä, miten paljon yksityisautoilu vähenee ja kevyen liikenteen käyttäjämäärät lisääntyvät.</p> <p>Joukkoliikenteen kehittäminen vaivattommaksi ja kattavammaksi (verkostot, vaihdot, palvelut) voi kasvattaa käyttäjämääriä.</p>	<p>Ohjauskeinojen kokonaisuudesta riippuen (yksityisautoilun vähentäminen), voi eriarvoistaa alueita, joissa ei ole resursseja kattavalle joukkoliikenteelle tai se on kalliimpaa toteuttaa. Khk-päästöt ja melu vähenevät sekä liikenteen turvallisuus ja ympäristön viihtyisyys lisääntyvät. Kävelyn ja pyöräilyn lisääminen edistää terveyttä, fyysistä toimintakykyä ja hyvinvointia sekä tuo kansantaloudellisia säästöjä, kun liikunnan puutteesta johtuvia pitkäaikaissairauksia voidaan vähentää ja samalla välttää suoria ja epäsuoria kansantaloudellisia kustannuksia, mm. sairaanhoitomenoja, tuottavuuden laskua ja ennenaikaisia kuolemantapauksia (viitattu LVM 2018)</p> <p>Kävelyn lisääminen 20 prosentilla Suomessa tuottaisi yht. 3,3 miljardin euron ja pyöräilyn lisääminen 1,1 miljardin euron arvosta terveyshyötyjä (LVM 2018).</p>
---	---	--	---	--

<p>Kestävät liikenteen palvelut ja digitalisaatio (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Sähköistäminen, digitalisaatio ja robotisaatio liikennejärjestelmän kehittämisessä</p> <p>Logistiikan digitalisaatiostrategian toimeenpano, 0,09–0,24 MtCO₂ (Jääskeläinen 2021)</p>	<p>Kustannukset, saatavuus alueittain</p>	<p>Investoinnit ja TKI-rahoitus (mm. älykäs infra, staattinen ja dynaaminen tieto, analytiikka, tiedon siirto), hinnoittelu, kannusteet verotus, maankäyttö, julkiset hankinnat.</p> <p>Tieto-ohjaus luotettavalla päästöraportoinnilla (esimerkiksi standardit).</p> <p>Liikkumista korvaavien etäteknologioiden käytön edistäminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Digitalisaatio voi pienentää päästöjä mm. parantuneen logistiikan, tavaroiden seurattavuuden tai kiertotalouden mahdollistamisen kautta.</p> <p>Digitalisaatio liikennesektorilla vähentää päästöjä (Leviäkangas 2016)</p> <p>Edistää tiedonkulkua kunnossapito- ja korjaustoimissa.</p>	<p>Mikäli luonnonvarojen käyttö vähentyy/tehostuu digitalisaation seurauksena, ympäristövaikutukset vähenevät.</p> <p>Älyliikenne, telematiikkajärjestelmät tienvarsitiedotukset, keli- ja ruuhkavaroitukset, vaihtuvat nopeusrajoitukset sekä verkollinen ohjaus voivat sujuvoittaa liikennettä ja häiriöiden hallintaa, vähentää liikenteen viivettä ja ruuhkautumista ja siten vähentää energian/polttoaineen kulutusta sekä khk-päästöjä ja parantaa tieturvallisuutta (Väylävirasto 2019).</p>
--	---	---	---	---

<p>Rataverkon sähköistäminen (sähkö käyttövoimana) ja tavaraliikenteen polttoainevaihdokset (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Hankkeesta riippuen CO₂-päästöjen vähennys-potentiaali 0–8714 t/v. Kustannukset noin 2–110 milj. € (Väylävirasto 2019).</p>	<p>Kustannukset</p>	<p>Sähköveron alentaminen</p> <p>Täsmäinvestoinnit (400 milj. €) sekä raideliikenteen markkinaosuuden kasvattaminen mittavilla ratahankkeilla (5–10 mrd. €) (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Rataverkon sähköistäminen asiakasliikenteen osalta ja tavaraliikenteessä, fossiilisten polttoaineiden korvaus (diesel ym.) uusiutuvilla/vähäpäästöisillä polttoaineilla.</p>	<p>Sähköistäminen voi pienentää (raide)liikenteen khk-päästöjä ja pienhiukkaspäästöjä, mutta kokonaisvaikutus riippuu sähkön tuotantoon käytetystä energiamuodosta ja sen päästöistä. Mahdollisia positiivisia vaikutuksia meluhaittoihin. Liikenteen sujuvuuden parantuminen voi tuottaa positiivisia taloudellisia vaikutuksia. Energiankulutusta ja päästöjä vähentävät sähköistyshankkeet eivät välttämättä ole yhteiskuntataloudellisesti kannattavia. Sähkön polttoainekustannukset noin kolmasosa dieseliin verrattuna. (Väylävirasto 2019)</p>
--	---------------------	--	---	--

<p>Energiatehokkaampi ajo & High Capacity Transport (HCT)-ajoneuvojen käyttö (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Jos HCT-ajoneuvojen käyttö ilman poikkeuslupia sallitaan, raskaan tieliikenteen ajoneuvosuoritteiden arvioidaan vähenevän max 9 %. Tilavuusperusteisten HCT-kuljetusten salliminen (ajoneuvoyhdistelmän pituuden kasvattaminen) mahdollistaa noin puolet potentiaalisesta ajoneuvo-suoritteiden vähentämisestä (Lapp & Ikkänen 2017).</p> <p>Massaperusteisissa kuljetuksissa säästöpotentiaali keskimäärin 5 % ja tilavuusperusteisissa kuljetuksissa 20 %. Päästöt vähenevät 77 000 t/v (Lapp & Ikkänen 2017)</p> <p>Tiekuljetusten massojen ja mittojen täysimääräinen hyödyntäminen, 0,06 Mt CO₂ (Jääskeläinen ym. 2021)</p>	<p>Kustannukset, tieverkon rajoitteet raskaan liikenteen käytölle (mm. teiden kantavuus)</p> <p>HCT-ajoneuvojen käyttöönotto nähdään kannattavaksi lähes kaikissa kuljetuksissa, joissa toimituserät ovat riittävän suuria, ajoneuvoja voidaan käyttää ilman infrastruktuurin asettamia rajoitteita, ja lastaaminen ja purku eivät merkittävästi vaikeudu tai hidastu (Lapp & Ikkänen 2017).</p>	<p>Tieinfran pullonkaulojen poisto/investoinnit, ajoneuvoteknologian/ kaluston päivittäminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Polttoaineen käytön väheneminen ja taloudellisempi ajo</p>	<p>Khk-päästöjen väheneminen ja kustannussäästöt mm. konttien kuljetuksessa, kappaletavaraliikenteessä, metsäteollisuuden tuotteiden ja elintarvikkeiden kuljetuksessa. Tieliikenteen aiheuttamat onnettomuudet vähenevät. HCT-ajoneuvot parantavat tiekuljetusten kilpailukykyä vähäpäästöisempiin rautatiekuljetuksiin nähden. (Lapp & Ikkänen 2017)</p> <p>Huonokuntoiset päällysteet, lumi ja loska lisäävät etenkin raskaan ajoneuvokaluston vierintävastusta ja polttoaineen kulutusta (Väylävirasto 2019).</p>
<p>Sisävesiliikenteen edistäminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Vesiväylien syventäminen mahdollistaisi suurempien alustyyppien käyttämisen ja CO₂-päästöjen vähentämisen (Väylävirasto 2019).</p>	<p>Kustannukset (esimerkkilaskelmia saatavissa Väylävirasto 2019), vaikutukset kuljetusketjuun</p>	<p>Investoinnit Saimaan kanavaan (94 milj. €) sisävesiliikenteen markkinaosuuden kasvattamiseksi (VM budjettiesitys vuodelle 2021)</p>	<p>Saimaan kanavan sulkujen pidentäminen mahdollistaa suurempien alusten käytön. Myös kanavan aukioloa voidaan pidentää jopa ympärivuotiseksi.</p>	<p>Kanavan kunnostus mahdollistaa tavaraliikenteen tehostamista ja rakennustyö lisää työllisyyttä (YLE (2021) arvio noin 1100–1200 henkilötyövuotta)</p>

<p>Tieverkon kunnon ja kunnossapidon kehittäminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Tienpinnan (karheus, lumisuus) vaikutus kokonaispäästöihin noin 0–5 % (Väylävirasto 2019). Karkean ja suuntaa antavan laskelman perusteella koko maassa päällysteiden pinta-karkeuksien pienentä-misellä saavutettavaa säästöpotentiaalia olisi polttoainekustannuksina noin 22 M€ vuodessa ja hiilidioksidipäästöinä noin 0,140 Mt CO₂ (Liikennevirasto 1/2020)</p> <p>Väylien kunnossapidon parantaminen, 0,004 Mt CO₂ (Jääskeläinen 2021)</p>	<p>Kustannukset</p>	<p>Investoinnit, verot, ruuhkamaksut, tiemaksut</p>	<p>Ilmastonmuutoksen vaikutukset, mm. yleistyvät ääri-ilmiöt, voivat lisätä teiden kulumista (routavauriot, eroosio) ja riskejä (myrskytuhot), mikä kasvattaa hoitotoimenpiteiden tarvetta (liukkauden torjunta, hulevedet).</p>	<p>Teiden kunnossapidolla on vaikutuksia mm. pohjavesien valumiin ja tieturvallisuuteen vaihtelevissa ilmasto-oloissa. Ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat kasvattaa kustannuksia teiden ylläpidossa johtuen mm. ääri-ilmiöiden haittavaikutuksista (Tuomenvirta ym. 2018). Toimenpiteet vaativat raaka-aineita ja energiaa sekä aiheuttavat osaltaan päästöjä. Huonokuntoiset päällysteet, lumi ja loska lisäävät etenkin raskaan ajoneuvokaluston vierintävastusta ja polttoaineen kulutusta (Väylävirasto 2019).</p>
<p>Kaupunkiseutujen joukkoliikenteen raideinvestoinnit (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Kustannukset</p>	<p>Valtion investoinnit, ruuhkamaksu, verot, ratamaksujen korotus</p>	<p>Joukkoliikenneyhteyksien parantamisella voidaan vähentää henkilöautosuoritteita.</p>	<p>Sähköistyminen raideliikenteessä ja sen verkoston kattavuus vähentää päästöjä erityisesti taajamaliikenteestä (henkilöauto, fossiiliset polttoaineet). Pienhiukkaspäästöt, melu ja ruuhkat voivat vähentyä.</p>

<p>Liikkumispalvelut (Mobility as a Service, MAAS) Kutsuliikenne, autonominen liikenne Liikenteen uudet palvelut voivat vähentää päästöjä 0,06–0,12 MtCO₂ vuonna 2030 tai jopa 0,3 MtCO₂, jos palvelut tuotetaan kokonaan sähköautoilla (Jääskeläinen 2021)</p>	<p>Jalkauttaminen, kannattavuus,</p>	<p>Tuet, PPP (public-private partnerships) -liiketoimintamallit</p>	<p>Uudenlaiset liikkumisen konseptit (yhteiskäyttöautot, autonvuokraus, kaupunkipyörät) voivat vähentää yksityisautoilua.</p>	<p>Voi vähentää päästöjä, materiaalin kulutusta ja tilan tarvetta, mikäli MAAS vähentää omistamiseen perustuvaa yksityisautoilua, jolloin liikkuminen jakaantuu joukkoliikenteen ja uusien liikkumismuotojen välille. Yksityisautoilun suhteellisella vähentymisellä voi olla myönteisiä vaikutuksia myös ilmanlaatuun ja ihmisten terveyteen. (Kramers ym. 2018) Kokonaiskäyttäjämäärän vähäisyyden vuoksi liikenteen uusien palveluiden vaikutus ilmastopäästöihin on suhteellisen pieni ja palvelut keskittyvät keskisuuriin ja suurin kaupunkeihin. Keskitäyttö- ja ajoneuvotehokkuus vaikuttavat saavutettuihin hyötyihin ja matkasuoritusten ja energian kulutuksen todelliseen vähenemiseen ja päästövähennyksiin. Vaatii tuekseen taloudellisia kannustimia ja/tai tukia, minkä vuoksi skaalattavuus on toistaiseksi pientä. (Sihvola ym. 2021)</p>
---	--------------------------------------	---	---	---

Taakanjakosektori: Maatalous

Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Viljelyteknologiat –maatalouden kestävä tehostaminen (Paloneva & Takamäki 2020) Orgaanisen maaperän käsittelyn parempi hallinta	Kannusteiden sekä tiedon ja osaamisen puute	Taloudelliset kannustimet, kouluttaminen	Kerääjäkasvien ja palkokasvien viljelyalaa ja nurmien biomassan määrää lisätään, täsmäviljely	Uudistava viljely, joka lisää orgaanisen aineen määrää maaperässä, parantaa multavuutta ja rakennetta sekä edistää hiilen sidontaa. Täsmäviljelyn avulla voidaan optimoida ravinteiden käyttöä, joka pienentää ravinnehuuhtoumaa.
Lannankäsittelyteknologiat - ravinteiden hyödyntämisen tehostaminen	Kannusteiden sekä tiedon ja osaamisen puute	Taloudelliset kannustimet, kouluttaminen, TKI	Ravinteet hyödynnetään tarkemmin ja laajemmalla alueella, jolloin ravinnekierto tehostuu	Ehkäisee vesistöjen rehevöitymistä.
Biokaasulaitosinvestoinnit (Paloneva & Takamäki 2020)	Investointikustannukset/ kustannustehokkuus Maatilojen osalta verkostojen luomisen haasteet ja kumppanuuksien puute/ tilojen etäisyydet (EC 2018)	Tuet, neuvonta, liiketoimintamalli- verkostokehitys. Kiertotalouden edistäminen	Biopohjaisten materiaali- ja resurssikiertojen hyödyntäminen. Vähentää pellonraivausta.	Biokaasulaitokset ja/tai niiden verkostot vähentävät fossiilisten polttoaineiden kulutusta tiloilla ja edistää tilojen energiaomavaraisuutta sekä vähentää päästöjä. Biokaasun tuotannolla voidaan osaltaan tyydyttää muiden sektorien, erityisesti liikenteen, vähäpäästöisen energian tarvetta.

<p>Maatalouden tuottavuuden kehittäminen/tehostuminen (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Teknologiat, tieto-taito, kustannukset, tukijärjestelmä (peltoalasta maksettava tuki) (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Kasvin- ja kotieläinjalostuksen ohjelmat sekä tuotantoteknologian ja maatilojen johtamisen kehittäminen. Tutkimus ja neuvonta, maataloustukien muokkaus (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Tuottavuuden parantaminen vapauttaa peltoalaa viljelystä esim. ennallistamiseen tai metsitykseen (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Pienempi peltoala tuottaa vähemmän päästöjä ja ravinnehuuhtoutumia, ja mikäli yksikkökohtainen tuottavuus paranee, ruoantuotanto pysyy ennallaan. Mahdolliset tuen menetykset voivat johtaa kannattamattomuuteen, ellei tukien kohdistusta arvioida uudelleen. Tehostuminen voi vähentää tai kasvattaa ilmastovaikutuksia tuotantoa kohden, vertailutilanteesta riippuen. Tehostuminen voi myös johtaa maantuottavuuden heikentymiseen ja vähentää maatalousluonnon monimuotoisuutta.</p>
<p>Karjankasvatuksen metaani-päästöjen alentaminen mm. ruokintaa muuttamalla (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Mahdolliset kustannukset ja tiedon jalkauttaminen (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Tutkimus ja neuvonta/ informaatio-ohjaus (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Rehun vaihdokset hyvin sulavaan säilörehuun (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Khk-päästöjen (CH₄) väheneminen, muut mahdolliset ruokintarehun korvaamisesta (esim. lisäravinteilla) syntyvät päästövähennykset. (Grossi ym. 2019)</p>

<p>Kuluttajien ruokavalion muutos kasvispainotteisemmaksi (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>tottumukset, arvot, elinkeino/tukien väheneminen CAP/LFA (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>hintaohjaus/verot, informaatio-ohjaus (terveys), julkisen sektorin hankinnat (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Eläintuotteiden kulutuksen vähentäminen, pienentää tarvittavaa peltoalaa (ja nopeuttaa maatalouden rakennemuutosta). Eläinproteiinin tuottaminen aiheuttaa valtaosan ruoantuotannon kasvihuonekaasupäästöistä, ja se on tehottomaa verrattuna ravitsemuksellisesti vastaavan kasviproteiiniin tuottamiseen. (Poore & Nemecek 2018)</p>	<p>Khk-päästöjen (CO₂ & CH₄) väheneminen, positiivisia vesistö- (ravinnehuuhtoumat) ja terveysvaikutuksia, maatalouden tuottajakatteen mahdollinen heikentyminen (kasvispohjaiset tuotteet); vaikutukset Suomessa riippuvat siitä, miten tuotanto reagoi kulutuksessa tapahtuvaan rakennemuutokseen. Toteutuessaan tuotantorakenteen muutos saattaa lisätä alueellista eriarvoisuutta. Voi olla vaikutuksia ruuan tuotannon omavaraisuusasteeseen, tuontiin ja vientiin.</p>
<p>Kotieläintuotteiden (maito- ja lihatuotteiden) käytön vähentyminen (Koljonen ym. 2020) Naudanlihan kulutus laskemassa noin 20 % 85 miljoonaan kilogrammaan vuoteen 2035 mennessä. Tuotannon oletetaan vähenevän 10 % 77 Mkg:aan (Lehtonen ym. 2020).</p>	<p>Tottumukset, arvot, tukien väheneminen CAP/LFA, omavaraisuustavoitteet (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Hintaohjaus (esim. hiiliveron kautta; hinnat nousevat, laatu paranee), informaatio-ohjaus (ravitsemussuosituksiset), CAP-tuotantosidonnaiset tuet ja kansalliset tuotantosidonnaiset tuet lakkaavat asteittain kokonaan vuosina 2021–2045 (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Kysynnän pienentyminen (ja kasvavat hiilensidonnain vaatimukset) + tukien lakkaaminen saattavat johtaa tuotannon/viljelyn loppumiseen pientiloilla</p>	<p>Kuin yllä. Mikäli tuotanto/viljelymenetelmien kehitys ja tarkkuus paranevat, myös jäljelle jäävän kotieläintuotannon päästöjä voidaan paremmin hallita.</p>

<p>Nautakarjan määrän vähentyminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Tuet ja kysyntä</p>	<p>Muutokset tuissa</p>	<p>Nautakarjan määrä vähenee, rehuntuotanto pienenee. Karjankasvatus vie enemmän resursseja (energia, vesi, lannoitteet, peltopinta-ala) tuotettua yksikköä kohti, rehuntuotannon väheneminen vaikuttaa päinvastaisesti ja vapauttaa peltoalaa.</p>	<p>Karjankasvatukseen liittyvät CH₄-päästöt vähentyvät, samoin ravinnepäästöt ja vesistövaikutukset pienenevät rehuntuotannon vähentyessä. Voi vähentää metsäkatoa lannanlevitysalan tarpeen vähentyessä. Siipikarjan tuotanto ja sikatalous saattavat lisääntyä, samoin naudanlihan tuonti. Ympäristövaikutukset riippuvat siitä, miten kysyntä muuttuu kotimaisen tuotannon supistuessa.</p>
<p>Biokaasun tuotanto maatilalla (Paloneva & Takamäki 2020) ml. oljen energiakäyttö, energiakasvit ja ravinnekierto (Koljonen ym. 2020)</p>	<p>Kustannukset, laitos vaatii tilojen verkoston/suurtila, pienet ja syrjäiset tilat haastavia; suurilla tiloilla tal. etu uusien teknologioiden ym käyttöönottoon (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Investointituet ja ohjaus (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Biokaasun tuotanto voi edistää maatilojen energiaomavaraisuutta ja irtikytkentää fossiilisista polttoaineista</p>	<p>Vähentää khk-päästöjä ja ravinteiden huuhtoumaa mikäli myös biokaasun rejektiovesien hallinta on kunnossa, mahdollistaa ravinteiden kierrätyksen mikä voi vähentää lannoitteiden tarvetta ja edistää kiertotaloutta. (Horn ym. 2020)</p>

<p>Aurinkoenergian tuotanto maatilalla (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>kustannukset, tuotannon kausivaihtelut</p>	<p>Uudet ohjaukset ja lisätuet (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Tukee irtikykentää fossiilisista polttoaineista, edistää tilan energiaomavaraisuutta, erityisesti jos voidaan yhdistää energiavarastoon</p>	<p>Korvatesaan fossiilisia polttoaineita vähentää ilmastovaikutuksia, ei vähennä talviajan kulutushuippujen tuotantotarvetta, kokonaispäästövaikutukset riippuvat muun tuotannon kehittämisestä. Eri PV-tekniikoihin ja erilaisten aurinkopaneelien tuotantoon voi liittyä myös negatiivisia ympäristövaikutuksia (toksiset kemikaalit, syttyvät materiaalit), lisäksi elinkaariset (mm. logistiikka, asennus, purku, hävitys) päästöt riippuen käytetystä energian lähteestä. (Rabaia ym. 2020)</p>
---	---	---	--	--

Taakanjakosektori: Rakennusteollisuus

Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
<p>Energiatohokkuusremontit: (esim. uudet ikkunat ja ovet, lisäeristykset ala- ja yläpohjaan)</p> <p>Energiaremontit: kaukolämmöstä maalämpöön, ilmalämpöpumput (Matkailu- ja ravitsemuspalvelut) (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Investointikustannukset</p>	<p>ESCO-palvelu, (Paloneva & Takamäki 2020) verot/tuet</p>	<p>Energian/lämmitysjärjestelmän vaihdokset ja energiatohokkuusinvestoinnit maksavat oikein toteutettuna itsensä takaisin pienempänä kulutuksena ja päästöinä.</p>	<p>Pienemmät khk-päästöt, mahdolliset positiiviset vaikutukset sisäilmaan, tukee energiaomavaraisuutta. Järjestelmätason vaikutukset kaukolämmöstä lämpöpumppuihin siirryttäessä riippuvat energiajärjestelmän kehityksestä ja saattavat myös vaikuttaa siihen sähkön ja lämmön tuotantotarpeiden muuttuessa (Soimakallio ym. 2011).</p>

Hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö CCU (Paloneva & Takamäki 2020)	Kustannukset, hiilidioksidin pistelähteiden ja infrastruktuurin riittävyys		CCU:n avulla voidaan vähentää mm. metalli-, metsä-, sementti-, ja kemianteollisuuden päästöjä erottamalla prosesseissa vapautuvaa hiilidioksidia ja jatkojalostamalla siitä P2X-tekniologialla esim. synteettisiä polttoaineita, proteiineja tai materiaaleja (Ruokamo ym. 2020).	Vedyn tuotantoon kuluvaan sähkön ominaispäästöt määrittävät oleellisesti elinkaarisen ilmastovaikutuksen. Hiilidioksidin talteenottoon perustuvat menetelmät edellyttävät hiilidioksidilähteiden olemassaoloa ja vähähiilinen siirtymä taas saattaa pyrkiä niiden vähentämiseen. Tämä voi tarkoittaa sitä, että hiilidioksidin talteenottoa on tehtävä ilmasta tai vedestä, mikä voi kasvattaa CCU:n kustannuksia ja sähkön tarvetta (DAC-tekniologia) sekä lisätä puhtaan veden käyttöä.
Yrityksen/yksikön fossiilisen (sähkö/öljy) erillislämmityksen korvaaminen lämpöpumpuilla (Paloneva & Takamäki 2020) Potentiaali: Öljylämmityksen korvaaminen asuinrakennuksissa → 0,9 MtCO ₂ päästövähennys 2030 mennessä, hinta: -15 €/tCO ₂ Öljylämmityksen vaihto yrityksissä ja julkisissa rakennuksissa → 1,2 MtCO ₂ päästövähennys 2030, hinta: -100 ~ 40 €/tCO ₂ . (Granskog ym. 2018)	Investointikustannukset erityisesti vanhoihin taloihin/joiden asumiselinkeeri päätymässä.	Lämpöpumppujen siirtäminen sähköveroluokkaan II, investointituet (VNK 2020) Kotitalousvähennykset	Sähkölämmityksen vaihtaminen lämpöpumppuun vähentää rakennusten vuotuista sähkönkulutusta. Öljylämmityksen vaihtaminen lämpöpumppuun vähentää rakennuskohtaista lämmitysenergian käyttöä.	Khk-päästöt ja haitalliset pienhiukkaspäästöt pienenevät energiankulutuksen vähentyessä (suoran sähkön korvaaminen). Öljylämmityksen korvaaminen lämpöpumpuilla vähentää öljyn polttamisesta syntyviä khk- ja pienhiukkaspäästöjä, mutta lisää sähkön kulutusta ja sähkön tuotannon päästöjä (ilmastovaikutus riippuu sähköjärjestelmän kehityksestä). Energiakustannukset pienenevät.

Yrityksen polttoainevaihdos: Fossiilisen erillislämmityksen korvaaminen biomassalla/kaasulla (Paloneva & Takamäki 2020)	Kysyntä/tarjonta -kustannukset	Vähähiilisyysääntely (julkiset hankinnat) (Paloneva & Takamäki 2020)	Lämmitysenergian vaihto voi nostaa hintoja ja lisätä paineita kestävän biomassan käytölle/riittävyydelle	Rakennusten energian kulutuksen kkh-päästöt vähenevät. Elinkaariset ympäristövaikutukset riippuvat hyvin voimakkaasti bioenergian raaka-aineesta ja sen käyttöön liittyvistä vaikutuksista (Soimakallio ym. 2009).
Yrityksen oma puhdas sähkön tuotanto; pientuulivoima (alle 50kWh) (Paloneva & Takamäki 2020)	Investointikustannukset	Pientuotannon alaraja/verosääntely	Voi edistää energiaomavaraisuutta ja tuotannon hajautusta, voi myös edistää vähäpäästöisen sähkön tuottamista valtakunnan verkkoon.	Korvattaessaan muuta sähkön tuotantoa ilmastopäästöt voivat vähentyä ja energiaomavaraisuus voi parantaa yrityksen kilpailukykyä.
Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmissä (Paloneva & Takamäki 2020)	Energian tuotannon ja -jakelun eriyttäminen ei toteudu kaukolämmössä, vähentää kilpailu ja hukkalämmön täyden potentiaalin hyödyntämistä; haasteet hukkalämmön lähteiden tunnistamisessa ja sijainnissa kulutukseen nähden	Teollisten symbioosien vahvistaminen toimintaympäristön kehittämisellä (lupaprosessit, jätelaki, tuet, rahoitus) (Arponen 2014); hukkalämmön lähteiden huolellinen kartoitus	Hukkalämmöllä korvataan fossiilisia polttoaineita.	Lisää resurssitehokkuutta ja vähentää ilmastopäästöjä energiankäytön tehostumisen myötä. Voi myös parantaa tuotannon kustannustehokkuutta. Hankala sijainti kulutukseen nähden voi kasvattaa hyödyntämisen kustannukset suhteellisen korkeiksi.
Merivesi/ muut lämpövarastot osana kaukolämpöä (myös jäädytys)	Investointikustannukset, aikajänne, mahdollisia vain suurimmissa asutuskeskuksissa	Valtion investointituet, muu rahoitus,	Lämpövarastot tuovat joustavuutta kaukolämpöjärjestelmään ja voivat laskea kustannuksia pitkällä tähtäimellä	Rakentamisesta aiheutuvat ympäristövaikutukset, korvattaessaan fossiilisia polttoaineita vähentävät kkh-päästöt ja tuovat käytön aikaisia kustannushyötyjä.

Energiankäytön ja päästöjen vähentäminen kohdennettujen energiatehokkuustoimien ja rakennusmateriaalivalintojen avulla rakennusteollisuudessa (Paloneva & Takamäki 2020)	Kustannukset, korjaus- rakentamisen koulutus/ osaaminen	Korjausrakentamisen strategia, maankäyttö ja kaavoituskäytäntöjen muutos (Paloneva & Takamäki 2020)	Korjausrakentaminen voi lisätä energiatehokkuutta, mutta korjausrakentaminen voi myös lisätä materiaalien käyttöä (esim. purkurakentaminen) ja siten päästöjä.	Energiatehokkuuden parantuminen vähentää päästöjä ja käytön aikaisia kustannuksia ja voi vaikuttaa myönteisesti sisäilmaan.
Resurssi/tilatehokkuus -yhteiskäyttötilojen lisääminen	Tottumukset, informaation puute, hallinnolliset esteet, tekniset esteet	Maankäyttö ja kaavoitus /informaatio-ohjaus, verotus tai päästömaksut energia- ja materiaalikustannusten nostamiseksi	Uudisrakentaminen vähenee, samoin lämmitettävien tilojen määrä ja siihen tarvittava energiankulutus, neitseellisten materiaalien käyttö vähenee.	Neitseellisten materiaalien ja energian tuotantoon liittyvät haitalliset ympäristövaikutukset vähentyvät. Hyvinvointivaikutukset voivat olla erilaisia eri ihmisryhmissä.
Omavarainen (kiinteistö tms. kohtainen) uusiutuvan energian yhteisö (Paloneva & Takamäki 2020)	Kustannukset ja sitoutuminen, ns. helpous		Vähentää riippuvuutta fossiilisesta ostoenergiasta, lisää energiaomavaraisuutta ja energiaturvallisuutta / tuotantovaihtelujen tasaaminen	Ilmastovaikutus riippuu siitä, mitä tuotantoa lisätään ja mitä sen seurauksena vähentyy. Vaikutusten luonne ja suunta riippuvat mm. huipputehon tuotannon toteutuksesta. Kiinteistökohtainen uusiutuvan energian tuotanto (ml. mahdollisuus myydä sähköä verkkoon) parantaa omavaraisuutta ja voi tuoda lisätuloja ja tasoittaa energiahintojen nousupaineita. Voi myös olla haavoittuvainen huoltovarmuuden suhteen, toteutuksesta riippuen.

Taakanjakosektori: Rakennusten erillislämmitys

Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
<p>Digitalisaatio esim. lämmitysjärjestelmien säädössä ja ohjauksessa: älykäs sähköjärjestelmä (älyverkko), älykkäät termostaatit ja mittarit.</p> <p>Uusien erillisten pientalojen ohjaus, vapaaehtoinen velvoite uudisrakennuksille.</p> <p>Energiaa säästyisi vuonna 2030 3,6–6 GWh ja päästövähennys n. 600– 800 t CO₂</p> <p>Ohjauksen nettokustannus 2030 10–20 milj. eli noin 21 500 €/t CO₂. (Kangas ym. 2019).</p>	<p>Kustannukset</p>	<p>Vaatimukset ohjausjärjestelmien käyttöönotolle, tehoerusteinen sähkömaksu, jossa kuluttaja maksaa aiheuttamistaan kulutuspiikeistä (tarjolla jo muutamilla sähköyhtiöillä).</p> <p>Kotitalousvähennys, energia-avustus:100 milj. €: 20 milj.€ vuodelle 2020 ja 40 milj. €/vuosi 2021–2022 (VA 1341/2019).</p>	<p>Lämpötilan älykäs ohjaus esim. huonekohtaisesti käyttötarpeen- ja tarkoituksen mukaan vähentää energiankulutusta sekä energiantuotannon päästöjä ja kustannuksia. Käyttöveden tai rakennuksen lämmitys kun sähköä on edullisesti saatavilla (kulutusjousto) vähentää kustannuksia ja tasaa sähkön kysyntää. (Kangas ym. 2019).</p>	<p>Uudet laitteistot aiheuttavat materiaalintuotannon osalta luonnonvarojen kulutusta ja päästöjä, mutta kokonaisuudessa khk-päästöt vähenevät ja kustannukset laskevat korkeapäästöisen varavoiman tarpeen vähenemisen ja tehopiikkien leikkaamisen myötä. Terveysten ja sosiaalisen hyvinvoinnin edistäminen käyttömukavuuden lisääntyessä ja sisäilmaongelmien ehkäisy. (Kangas ym. 2019).</p>
<p>Älykkäät automaatio- ja ohjausjärjestelmät, IoT-ratkaisut ja virtuaalivoimalaitokset (Virtual Power Plant, VPP) (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Virtuaalivoimalaitos on tekninen järjestelmä, joka voi lisätä tai vähentää tuotantoaan markkinatilanteen tai ennusteen mukaan.</p>		<p>Investointituet</p>	<p>Hajautettu energiantuotanto, energiavarastot ja reaaliaikaisen kysyntäjoukon piirissä olevat kuormat kuten rakennukset, ilmanvaihtokoneet ja lämminvesivaraajat) voidaan aggregoida energiemarkkinoille ja ohjata VPP:n avulla (Piira 2020)</p>	<p>Kuten yllä.</p>

<p>Puun pienpolton polttotapojen parantaminen</p>	<p>Tavat, tottumukset, arvot</p>	<p>Informaatio-ohjaus sekä puukiukaiden päästöjen rajoittaminen, sääntely</p>	<p>Roskien ja määrän puun ym. polton vähentyminen, puhtaamman (puun) pienpolton edistäminen ja uudet/ tarkistetut kiukaat/ pienhiukkassuodattimet (Savolahti 2020).</p>	<p>Mustan hiilen päästöjen ja terveydelle vaarallisten pienhiukkaspäästöjen väheneminen (Savolahti 2020).</p>
<p>Puun pienpolton vähentäminen/ korvaaminen</p>	<p>Kuin yllä, kustannukset</p>	<p>Informaatio-ohjaus, taloudellinen ohjaus,</p>	<p>Puun pienpoltto korvautuu muilla lämmitystavoilla (esim. sähkölämmitys, lämpö-pumput) tai rakennusten energiatehokkuutta parantamalla, puun pienpoltto energiaksi vähenee, sähkönkulutus voi lisääntyä.</p>	<p>Mustan hiilen päästöjen ja terveydelle vaarallisten pienhiukkaspäästöjen väheneminen, mahdolliset vaikutukset hiilinieluun, jos puunpoltto vähenee kokonaisuudessaan (Savolahti 2020). Mustan hiilen alueellinen ilmastovaikutus (GWP) voi olla merkittävä ja heikentää erityisesti lumipeitteestä syntyvää, viilentävää albedo-vaikutusta. Sähköntuotannon päästöt voivat lisääntyä.</p>

Taakanjakosektori: Työkoneet (mm. rakennus- ja sahateollisuus, maa- ja metsätalous)				
Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Sähköistäminen, esim. sahateollisuus, moottoripolttoöljystä pois vaihtaminen sahoilla (Paloneva & Takamäki 2020)	Kustannukset	Sähkövero -säätely, laitekannan uudistaminen (Paloneva & Takamäki 2020) työkone- ja lämmityspolttoaineiden verotusta kiristetään netto-määräisesti 100 milj. eurolla (VNK/budjettiriihi 2020)	Moottoripolttoöljy korvautuu sähköllä	Vähentää ilmastopäästöjä, mutta kokonaispäästövähentymä riippuu sähkön tuotantoon kulutetusta energiasta ja sen päästöistä. Polttoperaisten työkoneiden vaihto sähkölaitteisiin voi vähentää haitallisia ilman epäpuhtauksia ja ihmisten terveyshaittoja.
Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biopolttoaineilla (Paloneva & Takamäki 2020)	Hintakilpailukyky	Jakeluvelvoite	Kuten yllä liikenteen biopolttoaineiden lisäyksen kohdalla.	Kuten yllä liikenteen biopolttoaineiden lisäyksen kohdalla.

<p>Biopolttoöljyn edistäminen työkoneissa</p>	<p>Korkeammat kustannukset</p>	<p>Bioöljyn jakeluvoitteen noston selvittäminen/muut keinot (esim. verotus)</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen</p>	<p>Bioöljy korvaa raskasta polttoöljyä ja vähentää siten raskaan polttoöljyn poltosta syntyviä työkoneiden hiilidioksidipäästöjä. Bioöljyn prosessoinnista voi kuitenkin aiheutua raskaan polttoöljyn korvaamiseen nähden suuruusluokaltaan merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä, prosessointienergiasta ja bioöljyn raaka-aineesta riippuen (Sorsa & Soimakallio 2013). Päästöt ovat alhaisimmat käytettäessä nopeasti lahoavia ja muuten hyödyntämättömiä metsä- tai maatalouden sivuvirtoja (Soimakallio ym. 2009). Bioöljyn prosessin sivutuotteena syntyvää biohiiltä voidaan käyttää maanparannusaineena (tehostaen mm. hiilensidontaa), joka lisää orgaanisen aineen määrää ja parantaa maaperän vesitaloutta. (van Schalkwyk ym. 2020).</p>
---	--------------------------------	---	--	--

Taakanjakosektori: Jätehuolto

Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
<p>Ruokahävikin vähentäminen, tavoite puolittaa ruokahävikki (nyt noin 20-25 kg/hlö kotitalouksissa, koko ruokaketjussa lähes nelinkertainen määrä) 2030 mennessä (Luke 2021)</p>	<p>Kulutustottumukset, arvot ja asenteet, tieto vs. käytäntö, Ruokahävikin vähentämiseen pyrkivät seurantakeinot ja niiden käyttöönotto.</p>	<p>Verotus (esim. biojätevero), informaatio-ohjaus mm. EU-komission säädösluonnos ruokajätteen mittaamisesta ja raportoinnista 2020 alkaen, kansallisen seurantajärjestelmän kehitys (Luke 2021)</p> <p>Mallinnus ruokaketjujen hävikistä (Hartikainen ym. 2020)</p> <p>Uudet menetelmät (mobiilisovellukset, pakkausratkaisut ym.) hävikin vähentämiseksi (Nordic Council of Ministers 2021)</p>	<p>Kotitalouksien ruokahävikki ja syntyvä jäte vähenevät.</p>	<p>Päästöt vähenevät, myös biokaasun raaka-aineet vähenevät, lisää resurssisäästöä/kustannustehokkuutta ruokaketjuissa (Närvänen ym. 2020) ja vähentää kotitalouksien kustannuksia.</p> <p>Ruokahävikin minimoiminen vähentää maatalouden päästöjä ja ravinteiden huuhtoumia (lannoitteet). Voi edistää taloudellisesti ja ekologisesti kestävämpää tuotantoa ja kulutusta, ja pienempiä kokonaisympäristövaikutuksia.</p>

<p>Kiertotalous</p>	<p>Järjestelmien murros, arvot ja asenteet, polkuriippuvuudet - investointien aikajänne</p>	<p>Kaavoitus/maankäyttö (rakentaminen) Uusien liiketoimintamallien ja yhteiskäyttö/jakamistalouksien edistäminen, -informaatio-ohjaus</p>	<p>Raaka-aineet ja materiaalit pysyvät mahdollisimman pitkään käytössä, jolloin uusien neitseellisten raaka-aineiden käyttö vähenee. (Material Economics 2018)</p>	<p>Kiertotalouden resurssitehokkuus vähentää neitseellisten luonnonvarojen kulutusta ja siihen kytkeytyviä ympäristövaikutuksia. Kierrätys voi kuitenkin myös lisätä energian kulutusta ja siihen kytkeytyviä päästöjä (logistiikka). (Skene 2018). Materiaalien sisältämät haitalliset aineet voivat aiheuttaa uusiokäytössä haitallisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia.</p>
<p>Yhdyskuntajätteen energiakäytön lisääminen</p>	<p>Polttokapasiteetin riittävyys</p>	<p>Taloudelliset kannustimet</p>	<p>Yhdyskuntajätteen energiakäyttö lisääntyy ja uusia jätteenpolttolaitoksia otetaan käyttöön.</p>	<p>Korvatesaan fossiilisia polttoaineita voi vähentää khk-päästöjä, jotka jätteen poltossa riippuvat mm. jätteen koostumuksesta. Voi vähentää kannusteita jätteiden syntypaikkalajitteluun ja materiaalien uusiokäyttöön. Jätteenpolttolaitosinvestointeihin liittyvät kustannukset ja ympäristövaikutukset riippuvat muun muassa siitä, mitä jätteenpolttolaitos korvaa.</p>

Taakanjakosektori: F-kaasut

Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Ilmastolle haitallisten kylmäaineiden korvaaminen ja poistaminen markkinoilta /kylmäainepäästöt (Paloneva & Takamäki 2020)	Kustannukset	EU:n F-asetus. Julkisten hankintojen ympäristö/kestävyys-kriteeristön avulla välte-tään korkean GWP-arvon F-kaasujen käyttö. (Reinikainen & Johansson 2019, Nordic Council of Ministers 2020) Tiedotus- ja koulutuskampanjat ei-HFC-tekniologioiden käyttöönottamiseksi ja F-kaasujen talteenoton edistämiseksi	GWP-arvoltaan voimakkaiden ja ympäristölle haitallisten (hajoamistuotteiden pysyvyys/kertyvyys suuri, suolojen myrkyllisyys) kaasuja vaihdetaan vähemmän haitallisiin ja F-kaasuja otetaan talteen aiempaa paremmin.	Vaihtaessa pienemmän GWP-arvon omaaviin luonnollisiin kylmäaineisiin, vähennetään potentiaalisia haitallisia vaikutuksia ilmakehään. Lisäksi mahd. pienempi energiantulutus/ energiatehokkuus voi vähentää laitteiden elinkaaren aikaisia päästöjä (TEWI). (Reinikainen & Johansson 2019) F-kaasujen talteenotto vähentää F-kaasujen primääristä tarvetta ja tuotantoa Suomen rajojen ulkopuolella (Oinonen & Soimakallio 2001).

Taakanjakosektori: Päästökaupan ulkopuolinen energiantuotanto ja teollisuus (mm. elintarviketeollisuus, kaupan ala, saha- ja tekstiiliteollisuus)				
Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Energiatehokkuus, ostoenergian vaihtaminen vähäpäästöiseen: sähköistäminen (Paloneva & Takamäki 2020) Lämpöpumpputeknologiat, Biokaasulaitosten integrointi osaksi biojätteen käsittelyä (ETL 2020)	Investointikustannukset, uusiutuvan energian kalliimpi hinta ja riittävyys, teknologian kehityksen epävarmuudet, lainsäädännön rajoittavuus (ETL 2020).	Sähkövero II-luokkaan (Paloneva & Takamäki 2020), muu sääntely Investointi- ja innovointituet, verotuksellinen tuki vähäpäästöisempään energiaan siirtymiseen (ETL 2020)	Fossiilisen energian vaihto vähäpäästöiseen ja biopohjaisten raaka-ainevirtojen hyötykäyttö lämmön ja energiantuotannossa, joko omaan tai markkinoille myytäväksi.	Khk-päästöjen vähentyminen, jos siirtyminen vähäpäästöiseen sähköön. Lämpöpumppujen käyttö voi lisätä sähkön kulutushuippuja. Biojätteen käsittely energiaksi voi lisätä yksiköiden energiaomavaraisuutta (sähkön ja lämmön tuotanto), mutta tuoda myös tuloja mikäli ylimääräinen tuotanto voidaan myydä markkinoille ja parantaa ravinteiden kierrätystä.
Arvoketjuysteistyö päästöjen laskennan yhdenmukaistamiseksi ja vähentämiseksi (Paloneva & Takamäki 2020)	Raportointiosaaminen ja -kapasiteetti, itsesääntely/valvonta- ja hallintokustannukset, henkilöresurssien rajallisuus, alkutuotannon toiminta	Raportointivaatimukset, harmonisoitujen LCA-pohjaisten laskentamenetelmien ja päästökertoimien käyttöönotto, yhteiset sitoumukset esim. energiatehokkuudessa (tämä on jo käytössä).	Yhdenmukaistaa tuotteiden elinkaaristen päästöjen laskentaa ja vähentää päällekkäistä laskentatarvetta.	Harmonisointi voi edesauttaa päästövähennysmahdollisuuksien parempaa tunnistamista ja tehostaa laskentakäytäntöjä, mutta voi myös lisätä haasteita, mikäli johtaa epä johdonmukaiseen laskentaan.

<p>Kone- ja tuotantokapasiteetin laajamittainen uusiminen vähähiiliseksi ja energiatehokkaaksi (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Kustannukset, kilpailukyky</p>	<p>Ilmastotavoitepohjainen hankintatuki yrityksille, julkisen sektorin hankintakriteerit (hiilijalanjälki) (TEM 2020) Ympäristökriteerit /julkiset hankinnat (Reinikainen & Johansson 2019)</p>	<p>Energiatehokkuus ja laitepäivitykset esim. kylmä-, ilmastointi- ja lämmityslaittejärjestelmissä vähentävät energiankulutusta ja päästöjä.</p>	<p>Pientää khk-päästöjä, mikäli laitteiden ominaisenergiankulutus pienenee ja haitallisia F-kaasupäästöjä vähennetään siirryttäessä luonnollisiin kylmäaineisiin (haitalliset ilmasto- ja vesistövaikutukset HFO/HFC-toksiset kertymät) (mm. Reinikainen & Johansson 2019)</p>
<p>Uusiutuvan energian pientuotanto (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Kustannukset, sääntelyn aiheuttamat esteet</p>	<p>Pientuotannon paikallisrajan korottaminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Mahdollistaa toimijoiden, kuten yhteisöjen ja yritysten osallistumisen energian tuotantoon ja tuo mahdollisuuksia uusien tuotteiden ja palvelukonseptien tarjoamiseen energiamarkkinoille (Valtioneuvosto 2017)</p>	<p>Vaikutukset riippuvat voimakkaasti siitä, mihin uusiutuvaan energiamuotoon pientuotannon lisääminen kohdistuu ja mitä tuotantoa sen vuoksi korvautuu.</p>
<p>Modernin teknologian käyttöönotto, sahaus- ja kuivausteknologioiden energiatehokkuuden parantaminen) (Paloneva & Takamäki 2020) Fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen, esim. dieseltrukkien vaihto sähkökäyttöisiin.</p>	<p>Kustannukset, huono kansainvälinen kilpailukyky</p>	<p>Vähähiilisyteen & energia/ materiaali-tehokkuuteen kannustava investointiohjelma, investointituet/valtion lainatakaukset (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Laitekannan uudistaminen vähentää energiankulutusta ja päästöjä sekä parantaa saantoa. (Sahateollisuus 2020)</p>	<p>Sahan toimintoihin ja sisäisiin kuljetuksiin käytetyn dieselin ja tukipolttoaineena käytettävien fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla energiamuodoilla vähentää päästöjä. (Sahateollisuus 2020)</p>
<p>Hankintaketjujen vähähiilisyys; materiaalit ja ostettu energia (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Päästöttömän sähkön ja lämmön saatavuus kilpailukykyiseen hintaan (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Toimintaympäristön tukeminen (mm. julkinen kysyntä ja taloudellinen tuki), tieto ja osaaminen (Paloneva & Takamäki 2020) Päästöraportointi</p>	<p>Kysynnän ohjaaminen vähähiilisiin materiaaleihin/hankintoihin edistää vähäpäästöisempien raaka-aineiden, teknologioiden ja tuotantoketjujen käyttöönottoa.</p>	<p>Lisää resurssitehokkuutta ja vähentää ilmastopäästöjä energia- ja materiaalikäytön tehostumisen myötä.</p>

Tekstiilien RFID-tunnistusteknologia, tekstiilien kierrätys- ja kuituteknologiat (Paloneva & Takamäki 2020)	Kustannukset	Taloudelliset ohjaukeinat	RFID-sirun avulla voidaan välittää tietoa tuotteesta, yksilöidä tekstiili ja jäljittää se esim. vastuullisuuden varmistamiseksi (Heikkilä 2020). Myös tekstiilien lajittelu tehostuu.	Tehokkaampi lajittelu mahdollistaa kustannus- ja tilasäästöjä sekä sosiaalisten tekijöiden ja yritysvastuullisuuden valvontaa esimerkiksi raaka-aineiden ja tuotteiden jäljitettävyyden kautta.
---	--------------	---------------------------	---	---

Päästökauppasektori: sähkön- ja lämmöntuotanto, energiateollisuus

Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjaukeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutuksetju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Siirtyminen vähäpäästöiseen ja uusiutuvaan energian tuotantoon; -sähköistyminen (geoterminen, teolliset ilmalämpöpumput, hukkalämpö katetaan n. 1/3 kaukolämmön kysynnästä) (Paloneva & Takamäki 2020)	Potentiaalin rajallisuus per uusiutuva/ tuotannon vaihtelut, investoinnit, integraatio-kustannukset, päästöoikeuden hinta ja sen epävarmuus	Energiaverkkojen toimintaedellytykset vähäpäästöisen tuotannon ja joustojen hyödyntämiseksi (investointeja tarvitaan mm. sähkönsiirtoon) + sektori-integraatio, teknologian pilotointi ja kehittäminen (Paloneva & Takamäki 2020)	Vähäpäästöistä ja uusiutuvaa energiaa tuotannossa, sähkön kulutusta lisätään, fossiilisten polttoaineiden käyttö korvautuu	Fossiilisten polttoaineiden käytön korvautuessa vähäpäästöisellä energiantuotannolla ja sähköistämällä khk-päästöt vähenevät. Lämpöpumppujen ja hukkalämmön hyödyntämiseen liittyvät vaikutukset kuten yllä. Päästökauppamekanismin epäsuorat vaikutukset vapautuvien päästöoikeuksien ja markkinavakausvarannon kautta epäselvät.

<p>Maakaasun korvaaminen biokaasulla ja vedyllä 2030-luvulta lähtien (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Biokaasun tuotannon riittävyys, vety (P2X)-teknologian kypsyminen (ml. vähäpäästöisen sähkön riittävyys)</p>	<p>liiketoimintaympäristön kehitys, uusien teknologioiden riskin jakaminen, osaamisen kehittäminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Maakaasu korvautuu biokaasulla ja vedyllä.</p>	<p>Ilmastovaikutus riippuu korvaavien polttoaineiden raaka-aineista ja valmistukseen kuluva energiasta ja sen ominaispäästöistä. Teollisuuden ja maatilojen sivuvirroista valmistetun biokaasun vaikutus kokonaishiilitaseeseen on pienempi kuin metsähakkuisiin ja niiden tähteisiin perustuvan biomassan käyttö. Synteettisen metaanin/vetykaasun hyödyntämistä tukee olemassa oleva infrastruktuuri (kuljetus ja varastointi) ja kysyntä ja se, että lopputuote on käyttäjätavallisessa muodossa, eikä vaadi lisäjalostusta (Daiyan ym. 2020) Päästökauppamekanismin epäsuorat vaikutukset kuten yllä.</p>
---	---	---	---	---

<p>Öljyn käytön korvautuminen vähähiilisen tuotannon ratkaisulla ja kysyntäjoustoilla kaukolämpöverkossa (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Suuret kysyntäpiikit (äkilliset kylmät pakkasjaksot ja niiden kesto) voivat asettaa paineita kestäväälle ja riittäväälle tuotannolle.</p>	<p>Kuin yllä.</p>	<p>Öljyn käyttö vähenee kaukolämmön tuotannossa.</p>	<p>Vähentää kaukolämmön tuotannon khk-päästöjä, mutta ilmasto vaikutukset riippuvat siitä, millä energiamuodolla öljyn käyttö korvautuu ja miten hyvin kysyntäjousto onnistuu tasaamaan kulutushuippuja, joiden vähentäminen voi alentaa kaukolämmön hintaa. (Koljonen ym. 2019) Päästökauppamekanismin epäsuorat vaikutukset kuten yllä.</p>
<p>Energiatehokkuus Potentiaali: energiatehokkuusparannukset → 1.2 MtCO₂ päästövähennys 2030 mennessä, hinta 0 €/tCO₂ (kustannus verrattavissa ETS - hintaan) (Granskog ym. 2018)</p>	<p>Kustannukset, tieto, käytännölliset ja hallinnolliset esteet</p>	<p>Päästöoikeuden riittävä hinta, muut taloudelliset keinot, energiatehokkuuspalvelut, informaatio-ohjaus.</p>	<p>Energiankäyttö tehostuu ja fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee.</p>	<p>Vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja siitä syntyviä khk-päästöjä. Päästökauppamekanismin epäsuorat vaikutukset vapautuvien päästöoikeuksien ja markkinavakauseron kautta epäselvät. Päästökauppamekanismin epäsuorat vaikutukset kuten yllä.</p>

<p>Investoinnit prosessilämmön ja vedyn tuotannon sähköistymiseen (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Investointiin ja sähkön kulutukseen liittyvät kustannukset</p>	<p>Teknologiakehitys ja pilotointi, sähköveron alentaminen (Paloneva & Takamäki 2020), tuet ja muut taloudelliset ohjauskeinot, päästö-oikeuden riittävä hinta.</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee, sähkön kulutus lisääntyy.</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyvät ympäristövaikutukset vähenevät. Kokonaisympäristövaikutukset riippuvat voimakkaasti kulutetun sähkön tuotantotavasta ja päästöintensiivisyydestä. Voi nostaa hintoja. Päästökauppamekanismin epäsuorat vaikutukset kuten yllä.</p>
--	---	---	--	--

<p>Tuulivoimakapasiteetin lisäys</p> <p>Potentiaali: Siirtyminen fossiilisista polttoaineilla tuotetusta sähköstä maatuulivoimalla tuotettuun → 1,1 MtCO₂ päästö-vähennys 2030 mennessä, hinnat -175 - -80 €/tCO₂ ; Merituulivoimaan siirtyminen → 2,4 MtCO₂ päästö-vähennys 2030 mennessä, hinta: -55 €/tCO₂. (Granskog ym. 2018)</p> <p>Päästövähennys 1231 tCO₂ vuonna 2035 (PAM)</p> <p>Päästövähennys koko potentiaalın käyttönotolla Suomessa 12 376kt CO₂/v ja hinta 52 €/tCO₂, investointikustannukset 16,1 M€. (hiilineutraalisuomi.fi 2021)</p>	<p>Rajat investoinneille, muu sosiaalinen vastustus mm. maisemahaitoista johtuen, tuotantovaihtelu ja sähköverkko-rajoitteet, hinta, akkuteknologia (mineraalit ym. riittävyys)</p> <p>Alueelliset teknistaloudelliset mahdollisuudet sijoittamiseen (kustannustehokkuus), muu kilpaileva maankäyttö (erit. Etelä-Suomi)</p>	<p>Investointituki, sääntely: varastointikapasiteetti, kysyntäjoustoja ohjaavat älyverkot ja sähkönsiirtoyhteydet, päästöoikeuden riittävä hinta.</p> <p>Kaavoitus- ja maankäytön ohjaus/MRL-uudistus</p>	<p>Korvaa fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energian tuotantoa. Liitettyä energiavarastointiin vähentää vara- ja säätövoiman tarvetta ja sitä kautta pienentää vaihtelevaan tuotantoon liittyviä ilmastovaikutuksia.</p>	<p>Vaihtelevan tuotannon lisääminen verkkoon kasvattaa tuotannon ja kulutuksen välistä eroa, vaikutukset riippuvat siitä, miten ero tasataan. Vähentää ilmastovaikutuksia korvatessaan polttoon perustuvaa, päästöintensiivisempää energiantuotantoa. Harvinaisten maametallien tarve voi muodostua haasteeksi, ja globaali kilpailu niiden käytöstä ja tuotannosta voi lisätä haitallisia ympäristö- ja ihmisoikeusvaikutuksia (Church & Crawford 2018).</p> <p>Tuulivoiman sijoituksella (riittävä etäisyys mm. asutukseen) voidaan merkittävästi vaikuttaa siitä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin, joita voi aiheutua rakentamisesta, melusta ja maisemahaitoista (Uudenmaan liitto 2014)</p> <p>Merituulivoiman rakentamisesta aiheutuvia välittömiä ympäristövaikutuksia ovat mm. veden samentuminen ja pohjan muutokset, jotka voivat muuttaa elinympäristöolosuhteita (vaikutukset voivat olla sekä negatiivisia että positiivisia). Voimaloiden rakennuksesta</p>
--	--	---	--	--

				<p>aiheutuu melu- ja muita häiriövaikutuksia, joilla on suoria vaikutuksia mm. kaloihin, merinisäkkäisiin ja lintuihin. Tuulipuistojen sijoituksessa huomioitava vesialueiden tärkeät kanta- ja lajityypilliset luontoarvot, jotta vaikutukset näihin voidaan minimoida (Vehanen ym. 2010). Huomioitava merituulivoiman mahdolliset vaikutukset liikkumiseen ja alueellisiin elinkeinoin ja läheisiin luonnonsuojelualueisiin ja kulttuuriperinnöllisesti arvokkaisiin maisemiin. Merituulivoima voidaan kokea hyväksyttävämmäksi kuin maatuulivoiman rakentaminen (NIMB-ilmiö), sillä se ei häiritse maanomistajien maankäyttöä ja ympäristövaikutukset voivat jäädä pienemmiksi. Mahdollisia vaikutuksia PV:n tutkajärjestelmiin (Liikenne ja viestintävirasto 2021). Uusiutuvan energian investoinnit vaikuttavat positiivisesti kuntatalouteen (hiilineutraalisuomi.fi 2021)</p> <p>Päästökauppamekanismin epäsuorat vaikutukset kuten yllä.</p>
--	--	--	--	--

<p>Aurinkovoimakapasiteetin lisäys</p> <p>Mm. yksittäisten rakennusten katoille asennettavat järjestelmät, yhdyskuntien kiinteäkulmaiset järjestelmät, suuret utility scale -laitokset, joissa kääntyvät telineet paneeleille.</p> <p>Potentiaali: 482 kt CO₂/v päästövähennys koko aurinkosähköpotentiaalin käyttöönotolla, hinta 164 €/t CO₂ (ei sis. investointikustannuksia, jotka koko potentiaalille yht. 2,770 M€)</p> <p>(hiilineutraalisuomi.fi 2021)</p>	<p>Volyymin rajat Suomessa tuotantovaihtelut, energiavarastointi</p>	<p>Informaatio-ohjaus, sääntely: varastointikapasiteetti, kysyntäjoustoa ohjaavat älyverkot ja sähkönsiirtoyhteydet, sähkövero II-luokkaan</p>	<p>Kuin yllä.</p>	<p>Kuten yllä huipputehon tuotannon vaikutukset/vaihtelevan tuotannon täydentäminen.</p> <p>Vähentää ilmastovaikutuksia korvattaessaan päästöintensiivistä tuotantoa. Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta lisääntyvä pilvisuus voi vaikuttaa tuotannon volyymin vaihteluihin (Jerez ym. 2015).</p> <p>Aurinkoenergian (utility scale) elinkaariset ympäristövaikutukset (maankäyttö/maaperä, biodiversiteetti, vesivarat, terveys, päästöt) riippuvat kohteen sijainnista ja koosta ja kohteelle tehdyistä toimenpiteistä.</p> <p>Vaikutukset ovat tyypillisesti pienempiä rakennuksiin integroiduissa järjestelmissä, ja verrattuna muihin uusiutuvan energian teknologioihin, vaikutukset ovat maltillisia (Hernandez ym. 2014).</p> <p>Myönteisiä vaikutuksia aluetalouteen. (hiilineutraalisuomi.fi 2021).</p> <p>Voi nostaa hintoja, tosin teknologia on kaupallistunut nopeasti ja kustannustehokkuus parantunut.</p>
--	--	--	-------------------	---

<p>Geoterminen energia -kapasiteetin lisäys</p>	<p>Poraukustannukset/ taloudellinen kannattavuus</p> <p>Geotermistä energiaa ei voida käyttää suoraan esim. kaukolämpöverkossa.</p>	<p>Teknologiakehitys, alkuinvestoinnit/ energiahinta -liiketoimintaympäristön kehitys</p>	<p>Energiamuotona vakio (ei kausivaihteluita), korvaa fossiilisia energialähteitä.</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyvät ympäristövaikutukset vähenevät. Vaikutukset riippuvat porauksen syvyydestä maan kerroksissa. Porautuessa magmaan geotermistä lämpöä voidaan pitää ympäristöä säästävänä, itseään ylläpitävänä resurssina, joka ei vaikuta muihin luonnonvaroihin ja sen energiantuottopotentiali on luotettava. Geotermisen energian johtaminen maaperästä mahdollistaa tiettyjen khk-kaasujen, kuten rikkivedyn, hiilidioksidin, metaanin ja ammoniakkin vapautumisen, mutta ilmastovaikutus on pienempi kuin fossiilisia polttoaineita poltettaessa. Nesteen poistuminen maaperän ylemmistä kerroksista maaperän lämpöenergiaa hyödynnettäessä (hydroterminen konvektiolähde) voi tuottaa joitakin ympäristövaikutuksia. (Mustonen 2019)</p> <p>Voi nostaa loppukäyttöön siirrettävän lämmön hintaa.</p>
---	---	---	--	--

<p>Vesivoimakapasiteetin lisäys</p>	<p>Ei suurta lisäysmahdollisuutta, tuotantovaihtelut, ilmastonmuutoksen vaikutukset, paikallisvaikutukset ja hyväksyttävyyys</p>		<p>Maltilliset tehon lisäykset säästövoimana korvaavat fossiilisilla polttoaineilla tuotettavaa huipputehoa.</p>	<p>Vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja siihen liittyviä ympäristövaikutuksia. Vesivoiman rakentamisen, patoamisen ympäristövaikutukset vesistöihin, vesistöalueisiin ja kalakantoihin. Metaanipäästöt.</p>
<p>Ilma/maalämpöpumput -fossiiliton lämmitys (kaukolämpö) Potentiaali: päästövähennys koko potentiaalin käyttöönotolla Suomessa: maalämpöpumput 2 164 kt CO₂/v ja ilmalämpöpumput 525 kt CO₂/v, hinnat vastaavasti 126 € tCO₂ (maalämpö) ja 75 €/tCO₂ (ilmalämpö) (ei sis. investointikustannuksia, jotka koko potentiaalille yht. 4,1 M€ maalämpöpumput, 0,593 M€ ilmalämpöpumput) (hiilineutraalisuomi.fi 2021)</p>		<p>Lämpöpumppujen siirtäminen sähkövero II-luokkaan (VNK/budjettiriihi 2020)</p>	<p>Korvaa öljylämmitystä tai suoraa sähkölämmitystä.</p>	<p>Korvataksaan öljylämmitystä, vähentää siitä syntyviä päästöjä, mutta lisää sähkönkulutusta ja siitä syntyviä päästöjä. Korvataksaan suoraa sähkölämmitystä, vähentää sähkönkulutusta ja siitä syntyviä päästöjä, mutta ei juurikaan vaikuta sähkön kulutushuippujen aikaiseen tuotantoon. Vuodot voivat lisätä kylmäaineiden päästöjä jossain määrin.</p> <p>Myönteisiä vaikutuksia aluetalouteen; työllisyysvaikutukset n. 8,5 htv/M€ (maalämpö) ja 5,3 htv/M€ (ilmalämpö) (hiilineutraalisuomi.fi 2021)</p>

<p>Turpeen energiakäytön vähentäminen / asteittainen lopettaminen</p>	<p>Turpeen käytön tukeminen, vaihtoehtoisten ratkaisujen kannattamattomuus tai rajallisuus</p>	<p>Suunniteltu energiaturpeen käytön puolittaminen lattiahinnan avulla 2030 mennessä. Turpeen verotuksen lattiahintaa (ei vielä määritelty) sidottu päästökauppaan / turpeen veroedun asteittainen poisto, riittävä päästöoikeuden hinta.</p>	<p>Turpeen energiakäytön (CHP, kaukolämpö) vähentäminen ja korvaaminen ei-fossiililla vaihtoehdoilla (mm. biomassalla, lämpöpumpuilla, geotermisellä lämmöllä, tuuli- ja ydinvoimalla, biokaasulla, aurinkolämmöllä ja energiakäyttöä tehostamalla.) (Soimakallio ym. 2020)</p>	<p>Suoluonnon tuhoutumisen uhka vähenee. Vähentää haitallisia ksk-päästöjä, kokonaispäästövaikutus riippuu korvaavasta energian tuotannosta ja sen päästöistä. Esim. metsähakkeen/ biomassan käytön lisäys voi pienentää nielua ja vaikuttaa haitallisesti luonnon monimuotoisuuteen ja vesistöihin. Käytön alasajolla voi olla aluetaloudellisia vaikutuksia mm. työllisyyteen ja energiaturvallisuuteen, jotka tuista ja siirtymäajasta riippuen voivat olla positiivisia tai negatiivisia. (Soimakallio ym.2020). Lisäksi voi tehdä ympäristöturpeen tuotannosta taloudellisesti kannattamatonta, millä voi olla vaikutuksia ruoan tuotantoon.</p>
---	--	---	---	---

<p>Vihreä vety ja siihen yhdistetty hiilidioksidin hyötykäyttö (CCU) (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Kustannusarvio: hiilen talteenotto ilmasta DACC(S)-teknologialla n. 100–300 US\$/tCO₂ (Fuss ym. 2018)</p>	<p>Liiketoimintaympäristön kehitys ja kustannustehokkaasti hyödynnettävien hiilidioksidi pistelähteiden "riittävyys"/ei-vältettävissä olevat hiilidioksidin lähteet/sivuvirrat kun tavoitteena on päästöjen syntymisen estäminen ~2050 mennessä (Kaiser & Bringezu 2020)</p> <p>Hiilen vedyttämisen tuotantoprosessin kustannukset toistaiseksi liian korkeat mahdollistaakseen tehokkaan käytännön (Ra ym. 2020)</p>	<p>TKI-tuet, liiketoimintaympäristön kehitys, riittävän päästöoikeuden hinta.</p>	<p>Siirtyminen vihreään, uusiutuvalla energialla tuotettuun vetyyn, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita ja niihin perustuvia raaka-aineita (mm. kemikaalit) tuottamalla ne talteen otetusta hiilidioksidista.</p>	<p>Teknologialla voidaan vähentää khk-päästöjä sekä edistää kiertotaloutta tehostamalla teollisuuden CO₂-päästöjen hyödyntämistä synteettisten polttoaineiden ja raaka-aineiden valmistuksessa. Kokonaispäästöjen vähentyminen on merkittävästi riippuvainen vedyn valmistuksessa käytetyn energian ominaispäästöistä. (Ra ym.2020, Kaiser & Bringezu 2020).</p> <p>Hiilidioksidin hyötykäytössä (CCU) talteenotettu hiilidioksidi tyypillisesti vapautetaan tuotteen käytössä tai sen hävittämisessä, ja varastoinnissa (CCS) puolestaan sijoitetaan pysyvään varastoon, jolloin teknologian avulla on mahdollista sitoa hiiltä pois ilmakehästä ja tuottaa negatiivisia päästöjä. Teknologian laajamittainen käyttöönotto saattaa nostaa hintoja oleellisesti, ellei teknologian kustannustehokkuus parane.</p>
---	---	---	---	--

<p>Modulaarinen ydinergiatekniikka (mm. <i>Small Modular Reactor eli SMR</i>, yhdistettyyn sähkön ja lämmöntuotantoon CHP)</p>	<p>Ydinvoiman lisäämisen ja lupa- ja valvontajärjestelmän kehittämisen hitaus; hyväksyttävyyteen liittyvät kysymykset; SMR ei vielä kaupallinen</p>	<p>Ydinergialain kokonaisuudistuksen toteuttaminen ja kansallisten säädösten tarkastelu</p>	<p>Korvaa fossiilisia polttoaineita.</p>	<p>Vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja niihin liittyviä ympäristövaikutuksia.</p> <p>Uraanin louhinnan ja rikastamisen aiheuttamat ympäristövaikutukset kaivos-alueella; ydinvoimaloihin ja jätteeseen liittyvät turvallisuusriskit (IAEA 2020)</p> <p>Ydinergialla voidaan tuottaa edullisesti ns. peruskuormaa, ylläpitää energian huoltovarmuutta ja tasapainottaa uusiutuvien energioiden vaihtelevaa tuotantoa. Ydinjätteen varastointi ja kuljetus saattaa herättää sosiaalista/ alueellista vastustusta. Ydinjätteen loppusijoitukseen liittyvät pitkät aikajänteet ja ydinvoimalaitokset yleisesti sisältävät aina vähintään jonkinlaisen ympäristöriskin onnettomuuksien tai esimerkiksi terrorismin kautta.</p>
--	---	---	--	---

Päästökauppasektori: bioenergia

Päästövähennysteknologia /ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Energiaturpeen korvaaminen ja käytön lakkauttaminen (Paloneva & Takamäki 2020)	Ks. yllä "Turpeen energiakäytön vähentäminen / asteittainen lopettaminen"	Ks. yllä "Turpeen energiakäytön vähentäminen / asteittainen lopettaminen"	Ks. yllä "Turpeen energiakäytön vähentäminen / asteittainen lopettaminen"	Ks. yllä "Turpeen energiakäytön vähentäminen / asteittainen lopettaminen"
Fossiilisen tuontienergian korvaaminen kestävästi (mm. metsätalouden ja -teollisuuden sivuvirroilla ja kierrätyspuulla, liikenteen biopolttoaineilla, biokaasulla, soveltuvilla pelto-biomassoilla, energiakasvit (Paloneva & Takamäki 2020)	Kustannukset sekä bioenergian saatavuuteen ja hyväksyttävyyteen liittyvät kysymykset	Metsä- ja sahateollisuuden toimintaedellytykset, (energiakasvit ja lyhytkiertoiset puuvartiset kasvit -edistämishjelmat) (Paloneva & Takamäki 2020), tuet ja riittävä päästöoikeuden hinta. Kiertotalous (teolliset symbioosit)	Fossiilisten tuontipolttoaineiden korvaaminen lisää biomassan tarvetta ja paineita kestäväen biomassan tuotantoon, kasvattaa kysyntää ja nostaa hintoja. Toisaalta esim. agroekologiset symbioosit voivat parhaimmillaan hyödyntää energiaa tehokkaasti, lisätä resurssien käytön tehokkuutta ja pienentää siten ilmastovaikutuksia.	Puuenergian käytön lisäys korvaa turpeen ja kivihiilen käyttöä. Metsähakkeen käytön lisääminen pienentää metsien hiilinielua (Soimakallio ym. 2016). 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. 2016) Osa hakkeen lisäyksestä voi kohdistua tuontiin, jolloin ympäristövaikutukset syntyvät Suomen rajojen ulkopuolella.

<p>Biolämmön sekä sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP) (yhdistetty esim. aurinkolämpöön). (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Potentiaali: CHP polttoainevaihdos hiilestä ja turpeesta biomassaan → 5,2 MtCO₂ päästövähennys 2030 mennessä, kustannukset: -10 ~ 5 €/tCO₂ (Granskog ym. 2018)</p>	<p>Kuin yllä.</p>		<p>Fossiilisten polttoaineiden korvautuminen</p>	<p>Kuin yllä.</p>
<p>Biomassan hiilen talteenotto ja varastointi tai käyttö (BECCS/BECCU (TEM 2020)</p> <p>Kustannusarvio: BECCS –teknologia n.100–200 US\$/tCO₂ ja Biohiili 30–120 US\$/tCO₂ (Fuss ym. 2018)</p>	<p>Ei vielä laajasti kaupallisessa käytössä oleva teknologia, kustannukset, energian hinnan nousu. (Minx ym. 2018).</p> <p>Teknisin keinoin (esim. BECCS) tuotettuja hiilen poistumia ei lasketa toistaiseksi kasvihuonekaasujen raportoinnissa kv-sopimuksille. Hyväksyttävyyksymyksiä.</p>	<p>TKI, kansainvälinen sääntely negatiivisten päästöjen laskemiseksi, jakeluvaihtoimet tai muut taloudelliset ohjaukeinit.</p>	<p>BECCS-teknologialla voidaan estää biomassan hiilen vapautuminen ilmakehään ja tuottaa negatiivisia päästöjä samalla kun korvataan fossiilisia polttoaineita. BECCU-teknologialla korvataan fossiilisia polttoaineita.</p>	<p>BECCS sitoo hiiltä ilmakehästä käyttämällä kasvavaa biomassaa hiilen pumppuna, ja varastoimalla poltetun hiilen pysyvästi ilman sen vapauttamista ilmakehään. Samalla voidaan tuottaa energiaa, jolla korvataan fossiilisia polttoaineita ja niihin liittyviä ympäristövaikutuksia. Hiilen talteenotto ja varastointi tai jalostus käyttöön vaativat energiaa ja aiheuttavat sitä kautta ympäristövaikutuksia. CCU:n avulla voidaan välttää fossiilisia päästöjä substituution kautta, mutta hiili tyypillisesti vapautetaan takaisin ilmakehään tuotteen käytössä tai sen lahotessa. Jos tehdään pitkäikäisiä tuotteita, on mahdollista kasvattaa tuotteisiin sitoutuneen hiilen määrää.</p>

				<p>Siltä osin kuin lisää biomassan käyttöä, aiheutuu erilaisia biomassan tuotantoon ja korjuuseen liittyviä ilmasto- ja ympäristövaikutuksia, jotka riippuvat raaka-aineista (esim. jäte vs. maa- ja metsäbiomassat, energiakasvit) ja mittakaavasta. Biomassan energiatuotannolla voi olla negatiivisia heijastevaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin sekä ruoan tuotantoon erit. globaalisti.</p> <p>(Fajardy ym. 2018) Ks. metsähakkeeseen liittyvät kysymykset yllä.</p>
--	--	--	--	---

Päästökaupparektori: energiantensiivinen teollisuus (metsä- ja kemianteollisuus)				
Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Sähköistäminen (Paloneva & Takamäki 2020) Potentiaali: esim. sellu- ja paperitehtaiden lämmön tuotannon sähköistäminen → 0,4 MtCO ₂ päästövähennys 2030 mennessä, kustannukset: -185 ~ 15 EUR/tCO ₂ (Granskog ym. 2018)	Kustannukset	Sähköveroluokka II alentaminen EU:n sallimaan minimiin, energiantensiivisten yritysten veronpalautuksen asteittainen pienentäminen polttoaineiden osalta (VNK/Budjettiriihi 2020)	Fossiilisia polttoaineita korvataan sähköistämällä.	Fossiilisten polttoaineiden käyttö ja siihen liittyvät ympäristövaikutukset vähenevät. Sähkön kulutus lisääntyy, mikä myös aiheuttaa päästöjä ja muita ympäristövaikutuksia, jotka riippuvat siitä, minkälaiseen tuotantoon lisäys kohdistuu (Soimakallio ym. 2011).
Fossiilisten polttoaineiden alasajo (energiatehokkuus; sähköistyminen; turpeen, maakaasun & fossiilisen öljyn korvaaminen; fossiiliset suorat päästöt-CCU) (Paloneva & Takamäki 2020)	Ks. yllä.	Taloudelliset ohjauskeinot ja sääntely.	Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee.	Ks. yllä sähköistäminen ja CCU. Energiankäytön tehostaminen ei aiheuta suoria ympäristövaikutuksia.

<p>Metsäteollisuuden tuotteiden korkeampi jalostusaste</p>	<p>Kysyntä, kustannukset, toimintatavat</p>	<p>TKI, innovaatiot, sääntely</p>	<p>Puusta maksukyky nousee ja puu ohjautuu korkeamman jalostusasteen tuotantoon.</p>	<p>Korkea jalostusarvo lisää talouden arvonlisää pienemmillä puukuutiomäärillä ja mahdollistaa siten alhaisemmat hakkuut ja suuremmat nielut ja vähentää paineita haitallisille luonnon monimuotoisuudelle ja vesistövaikutuksille. Korkea jalostusaste voi vaikuttaa myös energiapuun saatavuuteen ja siten energijärjestelmän kehitykseen. Ei välttämättä tarkoita puutuotteiden käyttöiän pidentymistä, ellei sillä ole taloudellista arvoa.</p>
<p>Polttoainevaihdokset; siirtyminen vähäpäästöisempiin polttoaineisiin (mm. maakaasuun, biokaasuun tai biomassaan, Power-to-X (P2X) (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Kustannukset -teknis-taloudellisesti tai hyväksyttävyyteen liittyvät esteet</p> <p>Tuotantotapa (mm. hiilidioksidin puhdistaminen) on toistaiseksi liian kallista (Ra ym.2020)</p>	<p>Riittävä päästöoikeuden hinta, fossiilisten polttoaineiden verotus, tuet, jakeluvaihtoehdot.</p>	<p>Polttoainevaihdokset fossiilisista vähäpäästöisempiin. Mahd. P2X-tekniikka, lisää vähäpäästöisen sähköntuotantoa.</p>	<p>Biomassan kokonaiskäytön kasvulla voi olla ilmastopäästöjä vähentävä/lisäävä vaikutus, riippuen raaka-aineesta ja vaikutuksesta nieluihin. Sähköntuotannon ominaispäästöt vaikuttavat ilmastopäästöjen vähenemiseen.</p>

<p>Sektori-integraatio: energiantensiivisten toimijoiden yhteistyö sähkön, lämmön ja sivuvirtojen hyödyntämisessä (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Tieto</p>	<p>Kiertotalous</p>	<p>Synergiat ja integraatio tuottavat tehokkaampia prosesseja ja vähemmän hukattuja resursseja, mikä voi edistää energianvarastointia ja tuotantojoustojen toteutumista (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Synergioiden ja sektori-integraation avulla voidaan luoda teollisia symbiooseja, joissa toimijat voivat hyödyntää/vaihtaa toistensa materiaaleja ja energiaa, mikä voi lisätä toimintojen kustannustehokkuutta sekä vähentää jätteitä ja päästöjä. (Sokka 2011) Teolliset symbioosit parantavat kiertotalouden/resurssitehokkuuden edellytyksiä ja liiketoimintamahdollisuuksia kiristyvässä sääntelyssä. (Aho ym. 2013, Hämäläinen ym. 2014)</p>
<p>Fossiilisten raaka-aineiden korvaus uusiutuvilla, synteettisillä ja kierrätetyillä raaka-aineilla (CCU (hiilivedyt) /CCS) (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Kustannukset, kaupallisten sovellusten puuttuminen</p>	<p>Taloudelliset ohjauskeinot, tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotuet, osaamisen hankkiminen (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Fossiilisten raaka-aineiden käyttö vähenee.</p>	<p>Hiilidioksidin kierrätys tuotteiksi voi luoda taloudellisia mahdollisuuksia, mutta prosessin energiantensiivisyys edellyttää vähäpäästöistä sähköntuotantoa (Ra ym. 2020). Kokonaisympäristövaikutukset riippuvat voimakkaasti sähköntuotannon päästöistä. Voi nostaa hintoja merkittävästi.</p>

<p>Synteettinen biologia (bioteknologia+ digitalisaatio) (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Ei käytännön sovellutuksia</p>	<p>TKI</p>	<p>Korvaavien keinotekoisten biomassojen kasvatusta ja uusiutumattomien materiaalien korvaus.</p>	<p>Synteettisesti tuotettujen biomassojen tuotanto on ilmastosta riippumatonta. Voidaan korvata uusiutumattomia materiaaleja ja vähentää niiden tuotannossa ja käytössä syntyviä ympäristövaikutuksia. Kokonaisympäristövaikutukset riippuvat voimakkaasti synteettisten biomassojen tuotannossa tarvittavien keskeisten resurssien, kuten sähköntuotannon, päästöistä.</p>
---	-----------------------------------	------------	---	---

<p>Kestävä biotalous & bioteknologia (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Kustannukset, kestävien raaka- aineiden määrittelyn haasteet ja saatavuus</p>	<p>investoinnit, TKI, kiertotalous, kestävyyssäätely, taloudelliset ohjaukset</p>	<p>Fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen. Luonnollisen biomassan hyödyntäminen mm. erilaisissa biomassapohjaisissa öljyissä ja jäteöljyissä, hemiselluloosan hyödyntäminen, ligniinin ja sokerin raaka-ainekäyttö. Maa- ja metsätalouden sivuvirtojen ja jätteiden hyödyntäminen.</p>	<p>Kestävä biotalous on tavoitteena hyvin kannatettava, mutta on epäselvää, missä määrin tai laajuudessa se on toteutettavissa, erityisesti mikäli kestävyys määritellään riittävän tiukasti ("strong sustainability"). Mikäli kestävyys määritellään löyhemmin ("weak sustainability"), voi siihen kytkettyä merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia hyötyjen lisäksi. Vähentää fossiilisten polttoaineiden päästöjä, biomassan raaka-ainehankinta aiheuttaa haitallisia ilmasto-, vesistö- ja monimuotoisuus -vaikutuksia. Kestävä ("strong sustainability") biotalous (maankäytön hiilijalanjäljen ja biokapasiteetin rajoissa) voi tuoda taloudellisia mahdollisuuksia ja työpaikkoja (Liobikiene ym. 2019)</p>
---	--	---	---	--

<p>Polttoainepohjaisten tuotantoprosessien muuttaminen vähäpäästöiseksi (maakaasu, biokaasu ja biomassa) ja sähköistäminen; sähköpolttoaineet ja CCU/CCS (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Potentiaali teollisuuden energiakäytön tehostamisessa, polttoainevaihdoksissa ja sähköistämisessä yhteensä: 7,7 Mt CO₂ vuoteen 2030 mennessä, kustannukset 40 -170 EUR/tCO₂ (Granskog ym. 2018)</p>	<p>Kustannukset</p>	<p>Taloudelliset ohjaukeinit</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee polttoainevaihdosten ja sähköistämisen myötä.</p>	<p>Polttoaineiden poltosta syntyvät päästöt vähentyvät, mutta vähäpäästöistenkin polttoaineiden tuotannossa ja osin poltossa (jos fossiilisia) sekä sähkön tuotannossa syntyy päästöjä ja aiheutuu muita haitallisia ympäristövaikutuksia. Ympäristövaikutukset riippuvat pitkälti siitä, millä fossiilisia polttoaineita korvataan. Sähköistäminen lisää vähäpäästöisen sähköntuotannon tarvetta ja saattaa nostaa kustannuksia.</p>
--	---------------------	----------------------------------	---	---

Päästökauppasektori: teknologiateollisuus				
Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Vetypelkistys teräksentuotannossa 2030-luvulla (SSAB, HYBRIT-teknologia) (Paloneva & Takamäki 2020) Potentiaali: siirtyminen sähköisiin valokaarisulatusuuneihin ja vetyteknologiaan → 4,3 MtCO ₂ päästö-vähennys vuoteen 2030 mennessä, hinta: 40–45 €/tCO ₂ (Granskog ym. 2018)	Pilottien taloudellinen/ teollinen skaalaaminen vie aikaa, kustannukset	TKI, taloudelliset ohjauskeinot	Rautamalmipohjaisessa teräksenvalmistuksessa käytetty koksi korvataan fossiilivapaalla sähköllä ja vedyllä.	Ilmastopäästöt (ml. pienhiukkaspäästöt) vähentyvät prosessissa. Sähkön kulutus kasvaa ja siihen liittyvät ympäristövaikutukset riippuvat oleellisesti siitä, mihin tuotantoon lisäys kohdistuu (Soimakallio ym. 2011).
Hukkalämmön hyödyntäminen (Paloneva & Takamäki 2020)	Esim. datakeskusten sijainti vs. lämmöntarvitsijat, investoinnit hukkalämmön talteenottojärjestelmiin	Infrastruktuurin kehitys, investoinnit, energiatehokkuussääntely	Hukkalämmön hyödyntäminen vähentää tarvetta muulle lämmöntuotannolle.	Vähentää muun lämmöntuotannon ympäristövaikutuksia ja ilmastopäästöjä. Tehostaa resurssien käyttöä ja voi tuoda kustannussäästöjä.
Laitos- ja prosessisuunnittelu (Paloneva & Takamäki 2020)	Kansainvälisten markkinoiden ja toimintaympäristön suotuisa kehitys	TKI	Laitosten ja tuotantoprosessien uudistuminen vähähiilisillä ja energiatehokkailla teknologioilla vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja prosessipäästöjä.	Vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöön ja teollisiin prosesseihin liittyviä ilmastopäästöjä ja muita ympäristö-vaikutuksia. Mahdollisuus positiiviseen kädenjälkivaikutukseen ja teknologia-vientiin (Teknologiateollisuus ry 2020).

IoT:n (Internet of Things) hyödyntäminen valmistavassa teollisuudessa (TEM 2020) Tieto- ja viestintäteknologiaan (ICT) liittyvät ratkaisut ja palvelut, mm. tekoäly (Artificial Intelligence, AI), lohkoketjut, kvanttitekniikka, robotiikka, esineiden internet ja automatisoituvat järjestelmät (Ojala & Oksanen 2021)	Osaaminen, kustannukset, tottumukset	Informaatio-ohjaus, taloudelliset ohjauskeinot	Teolliset IoT-järjestelmät voivat parantaa datansiirron tehokkuutta, tuotannon luotettavuutta ja tarjota uutta dataa päätöksenteon tueksi = taloudellisia vaikutuksia. IoT:n mahdollistama ennustava kunnossapito voi vähentää koneiden seisokkiaikaa ja parantaa tuotteiden laatua. (Ojala & Oksanen 2021, Ojala ym. 2020)	ICT-ala kuluttaa energiaa ja raaka-aineita sekä laitteiden ja energian tuotanto aiheuttaa päästöjä ilmaan, vesiin ja maaperään. Toisaalta digitaalisten ratkaisujen avulla voidaan edistää resurssitehokkuutta, vähentää khk-päästöjä muilla aloilla sekä lisätä esimerkiksi terveyden- ja hyvinvointipalveluiden saavutettavuutta
Kyberturvallisuuteen (tietoturvallisuuteen) liittyvä teknologia (Paloneva & Takamäki 2020)	Kustannukset, osaamisen ja tiedonvaihdon puutteet	Informaatio-ohjaus, taloudelliset ohjauskeinot	Tietoturvallisen teknologian avulla suojattuna esim. teollisuusautomaatioon kohdistuvia riskejä voidaan minimoida ja välttää tietovuodot tai kyberhyökkäykset ja niistä aiheutuvat taloudelliset tai sosiaaliset vahingot.	Edistää energiaturvallisuutta ja huoltovarmuuden ylläpitämistä teollisuuden ja yhteiskunnan energiaan, liikenteeseen ja tiedonsiirtoon liittyvissä toiminnoissa.
5G-sovellukset (Paloneva & Takamäki 2020) Päästöjen vähentämispotentiaali toteutuu teknologian kehittyessä. Globaali päästövähennyspotentiaali (2020–2030) 0,5 miljardia t CO ₂ (STL Partners 2019).	Kustannukset, osaamisen puute, mis/disinformaatio	5G- ja valokuituverkkojen rakentamisen edistäminen, taajuuspolitiikan edistäminen, lupa- ja rakentamismenettelyjen sujuvoittaminen, tki-toimintojen tukeminen ja markkinoiden toimivuuden edistäminen (Wirén ym. 2018).	5G-teknologia tehostaa digitalisaatiota, datan siirtoa ja etäyhteyksien hyödyntämistä. Verkon luotettavuus ja lyhyt viive edistävät etäohjausta ja automatisaatiota sekä uusien palvelujen tuottamista eri sektoreille. (Traficom 2021b)	Tukiasemien sähkötulutus voi kasvaa alempiin verkkosukupolviin verrattuna, mutta sähkötulutus per datamäärä laskee. Matala lähetysteho vaatii tiheää tukiasema- ja lähetinverkkoa, joka osaltaan lisää materiaalien tarvetta. (ITU 2020)

<p>Satamatoimintojen optimointi (Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>liikennejärjestelyt, valaistus, lastinkäsittelyalueen puhtaanapito, satamaliikenteen ja lastinkäsittelyn melun hallinta, alusten tankkauksen ja jätteiden vastaanoton ympäristöturvallisuus, tiedon ja satamatoimintojen digitalisointi, investoinnit käsittelykalustoon ja ympäristöystävälliset lastinkäsittelyn menettelytavat (Suomen satamaliitto 2021)</p>	<p>Kustannukset, osaamisen puute, tottumukset</p>	<p>Rajoitukset alusten päästöille ja muut merenkulun ympäristövaatimukset, käymäläjätevesien käsittelyn sääntely (kielto jo olemassa)</p> <p>(Itämerestä tuli alusliikenteen NOx-päästöjen rajoitusalue v. 2021.)</p>	<p>Satamatoimintojen kehittäminen tehostaa toimintaa ja vähentää polttoaineen kulutusta.</p>	<p>Päivittäin Itämerellä liikennöi 2000 rahtialusta, joilla syntyvä talous- ja käymälävesi sekä ruokajäte on laillisesti purettavissa mereen. Näiden aiheuttamat päästöt lisäävät roskaantumista, rehevöitymistä ja happikatoa (BSAG 2021). Satamatoimintojen tehostaminen vähentää melua ja polttoaineiden kulutukseen liittyviä ympäristövaikutuksia.</p>
<p>Bioenergiateknologia (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Kustannukset, biomassojen saatavuus</p>	<p>TKI, taloudelliset ohjaukset, sääntely</p>	<p>Korvaa fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Bioenergiateknologioiden kehittyminen (esim. BECCS) mahdollistaa kestävämmän biomassan energiakäytön vaihtoehtoisista sivuvirroista.</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden käyttö ja siihen liittyvät ympäristövaikutukset vähenevät. Ks yllä. biomassan tuotantoon liittyvät vaikutukset. Teknologian kehitys mahdollistaa tehokkaamman palamisen ja vähentää siihen liittyviä ympäristövaikutuksia. Biomassojen jalostusteknologian kehitys mahdollistaa biopolttoaineiden paremman logistiikan ja varastoinnin.</p>

<p>Hybridisähköuunien käyttö mineraaliteollisuudessa (Koljonen ym. 2020)</p> <p>Ks. Yllä (vetypelkistys ym.)</p>	<p>Kustannukset, teknologinen kypsyys</p>	<p>TKI, taloudelliset ohjaukeinot</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen. Prosessipäästöjen vähentäminen sähköistämisen avulla.</p>	<p>Fossiilisten polttoaineiden käyttö ja siihen liittyvät ympäristövaikutukset sekä teollisuuden prosessipäästöt vähenevät. Sähkönkulutus lisääntyy ja siihen liittyvät ympäristövaikutukset riippuvat oleellisesti siitä, mihin tuotantoon sähkön kulutus kohdistuu.</p>
--	---	---------------------------------------	---	---

LULUCF-sektori: Hoidettu metsämaa

Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
<p>Metsien kasvatus- ja käsittelytapojen monipuolistaminen; jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn, sekametsien kasvatuksen edistäminen (Granholm 2020)</p> <p>Potentiaali: rehevissä ojitetuissa suometsissä maaperän khk-vähennys n. 0,3–2,4 Mt CO₂ ekv. /v (Lehtonen ym. 2021)</p>	<p>Korjuun/harvennusten työmäärä, tuotto- ja kustannustehokkuus, tietotaito</p>	<p>Informaatio-ohjaus, taloudelliset kannustimet</p>	<p>Avohakkuiden vähentäminen ja siirtyminen jatkuvapeitteiseen kasvatukseen ja sekametsiin muuttaa puulajisuhteita, puuston ikärakennetta, tukki- ja kuitupuukertymää, puuston kasvua ja maaperän hiilivarastoa (Saksa 2020).</p>	<p>Mitä vähemmän puunkorjuusta aiheutuu häiriötä, sitä paremmin se tukee metsästä riippuvaisten lajien elinympäristöjä ja päinvastoin (vrt. avoimen elinympäristöjen lajit). Luonnon monimuotoisuuden kannalta parhaat (biodiversiteetti)vaikutukset saadaan, kun maisematasolla mahdollistetaan erilaisten metsäympäristöjen kirjo (ml. avoimien elinympäristöjen lajit). Boreaaliset metsät ovat luonnostaan heterogeenisiä, mutta jaksollinen kasvatus yksipuolistaa metsien rakennetta, millä on negatiivisia vaikutuksia biodiversiteettiin. (Savilaakso ym. 2021)</p> <p>Metsien kasvatus ja käsittelytapojen monipuolistaminen esim. jättämällä pieniä ns. biodiversiteettikeitaita voi torjua osittain metsien käytöstä johtuvaa luonnon monimuotoisuuden</p>

				<p>heikentymistä (mm. yhdyskäytävänä, puskurialueina) mutta ne eivät korvaa laajempien suojelualueiden/luonnontilaisten metsien merkitystä (Häkkiä ym. 2021)</p> <p>Metsien kevyemmällä käsittelyllä vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen ja vesistöjen kuormitukseen korjuualueilla voidaan pienentää, mutta vaikutukset puuston kasvuun epävarmoja, maaperän CO₂-päästöt turvemilla pienenevät mutta CH₄-päästöt voivat lisääntyä, riskit myrskytuhoille voivat pienentyä. Monipuolisemmalla kasvatuksella, metsien heijastusominaisuudet ja aerosolipäästöt muuttuvat ja metsät voivat sopeutua ilmastonmuutokseen paremmin. (Jandl. ym 2007, Tapio 2020, Seppälä ym. 2015)</p>
--	--	--	--	---

<p>Jalostetun metsänviljelyaineiston käyttö ja lannoitus (Granholm 2020)</p> <p>Potentiaali: Taimikonhoidon aikaistaminen 30 000 ha/v, metsien kasvu lisääntyy n. 0,25 milj. m³ vuoteen 2035 mennessä ja tuottaa n. 0,31 Mt CO₂ hiilinielun lisäyksen vuodelle 2035. (Lehtonen ym.2021)</p>	<p>Kustannukset, tottumukset, tietotaito</p>	<p>Informaatio-ohjaus, taloudelliset kannustimet</p>	<p>Puuston kasvun ja lajikkeiden ilmastokestävyysparantaminen. Jalostus voi parantaa puuston kasvun lisäksi sen laatua ja terveyttä sekä mahdollistaa lyhyemmän kierron, ja siten paremman tuoton.</p>	<p>Jalostettujen lajikkeiden käyttö voi edistää metsien ilmastomuutokseen sopeutumista, puuston kasvua ja hiilensidontaa (puuston terveyttä) Jalostetussa metsänviljelyaineistossa voidaan edistää monimuotoisia lajikkeita. Vaikutukset näkyvät todennäköisesti vuosikymmenien aikaskaalassa (Saksa ym. 2020, Tapio 2020). Lannoituksella voidaan lisätä puuston kasvua ja hiilensidontaa nopeasti, mutta lannoitus myös lisää rehevöittäviä vaikutuksia (Kenttämies & Mattson 2006) ja voi heikentää puuston laatua. Ilmastomuutos tuo epävarmuutta saavutettavaan hyötyyn.</p>
---	--	--	--	---

Riskianalyysit ja riskien hallinta (Granholm 2020)	Jalkautus	Informaatio-ohjaus	Ilmastonmuutoksen vaikutusten hallinta ja varautuminen, yleisen toimintaympäristön ja sääntelyn muutos johtaa kustannusten kasvuun ja markkinoiden kysynnän muutoksiin.	Vaikutukset riippuvat riskienhallinnan tutkimustiedon soveltuvuudesta (arviot) ja käytännön toteutuksesta (ilmastonmuutokseen sopeutuminen, varautumistoimenpiteet, kustannustehokkuus). Sääntelyn kiristyminen voi aiheuttaa muutoksia markkinoiden kysynnässä, mikä voi vaikuttaa tuotantovolyymiin ja saataviin tuloihin (lasku), ja sitä kautta ilmastopäästöihin johtuen alkutuotannon energian ja raaka-aineiden kulutuksen vähenemisestä/muuttumisesta. Onnistuessaan edesauttaa ilmastonmuutoksen- ja vesistöjen suojelun tavoitteita.
--	-----------	--------------------	---	--

<p>Ilmasto- ja monimuotoisuustavoitteiden ja toimenpiteiden yhteistarkastelu: ristiriidat ja synergiat (Granholm 2020)</p> <p>Potentiaali: Lisäämällä metsien säästöpuiden määrää nykytasosta noin 50 %, maaperän hiilivarasto kasvaa ja metsien vuosittainen maaperän hiilinielu vahvistuu 1,26 Mt CO₂ vuoteen 2035 mennessä. Kaksinkertaistamalla vuosittainen säästöpuiden määrä, maaperän hiilinielu kasvaa noin 2,52 Mt CO₂/v vuoteen 2035 mennessä. (Lehtonen ym.2021)</p>	<p>Jalkauttaminen, mahdolliset tulomenetykset / kustannukset</p>	<p>Informaatio-ohjaus, koulutus</p>	<p>Ilmasto- ja monimuotoisuustavoitteiden ja käytäntöjen huomioiminen metsänhoidon suosituksissa ja suojelualueverkostoissa. Voimakkaampi suojelel vaikuttaa taloudelliseen hyödynnettävyyteen</p>	<p>Metsien hakkuiden merkittävä lisääminen voi heikentää metsäluonnon monimuotoisuutta ja lajiston hyvinvointia sekä pienentää hiilinieluja. Hakuilla on myös vaikutuksia metsän ylläpitämiin luonto- ja virkistysarvoihin ja kulttuuriperintöön. Toisaalta vanhojen metsien hiilensidonta on heikompaa ja ne voivat olla alttiimpia kasvitaudeille/tuhoille, mutta niiden kokonaishiilivarasto on tyypillisesti nuoria metsiä suurempi. (Tapio 2020). Hakuut vähentävät kuolleen puun määrää, mikä on tärkeä luonnon monimuotoisuutta ja erilaisia elinympäristöjä mahdollistava tekijä, metsissä useiksi vuosikymmeniksi (Sandström ym. 2019).</p> <p>Ilmasto- ja monimuotoisuustavoitteiden yhteensovittaminen voi edellyttää kompromisseja (jos keskenään vaihtosuhteisia) tai lisätä synergioita. Vaikutukset riippuvat pitkälti siitä, miten ilmasto- ja monimuotoisuustavoitteet</p>
--	--	-------------------------------------	--	---

				määritellään ja kuinka tiukkoja nielu- ja suojelutavoitteita ne sisältävät. Yhteensovittaminen myös vaikuttaa metsien talouskäyttöön, jolla on työllisyys/aluetaloudellisia vaikutuksia.
Valuma-aluekohtainen suunnittelu- ja toimintamalli suometsissä (Granholm 2020)	Jalkauttaminen, resurssit	Informaatio-ohjaus, tuet	Turvemailla kasvavien metsien vesiensäätelyllä ja metsänhoitotoimilla voidaan vähentää ojitettujen suometsien päästöjä ja vesistökuormitusta.	Oikein mitoitetuilla toimilla (vedenpinnan korkeuden säätely, kasvillisuus ja sen tuottama karike) voidaan hillitä suometsien ilmastopäästöjä (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) (Korkiakoski 2020). Tasapainoisella vesitaloudella/valuma-alueiden hoidolla voidaan ehkäistä suoluonnon monimuotoisuuden heikkenemistä ja ravinteiden/kiintoaineiden huuhtoutumisen haitallisia vaikutuksia (mm. vesistöjen rehevöityminen ja pohjien liettyminen). (Hiltunen ym. 2014)

<p>Turvemaametsien metsänkäsittelytapojen kokonaisvaikutukset ja kannattavuus -osaaminen (Granholm 2020)</p>	<p>Jalkauttaminen -kannusteet, kustannukset (kulurakenne turvemailla)</p>	<p>Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus Tutkimus, pilotit Metsälain uudistus</p>	<p>Päättehakkuiden korvautuminen osin jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksella, ylläpitäen peitteisyyden mutta mahdollistaen mm. poimintahakkuut.</p>	<p>Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen avulla voidaan säädellä turvemaiden hydrologiaa ja voi vähentää ilmastopäästöjä (erit. CO₂ ja CH₄, mutta N₂O päästöt voivat lisääntyä*) ja vähentää ravinnevalumia. (Mäkiranta 2020) . Voi lisätä hakkuita kivennäismailla tai puuntuontia, mikäli turvemaametsien puun tarjonta vähenee. Voi lisätä kustannuksia (työmäärä/toimenpiteet).</p>
<p>Hillinnän ja sopeutumisen edistäminen (Granholm 2020)</p>	<p>Jalkauttaminen, resurssit</p>	<p>Metsänhoidon suositusten päivittäminen</p>	<p>Ilmastonmuutoksen hillintää (nielujen vahvistaminen) ja varautumista sää- ja ilmastoriskeihin edistävien toimenpiteiden käyttöönotto</p>	<p>Hiilensidonnän ylläpitäminen ja lisääminen sekä varautuminen ilmastonmuutoksen riskeihin (sään ääri-ilmiöt, sateisuus, myrskytuhot, vieraslajit, kuivuus, palot) tukevat onnistuessaan sektorin elinvoimaisuutta ja ympäristöhaittojen sekä taloudellisten vahinkojen minimoimista. Sopeutumisen toimenpiteet edellytyksenä hiilensidontakyvyn säilymiselle (maaperä/metsät) ja ilmastopäästöjen vähentämiselle. (Lehtonen ym. 2020b) Hillinnän ja sopeutumisen yhteensovittaminen ja sen</p>

				vaikutukset riippuvat pitkälti siitä, minkälaisia tavoitteita niille asetetaan. Lyhyellä aikavälillä voi olla vaihtosuhteita mutta pidemmällä aikavälillä luultavasti enimmäkseen synergioita.
<p>Hakkuiden rajoittaminen</p> <p>Potentiaali: Metsänraivausalan (metsäkadon) puolittaminen vähentäisi päästöjä 0,58 Mt CO₂ ekv./v vuoteen 2035 mennessä. Turvemilla 75 % vähennys metsäkadossa tarkoittaisi 0,68 Mt CO₂ ekv./v päästövähennystä 2035 mennessä. (Lehtonen ym. 2021). Hakkuiden vuotuinen rajoittaminen kasvattaa metsien nettohiilinielua noin 0,9–1,7 Mt CO₂/Mm³ vuosikymmeniksi (Kalliokoski ym. 2019).</p>	<p>Nielujen kasvattamiseen tai hakkuiden rajoittamiseen pyrkivien kannustimien, ohjauskeinojen ja sääntelyn puute</p>	<p>Taloudelliset kannustimet nielujen lisäämiselle tai hakkuiden rajoittamiselle, normatiiviset hakkuurajoitukset tai käyttörajoitukset (esim. ympäristölupasääntely). Maankäytön muutosmaksu.</p>	<p>Hakkuut vähentyvät alueilla, joihin toimet kohdistuvat.</p>	<p>Nielut lisääntyvät alueilla, joihin toimet kohdistuvat. Toteutuksesta riippuen saattaa tapahtua hakkuiden siirtymistä ja hiilinielun kohdistuvaa vuotta Suomen rajojen sisällä tai ulkopuolelle. Metsäteollisuuden tuotantovolyymit saattavat alentua tai siirtyä toisaalle.</p> <p>Hakkuiden vähentyminen tai loppuminen vaikuttaa pitkällä aikajänteellä positiivisesti luonnon monimuotoisuuteen ja esim. vesistöjen tilaan kun ravinnehuuhtoumat vähentyvät mekaanisen maan muokkauksen vähennyttyä (Kenttämies & Mattson 2006), lajien elinympäristöjen säilymiseen (joihin vaikuttaa mm. kuolleen puun määrä ja muu lajiversiteetti, joka on suurempaa vanhoissa metsissä) (Sandström ym. 2019)</p>

LULUCF-sektori: viljelysmaa

Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Kivennäismaiden hiilensidonta mm. kerääjäkasvialan lisääminen (Granholm 2020) Potentiaali: 0,69 Mt CO ₂ ekv. Vuosittainen vähennys 2035 mennessä (0,86 Mt CO ₂ ekv./v. vuoteen 2050), mutta vaatii merkittäviä muutoksia tuotantoon lähes puolella koko kivennäismaapeltojen kokonaisalasta. (Lehtonen ym. 2021/PB) Kustannusarvio: Hiilen sidonta maaperään 0–100 US\$/tCO ₂ (Fuss ym. 2018)	Pysyvyys, mittaus, todentaminen - seuranta ja toteutus vaatii resursseja Pinta-ala suuri; maataloustuet eivät riitä ohjaamaan tuotanto-/viljelymuutosta (Lehtonen ym. 2021)	Markkinoiden edistäminen, tutkimus ja koulutus, kannustinjärjestelmä (Paloneva & Takamäki 2020)	Toimenpiteet, joissa kasvatetaan kivennäismaiden peltojen orgaanisen aineen määrää maaperässä erilaisin viljelymenetelmin.	Vähentää ilmastovaikutuksia, lisää hiilensidontaa. Orgaaninen aines lisää maaperän vedenpidätyskykyä ja estää siten ravinteiden huuhtoutumista (erosio), jolloin myös maaperän rakenne ja hedelmällisyys paranevat (maaperän multavuus ja viljeltävyys). (Heinonsalo 2020, Lal 2004)
Yksivuotisten kasvien vähäisempi viljely, maan muokkauksen vähentäminen, nurmiviljelyn lisääminen (Granholm 2020)	tietotaito, kustannukset, hiilensidontan mittaus	Informaatio-ohjaus, kannustinjärjestelmä (tuet, hiilikompensaatio), TKI	Peltomaiden maaperän koostumus muuttuu.	Monivuotisten kasvien ja nurmen viljely lisää hiilensidontaa, kun juuristo kasvaa syysviljojakin laajemmalle ja ulottuu syvemmälle. Juuriin sitoutunut hiili rikastuttaa (mikrobien avulla) maan multavuutta. Maan muokkauksen vähentäminen (/kasvipeitteisyys) hillitsee eroosiota ja ravinnevalumia, erityisesti sateisuuden lisääntyessä ilmastomuutoksen vaikutuksena. (Luke 2020a)

<p>Ennallistettavat tai viljelykäytöstä poistettavat turvemaat (Granholm 2020, Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Tulonmenetykset (maataloustuet), kustannukset</p>	<p>Peltolohkojen vaihdon sujuvoittaminen maatiilojen kesken -viljelyn ohjaaminen kivennäismaille</p>	<p>Viljelykäytöstä poistuneet turvemaat ennallistetaan, veden pinta nousee</p>	<p>Ennallistamis- ja/tai hoitomenetelmistä riippuen ilmastovaikutukset voivat lisääntyä tai vähentyä, riippuen erityisesti lisääntyneiden metaanipäästöjen ja vähentyneen turpeen hajoamisen hiilidioksidipäästöjen tasapainosta. Saattaa luoda alueellista epätasa-arvoisuutta (turvemaiden alueellinen jakaantuminen) ja tulonmenetyksiä.</p>
<p>Täsmäviljely/ tarkkuusviljely, digitalisaatio (Paloneva & Takamäki 2020)</p>	<p>Kustannukset ja resurssit (teknologia ja sovelluskehitys)</p>	<p>Informaatio-ohjaus, kustannustehokkuus</p>	<p>Paikkakohtainen viljely edistää maaperän mukaista käsittelyä (peruslannoitus typpilannoitus, kylvö, kasvinsuojelu) ja siten satojen vakautta. Digitalisaatio mahdollistaa esim. ravinnekarttojen ja ph-arvojen seurannan.</p>	<p>Kustannustehokkuus ja lannoituksen toimenpiteiden tarkoituksenmukaisuus (olosuhteet, topografia) voi vähentää esim. ravinteiden ja tuholaistorjunta-aineiden käyttöä, tarpeetonta maanmuokkausta sekä päästöjä. Luo mahdollisuuksia ilmastonmuutoksen hillintään ja sopeutumiseen. Hiilensidonnin ja maaperän muutosten seuranta ja riskien ennakointi oleellista.</p>

LULUCF-sektori: ruohikkoalueet, kosteikot				
Päästövähennysteknologia/ ratkaisu, päästövähennyspotentiaali- ja kustannusarvio	Keskeinen haaste käyttöönotolle	Mahdollinen ohjauskeino käyttöönoton edistämiseksi	Vaikutusketju päästövähennysten ja muiden ympäristövaikutusten syntymiselle	Keskeiset mahdolliset ympäristövaikutukset
Ruohikkoalueet: Monilajiset, satoiset nurmet, tuotanto- ja kesantonurmet	Tietotaito/oikeat nurmiviljely-tekniikat, tuet	Informaatio-ohjaus	Maan ympärivuotisen kasvipeittävyuden ylläpitäminen ja maan muokkauksen vähentäminen	Edistää orgaanisen aineen lisääntymistä, vähentää eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista, lisää hiilensidontaa. (Heinonsalo 2020) Hiilensidonnan ja maaperän muutosten seuranta ja riskien ennakointi oleellista.
<p>Kosteikot: Säätosalojitus turvemaidella (Granholm 2020)</p> <p>Potentiaali: 0,91 Mt CO₂ ekv./v päästövähennys vuoteen 2035 mennessä, jos käyttötapaa muutetaan yht. 50 000 hehtaarilla (josta puolet yksivuotisten ja puolet monivuotisten lajien viljelystä) siten, että siirrytään nurmiviljelyyn määrillä pelloilla (633 ha/ v), lisätään kosteikkoviljelyä (333ha/v), palautetaan luonnon kosteikoiksi (500 hehtaaria vuodessa) ja jätetään käytön ulkopuolelle (1 900 hehtaaria vuodessa). (Lehtonen ym. 2021)</p>	Pohjaveden nostoon tarvittavan säätosalojituksen investointikulut, epävarmuus maan kantavuuden säilymisestä ja vaikutukset viljeltäviin satolajikkeisiin (viljelyn tuottavuus/ kannattavuus) (Luke 2020b)	<p>Kosteikkoviljelyn tukeminen ja perinteisen ojitukseen perustuvan suoviljelyn tukien asteittainen lakkauttaminen tai alentaminen, tukien maksaminen ekosysteemipalvelujen tuottamisesta.</p> <p>Kansallinen hiilikompensaatiojärjestelmä, joka kannustaa hiilensidontaa ja hiilivaraston ylläpitoon (Berninger ym. 2020)</p>	<p>Pohjaveden nosto/lasku turvemaiden viljelyssä. Pohjaveden nosto pitää turvetta veden alla ja hidastaa sen hajoamista.</p> <p>Toimenpide vaikuttaa turvepeltojen viljeltävyyteen ja viljelyn kannattavuuteen.</p>	<p>Vedenpinnan nosto vähentää turpeen hajoamisesta syntyviä hiilidioksidipäästöjä, mutta saattaa lisätä metaanipäästöjä.</p> <p>Onnistuessaan hiilidioksidiekvivalenttipäästöt vähenevät.</p> <p>Viljely voi muuttua kannattamattomaksi ja viljelyyn sopivien satolajikkeiden määrä kaventuu ja niillä voi olla alhainen markkinahinta/kysyntä. Vähentää viljeltävän kokonaispeltoalan tuottavuutta.</p>

<p>Kosteikkoviljely (Granholm 2020)</p> <p>Potentiaali: (ks. yllä) [Potentiaali: 5,8kha/v-0,24MtCO₂ekv./v 2035 mennessä (Lehtonen ym. 2021)]</p>	<p>Viljelytuotteiden alhainen kysyntä, kustannukset (Berninger ym. 2020)</p>	<p>Kannustimet päästövähennysten tuottamiseen, sekä osin nykyisten tukiehtojen uudelleenarviointi</p>	<p>Kosteikkoviljelyllä ylläpidetään kasvipeitteisyyttä viljelemällä kostean maan kasveja kuten ruokohelpeä, suomarjoja tai pajua hyötykäyttöön. Kosteikkoviljelyn tarkoituksena voi olla myös päästövähennys, jos viljelijälle maksetaan siitä.</p>	<p>Kasvipeitteisyys vähentää turpeen hajoamista ja siten ilmastopäästöjä. Voi kuitenkin lisätä metaanipäästöjä. Vesistövaikutusten ja valumien hallinta helpottuu.</p> <p>Kosteikkoviljelyn (lajikkeiden) kannattavuus ilman tukia voi olla huono, ja ylläpito/työpanos (maaperän kantavuus, säättösalaojitus) voi lisätä kustannuksia, jotka voivat kuormittaa tiloja ja vähentää tuottoja (Luke 2020a)</p>
--	--	---	---	--

<p>Tuhkalannoitus ojitetuilla soilla/turvemailla (Granholm 2020)</p> <p>Tuhkalannoittamalla ojitettuja soita vuosittain 30 000 ha vuosina 2021-25 ja 100 000 ha vuosina 2026-2030 saavutetaan noin 0,28 Mt CO₂ lisänielu vuonna 2035. (Lehtonen ym. 2021)</p>	<p>Kustannukset, jalkauttaminen</p>	<p>Tuet</p>	<p>Edistää metsien kasvua ja siten hiilensidontaa. Vähentää ojien kunnostustarvetta ja parantaa turvemaiden vesitasapainoa puuston kasvun ja haihdutuskyvyn parantumisen myötä (MMM 2020).</p>	<p>Vähentää ilmastopäästöjä parantamalla metsien kasvua ja hiilensidontaa, mutta voi toisaalta lisätä maaperän hiilen vapautumista (Saksa ym. 2020, Ojanen ym. 2019). Toisaalta maaperän karikkeen (biomassan) lisäys edistää maaperän hiilensidontaa (Huotari 2012). Tuhkalannoitus voi lisätä vesistöjen ravinnekuormitusta (tuhkan ja turpeen koostumus vaikuttaa) ja hiilidioksidipäästöjä, varsinkin jos sitä käytetään jo typpirikkaaseen maaperään (Huotari 2012), lisäksi jatkuva tuhkalannoitus voi johtaa ekosysteemiperäisen hiilen menetykseen (Ojanen ym. 2019).</p>
--	-------------------------------------	-------------	--	---

<p>Puun käytön edistäminen pitkäikäisissä puutuotteissa; tutkimus ja tuotekehitys sekä sivuvirtojen hyödyntäminen (Granholm 2020)</p> <p>Potentiaali: 22 000 kha/v (toimenpiteen vuosittainen pinta-ala, jolla toimintaa muutettava vaikutuksen aikaansaamiseksi) 1,50 Mt CO₂ ekv./v (Lehtonen ym. 2021)</p>	<p>Metsäteollisuuden rakenne, tukki- ja kuitupuun suhteet, kysynnän ja taloudellisten kannustimien puute</p> <p>Puutuotteiden päästövähennyksien toteutumiseen vaikuttaa globaali puun kysyntä (Lehtonen ym. 2021)</p>	<p>Pitkäikäisten puutuotteiden tuotannon lisääminen kotimaista käyttöä edistämällä sääntelyllä ja taloudellisilla ohjaukeinoilla, TKI</p>	<p>Pitkäikäisten puutuotteiden käyttö lisääntyy joko vientiä vähentämällä tai tuotantoa lisäämällä.</p>	<p>Puutuotteiden hiilivarasto kasvaa (vaikutus Suomelle laskettavaan puutuotteiden hiilitaseeseen riippuu laskentatavasta, tuotteista ja muutoksesta puutuotteiden tuotantomäärissä). Jos kotimaisesta puusta tuotettavien puutuotteiden määrä lisääntyy, hakkuut lisääntyvät, mikä pienentää metsien hiilinielua todennäköisesti enemmän kuin puutuotteiden hiilivarasto kasvaa.</p> <p>Uusiutumattomien rakennusmateriaalien korvautuminen lisääntyy ja niihin liittyvät päästöt vähenevät (vaikutus Suomessa riippuu siitä, vähentyykö uusiutumattomien materiaalien tuotanto Suomessa). Voi muuttaa metsien käsittelytapoja ja pidentää kiertoaikoja.</p>
---	--	---	---	---

<p>Heikkotuottoisten peltojen metsittäminen (turve ja kivennäismaat) (Granholm 2020, Paloneva & Takamäki 2020)</p> <p>Potentiaali: 3,8–17,1 tCO₂ ekv./ha/v riippuen alueen aikaisemmasta maankäyttömuodosta, maalajista, puulajista ja metsityksestä kuluneesta ajasta.</p> <p>Metsittämällä 6 000 ha/v seuraavan 15 vuoden ajan saavutetaan noin 0,19 Mt CO₂ lisänielu vuonna 2035.</p> <p>Metsityspotentiaali ILMAVA-hankeen arvion mukaan 45 000–90 000 ha 2035 mennessä (Lehtonen ym. 2021).</p> <p>Kustannusarvio: metsitys 5–50 US\$/tCO₂ (Fuss ym. 2018)</p>	<p>Maataloustuet ja niiden ehdot pitävät huonoakin peltoa tuotannossa.</p> <p>Viljelijöiden tulomenetykset; maataloustuet.</p> <p>Edellyttää valvontaa ja monitorointia.</p> <p>Metsityksen suorat kustannukset (ml. pellon taimikon hoito) ovat korkeat, jolloin heikkotuottoinen investointi ilman taloudellisia kannustimia. (Lehtonen ym. 2021)</p>	<p>Joutoalueiden metsitystuki, metsäkadon kompensatiojärjestelmä ja muu taloudellinen ohjaus (esim. asteittain aleneva tuki pitkäaikaisille viljelemättömille peltolohkoille)</p>	<p>Heikkotuottoisia peltoja metsitetään.</p>	<p>Metsityksen avulla voidaan lisätä hiilensidontaa ja siten vähentää ilmastopäästöjä. Vaikutuksia albedoon ja aerosolipäästöihin.</p> <p>Metsitystoimet voivat parantaa ekosysteemien tilaa, mutta ne voivat lisätä monimuotoisuuden turvaamisen kannalta vähäarvoista metsäpinta-alaa ja viedä tilaa perinnemaisemilta ja aiheuttaa haittaa maatalousluonnon monimuotoisuudelle, ellei näiden kannalta tärkeitä alueita onnistuta rajaamaan pois metsitettävistä alueista. Parhaimmillaan metsitys parantaa maaperän vedenpidätyskykyä, ehkäisee eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista (Koivusalo & Laurén 2011).</p> <p>Peltojen ja turvetuotantoalueiden metsitys voi vähentää vesistöjen ravinne- ja kiintoainekuormitusta, ja turvetuotantoalueiden metsityksellä voi olla positiivinen vaikutus maisemaan, monimuotoisuuteen ja alueen virkistyskäyttöön.</p> <p>Turvellon avulla maanparannus ja metsitys lisäävät pintakasvillisuutta biomassan ja lajiston osalta</p>
--	---	---	--	---

				(vaikkakin hitaasti), mikä tukee kasvupaikkojen monimuotoisuutta (Lehtonen ym. 2021). Joutomaiden metsitys esim. kompensationsa tai hiilensidontamaksun myötä voi tuoda tuottoja maanomistajalle. Metsitykseen tarjolla huonokuntoisia/ joutilaita peltoja eikä metsitys siten välttämättä vähennä käytössä olevaa peltoalaa, jolloin tuotannon siirtymiin liittyvien epäsuorien markkinavaikutusten riski on vähäinen.
Maankäytön ja rakentamisen ilmastovaikutusten laskeminen/ kaavoitus (Granholm 2020)	Yksityinen maa, kustannukset, tottumukset	MRL:n uudistus (mm. alueiden käytön laadulliset vaatimukset, rakennusten hiilijalanjäljen arviointi/raja-arvot), maankäytön muutokseen kohdistuvat maksut.	Vähentää metsäkatoa. Ilmastonmuutoksen hillinnän ja sopeutumisen huomiointi yhdyskuntarakenteen, liikenneverkoston ja energiamuotojen ja viheralueverkoston suunnittelussa. Rakennusten hiilijalanjäljen laskeminen ja asetetut raja-arvot vaikuttavat rakentamisen materiaali-, toteutus- ja lämmitystapavalintoihin.	Voi vähentää ilmastovaikutuksia, esim. metsäkadon vähenemisen, vähentyneen energiankäytön tarpeen, materiaalivalintojen kautta. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen edellytykset voivat parantua. Vaikutukset riippuvat käytännön toteutuksesta ja ohjauksesta, esim. yhdyskuntarakenteen tiivistäminen voi vähentää energiankulutusta ja päästöjä, mikäli liikkuminen vähentyy, energiatehokkuus lisääntyy, mutta kokonaisvaikutukset riippuvat käytöksen ja kulutuksen muutoksista sekä valvonnasta. (Piironen ym. 2021)

<p>Lannan prosessointi ja tuotteistus (HO: ravinnekierron toimenpidekokonaisuus) (Granholm 2020)</p>	<p>Investoinnit/ kustannukset</p>	<p>(Biokaasuohjelma) Kiertotalous</p>	<p>Vähentää lannan levitystarvetta ja siten pellonraivausta/metsäkatoa</p>	<p>Voi vähentää metsäkatoa ja siitä aiheutuvia päästöjä sekä fossiilisten polttoaineiden käyttöä biokaasun korvauksella sitä. Lannan levityksestä aiheutuvat khk-päästöt vähenevät ja typen kierrätys parantuu. Biokaasulaitosten rakentaminen vaatii materiaaleja ja lannan kuljetuksen päästöt saattavat lisääntyä, mitkä vähentävät ympäristöhyötyjä.</p>
<p>Tilusjärjestelyjen edistäminen; HO peltorakenteen kehittämissuunnitelma (Granholm 2020)</p>	<p>Lainsäädäntö, kannusteiden puute.</p>	<p>Raivausmaksu, pitkät vuokrasopimukset, peltojen myyminen aktiiviviljelijöiden käyttöön</p>	<p>Vähentää pellonraivausta ja parantaa viljelyn logistiikkaa.</p>	<p>Voi vähentää metsäkatoa ja siitä aiheutuvia päästöjä sekä edistää metsien monimuotoisuutta, virkistys-arvoja ja puuntuotantoa. Tilusjärjestelyt voivat olla hallinnollisesti raskaita ja vaikuttavuudeltaan vaatimattomia. (Kärkkäinen ym. 2019). Luo taloudellista toimeliaisuutta, parantaa liikenneturvallisuutta ja liikenteen sujuvuutta. (Maanmittauslaitos 2019). Erialaisten alueellisten viljelyolosuhteiden vuoksi uuden pellon raivaamisen lopettaminen kokonaan voi vaikeuttaa maatilojen tuotannon tehostamista ja tilojen mahdollisuuksia jatkaa toimintaansa (Kärkkäinen ym. 2019)</p>

Lähteet taulukkoon:

- Aho, M., Hakala, L., Karttunen, V., Pursula, T., Saario, M., Tommila, P. & Vanhanen, J. 2013. Arvoa ainekerroista – teollisten symbioosien globaali markkinakatsaus. Sitra. <https://media.sitra.fi/2013/09/19140001/Selvityksia70.pdf>
- Arponen, J. 2014. Esteet pois teollisten symbioosien tieltä. Sitra. <https://www.sitra.fi/artikkelit/esteet-pois-teollisten-symbioosien-tieltä/>
- Autokalkulaattori 2020. Autokalkulaattori ilmastovaikutusten ja kustannusten arviointiin. Suomen ilmastopaneeli ja Suomen ympäristökeskus SYKE. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/autokalkulaattori/>
- Berninger, K., Kekkonen, H., Saarnio, S., Lehtonen, H., Regina, K., Mäkipää, R. 2020. Maatalouden tukijärjestelmää kehitettävä tukemaan viljeltyjen turvemaiden ilmastokestävää käyttöä. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-994-1>
- BSAG, Baltic Sea Action Group, 2021. Sataman pilottihankkeesta ratkaisuja jätevirtojen vastuulliseen käsittelyyn. Uutinen 31.3.2021. <https://www.bsag.fi/fi/oulun-satama-pilottihanke/>, [viitattu 6.4.2021].
- Church, C. & Crawford, A. 2018. Green Conflict Minerals: The fuels of conflict in the transition to a low-carbon economy. IISD. <https://www.iisd.org/system/files/publications/green-conflict-minerals.pdf>
- Daiyan, R., MacGill, I. & Amal, R. 2020. Opportunities and Challenges for Renewable Power-to-X. ACS Energy Lett. 2020, 5, 12, 3843–3847. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenerylett.0c02249>
- EC 2018. What encourages farmers to participate in collective biogas investment? Science for Environment Policy. Issue 517, 21 November 2018. https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/what_encourages_farmers_to_participate_in_collective_biogas_investment_517na1_en.pdf
- EEA, European Environment Agency, 2018. Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives. TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report. EEA Report No 13/2018. <https://www.eea.europa.eu/highlights/eea-report-confirms-electric-cars>.
- ETL, Elintarviketeollisuusliitto, 2020. Elintarviketeollisuuden tiekartta vähähiilisyteen. <https://www.etl.fi/media/aineistot/nettisisaltojen-liitteet/elintarviketeollisuuden-tiekartta-vahahiilisyteen.pdf>
- Fajardy, M., Chiquier, S. & Mac Dowell, N. 2018. Investigating the BECCS resource nexus: delivering sustainable negative emissions. Energy Environ. Sci., 2018, 11, 3408–3430. <https://doi.org/10.1039/C8EE01676C>

Fuss, S., Lamb, W.F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T., Luderer, G., Nemet, G.F., Rogelj, J., Smith, P., Vicente Vicente, J.L., Wilcox, J., del Mar Zamora Dominguez, M. & Minx, J.C. 2018. Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side-effects. *Environmental Research Letters*, 13, 063002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f>

Granholm, H. 2020. Maankäyttösektorin toimenpidekokonaisuuden seurantaryhmä; tavoitteet ja toiminta, 5.6.2020. <https://mmm.fi/maankayttosektorin-ilmastosuunnitelma/toimenpiteet>

Granskog, A., Gulli, C., Melgin, T., Naucler, T., Speelman, E., Toivola, L. & Walter, D. 2018. Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 for Finland. Opportunities in electrification and beyond. SITRA. <https://www.sitra.fi/julkaisut/kustannustehokas-paastovahennyspolku-vuoteen-2030-suomelle/>

Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A. & Williams, A. G. 2019. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*.9(1):69–76. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>

HE 48/2021. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta ja eräiksi muiksi laeiksi. <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f8071a324>

Haanperä, O. 2019. Korjaako markkinavakaussaranto EU:n päästökaupan? Sitra, Puheenvuoro, 28.3.2019. <https://www.sitra.fi/blogit/korjaako-markkinavakaussaranto-eun-paastokaupan/>

Heinonsalo, J. 2020. Hiiliopas – Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin. 1. painos. <https://carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S. & Allen, M.F. 2014. Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 29. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>

Hiltunen, T., Jämsén, J., Joensuu, S., Heikkinen, K. & Vuollekoski, K. 2014. Opas metsätalouden vesiensuojelun suunnitteluun valuma-alueella. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-972-0>

Hiilineutraalisuomi 2021. Uusiutuvan energian potentiaali maakunnissa. https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Paastot_ja_indikaattorit/Uusiutuvan_energian_potentiaali

Horn, S., Seppänen, A.-M., Winqvist, W., Lehtoranta, S. & Luostarinen, S. 2020. Biokaasulaitoksen mädätysjäätännöksen hyödyntämismahdollisuudet – vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. <http://hdl.handle.net/10138/321266>

Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Metsäntutkimuslaitos (Metla). <https://juku.luke.fi/bitstream/handle/10024/504366/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena%5b1%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Häkkilä, M., Johansson, A., Sandgren, T., Uusitalo, A., Mönkkönen, M., Puttonen, P. & Savilaakso, S. 2021. Are small protected habitat patches within boreal production forests effective in conserving species richness, abundance and community composition? A systematic review. *Environmental Evidence* 10: 2 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13750-020-00216-6>

Hämäläinen, S., Karvonen, I., Laukkanen, M., Jansson, K., Patala, S., Tonteri, H., Uoti, M., Vatanen, S. & Antikainen, M. 2014. Teollisuuden uudet verkostomaiset toimintamallit materiaalitehokkuuden ja kestävän kilpailukyvyn edistäjinä - Kehityspolku kohti uusia toimintatapoja. Jyväskylän yliopisto/DEMANet. <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/44887/1/978-951-39-6026-1.pdf>

IAEA, International Atomic Energy Agency, 2018. Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2018). Saatavilla: <https://www.iaea.org/publications/14749/uranium-raw-material-for-the-nuclear-fuel-cycle-exploration-mining-production-supply-and-demand-economics-and-environmental-issues-uram-2018>

ITU, International Telecommunication Union, 2020. 5G, human exposure to electromagnetic fields (EMF) and health. <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/5G-EMF-health.aspx>, [viitattu 13.8.2021].

Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkinen, K., Byrne, K. A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, Volume 137, Issues 3–4, Pages 253-268. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>

Jerez, S., Tobin, I., Vautard, R., Montávez, J.P., López-Romero, J.M., Thais, F., Bartok, B., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Nikulin, G., Kotlarski, S., van Meijgaard, E., Teichmann C. & Wild, M. 2015. The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. *Nature Communications*. 6, 10014 (2015). <https://doi.org/10.1038/ncomms10014>

Kaiser, S. & Bringezu, S. 2020. Use of carbon dioxide as raw material to close the carbon cycle for the German chemical and polymer industries, *Journal of Cleaner Production*. 271, 122775. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122775>

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 raportti, 2/2019. 88 s. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/02/Ilmastopaneeli_mets%C3%A4mallit_raportti_180219.pdf

Kangas, H.-L., Turunen, T., Karhinen, S., Kotilainen, A., Piikkilä, V., Pihlajamaa, P., Harsia, P., Vainio, T., Vesänen, T., Mattinen-Yuryev M. & Ohrling, T. 2019. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi: automaatiovelvoite, tekniset järjestelmät sekä lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien tarkastukset. Saatavilla: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B069B79BA-48AE-4D78-B9BB-E995B7F0E06A%7D/146152>

Kenttämies, K. & Mattsson, T. 2006. Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE- projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/40492>

Koivusalo, H. & Laurén, A. 2011. Metsät osana veden kiertoa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2011. <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6814.pdf>

Koljonen, T., Aakkula, J., Honkatukia, J., Soimakallio, S., Haakana, M., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Kärkkäinen, L., Laitila, J., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Maanavilja, L., Ollila, P., Siikavirta, H. & Tuomainen, T. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot. <https://www.vtresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2020/T366.pdf>

Koljonen T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Similä, L., Honkatukia, J., Hildén, M., Rehunen, A., Saikku, L., Salo, M., Savolahti, M., Tuominen, P. & Vainio, T. 2019. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24/2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-656-0>

Korkiakoski, M. 2020. The short-term effect of partial harvesting and clearcutting on greenhouse gas fluxes and evapotranspiration in a nutrient-rich peatland forest. Finnish Meteorological Institute. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/322172>

Kramers, A., Ringenson, T., Sopjani, L. & Arnfalk, P. 2018. AaaS and MaaS for reduced environmental and climate impact of transport. Creating indicators to identify promising digital service innovations for reduced demand and optimized use of transport resources. EPIC Series in Computing. Volume 52:137–152. https://intra.kth.se/polopoly_fs/1.825715.1600689098!/AaaS_and_MaaS_for_reduced_environmental_and_climate_impact_of_transport.pdf

Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhainen, L., Laturi, J., Lehtonen, H., Lintunen, J., Niskanen, O., Ollila, P., Peltonen-Sainio, P., Regina, K., Salminen, O., Tuomainen, T., Uusivuori, J., Wall, A. & Packalen, T. 2019. Maankäyttösektorin toimien mahdollisuudet ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161339/67-2018-MISA.pdf>

Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, Vol 304, Issue 5677. pp. 1623-1627. DOI: [10.1126/science.109739](https://doi.org/10.1126/science.109739)

Lapp T. & Ikkänen, P. 2017. HTC-ajoneuvojen liikennejärjestelmävaikutukset. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 57/2017. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2017-57_hct-ajoneuvojen_web.pdf

Latvala, M. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24 / 2019. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf

Liobikiene, G., Balezentis, T., Streimikiene, D. & Chen, X. 2019. Evaluation of bioeconomy in the context of strong sustainability. *Sustainable Development*. 27(5):955-964. <https://doi.org/10.1002/sd.1984>

Lehtomäki, H., Karvosenoja, N., Paunu, V.-V., Korhonen, A., Hänninen, O., Tuomisto, J., Karppinen, A., Kukkonen, J. & Tainio, M. 2021. Liikenteen terveysvaikutukset Suomessa ja suurimmissa kaupungeissa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 16/2021. <http://hdl.handle.net/10138/329273>

Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkinen, P., Rätty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall,

A. & Mäkipää, R. 2021. Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-152-3>

Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S. & Niemi, J. 2020a. Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry. Helsinki. <https://www.mtk.fi/ilmastotiekartta>

Lehtonen, I., Venäläinen, A., & Gregow, H. 2020b. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Raportteja 2020:5. Ilmatieteen laitos. <http://hdl.handle.net/10138/319348>

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>

LVM, Liikenne- ja viestintäministeriö, 2011. Kävelyn ja pyöräilyn valtakunnallinen strategia 2020. Ohjelmia ja strategioita 4/2011. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-234-6>

LVM, Liikenne- ja viestintäministeriö, 2018. Kävelyn ja pyöräilyn edistämishjelma. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 5/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-549-1>

Liikenne ja viestintävirasto, Traficom. 2021. Tietoa tuulivoimaloiden rakentajille. <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/tietoa-tuulivoimaloiden-rakentajille>

Luke, Luonnonvarakeskus, 2020a. Nurmen hiilensidonta on tekniikkalaji – tutkimus kirittää ikivanhaa ruoantuotantotapaamme. Luonnonvarakeskus 14.8.2020. <https://www.luke.fi/nurmen-hiilensidonta-on-tekniikkalaji/>

Luke, Luonnonvarakeskus 2020b. Metsän jatkuvapeitteinen kasvatus. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsanhoito/metsan-jatkuva-kasvatus/>

Luke, Luonnonvarakeskus, 2021. Ruokahävikki ja ruokajärjestelmän kiertotalous. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/ruoka-ja-ravitsemus/ruokahavikki/>

Maanmittauslaitos 2019. Tilusjärjestelyllä laajat yhteiskunnalliset vaikutukset. <https://www.maanimittauslaitos.fi/ajankohtaista/tilusjarjestelylla-laajat-yhteiskunnalliset-vaikutukset>

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., Khanna, T., Lenzi, D., Luderer, G., Nemet, G.F., Joeri Rogelj, J., Smith, P., Vicente Vicente, J.L., Wilcox, J. & del Mar Zamora Dominguez, M. 2018. Negative emissions—Part 1: Research landscape and synthesis. Environmental Research Letters, 13, 6. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabf9b/meta>

MMM, Maa- ja metsätalousministeriö, 2020. Metsien tuhkalannoituksen tuki laajenee, valtioneuvosto hyväksyi asetusmuutoksen. Tiedote 2.4.2020. <https://mmm.fi/-/metsien-tuhkalannoituksen-tuki-laajenee-valtioneuvosto-hyvaksyi-asetusmuutoksen>

Mustonen, T. 2019. Geoterminen energia energian tuotannossa. Opinnäytetyö. Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto (LUT). <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159952/Kandi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Material Economics 2018. The circular economy – a powerful force for climate mitigation. <https://media.sitra.fi/2018/05/04145239/material-economics-circular-economy.pdf>
- Mäkiranta, P. 2020. Ajankohtaista suometsien ilmastokestävän käytön tutkimuksesta. Luonnonvarakeskus. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/05/P%C3%A4ivi-M%C3%A4kiranta_suomets%C3%A4-ajankohtaista.pdf
- Nordic Council of Ministers 2020. Nordic criteria for Green Public Procurement (GPP) for alternatives to high GWP HFCs in refrigeration, air conditioning and heat pump (RACHP) products. <https://www.norden.org/en/publication/nordic-criteria-green-public-procurement-gpp-alternatives-high-gwp-hfcs-rac-products>
- Nordic Council of Ministers 2021. Monitoring Food Waste and Loss in the Nordic region. Definitions, methods and measures for prevention. <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1540045/FULLTEXT01.pdf>
- Närvänen, E., Mesiranta, N., Mattila, M. & Heikkinen, A. 2020. Food Waste Management: Solving the Wicked Problem. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4>
- Oinonen, T. & Soimakallio, S. 2001. HFC- ja PFC-yhdisteiden sekä SF6:n päästöjen tekniset vähentämiskeinot ja niiden kustannukset Suomessa. VTT Tiedotteita, 174 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2099.pdf>
- Ojala T., Mettälä, M., Heinonen, M., Oksanen, P. (toim.). 2020. Ekologisesti kestäväällä digitalisaatiolle ilmasto- ja ympäristötavoitteisiin. ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:19. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-606-1>
- Ojala, T. & Oksanen P. 2021. ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategia. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:4. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-587-3>
- Ojanen, P., Penttilä, T., Tolvanen, A., Hotanen, J-P., Saarimaa, M., Nousiainen, H. & Minkkinen, K. 2019. Long-term effect of fertilization on the greenhouse gas exchange of low-productive peatland forests. Forest Ecology and Management, 432:786-798. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.015>
- Ottelin, J., Heinonen, J. & Junnila, S. 2018. Carbon footprint trends of metropolitan residents in Finland: how strong mitigation policies affect different urban zones. Journal of Cleaner Production, 170:1523-1535. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.204>
- Paloneva, M & Takamäki, S. 2020. Yhteenveto toimialojen vähähiilitiekartoista. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:52. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162494>
- Piira K. 2020. Kysyntäjoustopotentialit – case Smart Otaniemi. VTT. https://energiivisaat.fi/wp-content/uploads/2020/06/Piira_VTT_sahkon-kysyntajousto_Otaniemi.pdf
- Piironen, M., Saastamoinen, U., Leskinen, P., Oinonen, K., Malmi, P., Strandell, A., Rehunen, A., Vartiainen, K., Saarela, S-R., Sankelo, P., Kangas, H-L., Peltomaa, J., Ruokamo, E. & Rummukainen, M. 2021. Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksen ilmastovaikutusten arviointi. Ympäristöministeriö. https://mrluudistus.fi/wp-content/uploads/2021/01/MRL_ilmastovaikutusten_arviointi_raportti_taitettu_150121.pdf

- Poore, J & Nemecek, T 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*. 360, (6392):987-992. DOI: [10.1126/science.aag0216](https://doi.org/10.1126/science.aag0216)
- Ra E.C., Kim, K.Y., Kim, E.H., Lee H., An K. & Lee, J.S. 2020. Recycling Carbon Dioxide through Catalytic Hydrogenation: Recent Key Developments and Perspectives. *ACS Catalysis* 2020 10 (19), 11318-11345. <https://doi.org/10.1021/acscatal.0c02930>
- Rabaia M.K.H., Abdelkareem, M.A., Sayed, E.T., Elsaid, K., Chae, K.-J, Wilberforce, T. & Olabi, A.G. 2021. Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of The Total Environment*. 754, 141989. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141989>
- Reinikainen, T. & Johansson, A. 2019. Kestävät julkiset hankinnat F-kaasujen käytön ja päästöjen vähentämisessä. <http://hdl.handle.net/10138/303374>
- Sahateollisuus 2020. Ilmastoviisas sahateollisuus. Sahateollisuuden hiilitiekartta -raportti. https://sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st_hiilikartta_raportti.pdf
- Saksa, T. (toim.), Repo, T., Sarkkola, S., Akujärvi, A., Repo, A., Soimakallio, S. & Lehtonen, A. 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito. Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-115-8>
- Sandström, J., Bernes, C., Junninen, K., Löhmus, A., Macdonald, E., Müller, J. & Jonsson B.G. 2019. Impacts of dead wood manipulation on the biodiversity of temperate and boreal forests. A systematic review. *J Appl Ecol*. 2019; 56: 1770– 1781. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13395>
- Savilaakso, S., Johansson, A., Häkkinen, M., Uusitalo, A., Sandgren, T., Mönkkönen, M. & Puttonen, P. 2021. What are the effects of even-aged and uneven-aged forest management on boreal forest biodiversity in Fennoscandia and European Russia? A systematic review. *Environ Evid* 10, 1 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13750-020-00215-7>
- Savolahti M. 2020. Puun pienpolton ilmasto- ja terveysvaikutukset Suomessa. Climate and Health Impacts of Residential Wood Combustion in Finland. Aalto University publication series DOCTORAL DISSERTATIONS, 32/2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8966-9>
- van Schalkwyk, D.L., Mandegari, M., Farzad, S. & Görgens, J-F. 2020. Techno-economic and environmental analysis of bio-oil production from forest residues via non-catalytic and catalytic pyrolysis processes. *Energy Conversion and Management*. 213, 112815. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112815>
- Seppälä, J., Vesala, T., Kanninen, M. (2015). Metsien hyödyntäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä. Ilmastopaneelin raportti 4/2015. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/METSIEN-HYODYNTAMINEN-JA-ILMASTONMUUTOKSEN-HILLINTA.pdf>
- Sipilä, E., Kiuru, H., Nylund N.-O. & Sipilä, K. 2020. Jakeluvelvoitteen laajentaminen. AFRY Management Consulting Oy. https://tem.fi/documents/1410877/2132212/Jakeluvelvoitteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf/732b8c4d-c07d-b6ca-d4a7-8af1f2a00b37/Jakeluvelvoitteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf?t=1599738665281
- Sihvola, T. Moilanen, P., Blomqvist, P., Liimatainen, H., Kujala, R. 2021. Liikenteen palveluistumisen vaikutukset liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 2021:25. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-674-0>

Skene, K.R. 2018. Circles, spirals, pyramids and cubes: why the circular economy cannot work. *Sustainability Science*, 13(2). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-017-0443-3>

Skyttä, V. 2020. Tuontihake korvaa kotimaista. *Metsälehti* ISSN 2737-1123 (verkkójulkaisu). <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/tuontihake-korvaa-kotimaista-2/#59ef098b>

Soimakallio, S., Antikainen, R. & Thun, R. 2009. Assessing the sustainability of liquid biofuels 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., Pingoud, K. 2016. Climate Change Mitigation Challenge for Wood Utilization - The Case of Finland. *Environmental science & technology*, 50(10), pp.5127-5134. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00122>

Soimakallio, S., Sankelo, P., Kopsakangas-Savolainen, M., Sederholm, C., Auvinen, K., Heino, T., Johansson, A., Judl, J., Karhinen, S., Lehtoranta, S., Räsänen, S. & Savolainen, H. 2020. Turpeen ja sen käytöstä luopumisen vaikutukset Suomessa. Sitra. <https://www.sitra.fi/julkaisut/turpeen-rooli-ja-sen-kaytosta-luopumisen-vaikutukset-suomessa/>

Sokka, L. 2011. Local systems, global impacts: Using life cycle assessment to analyse the potential and constraints of industrial symbioses. VTT Publications. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/27432>

Sorsa, R. & Soimakallio, S. 2013. Does bio-oil derived from logging residues in Finland meet the European Union greenhouse gas performance criteria? *Energy Policy*. 53:257-266. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.056>

STL Partners 2019. Curtailing Carbon Emissions – Can 5G help? Executive briefing. <https://carrier.huawei.com/~media/CNBGV2/download/program/Industries-5G/Curtailing-Carbon-Emissions-Can-5G-Help.pdf>

Suomen ilmastopaneeli, 2020. Autokalkulaattori. <https://www.ilmastopaneeli.fi/autokalkulaattori/>

Suomen satamaliitto 2021. Toiminnan vaikutukset ohjaavat satamien ympäristötyötä. <https://www.satamaliitto.fi/fin/organisaatio/tyoryhmat/ymparisto/>, [viitattu 1.4.2021].

Tapio 2020. Metsänhoidon suositukset --Metsien kestävä hoidon ja käytön perusteet. Tapio oy. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2021/08/Metsanhoidon-suositukset-Metsien-kestavan-hoidon-ja-kayton-perusteet-TAPIO-2020.pdf>

Teknologiateollisuus ry 2020. Teknologiateollisuuden vähähiilitekartta: Ratkaisuja ilmastohaasteeseen. <https://teknologiateollisuus.fi/fi/vaiikutamme/kestava-kehitys/teknologiateollisuuden-vahahiilitekartta-ratkaisuja-ilmastohaasteeseen>

Tiikkaja, H., Pöllänen, M. & Liimatainen, H. 2018. Liikenneköyhyys Suomessa - näkökulmia liikumisen sosiaaliseen kestävyys. Esiselvitys. Tampereen teknillinen yliopisto. Liikenteen tutkimuskeskus Verne. Tutkimusraportti 94. https://research.tuni.fi/uploads/2020/03/807f5072-verne_tutkimusraportti94.pdf

Traficom 2021a. Sähköauton hankintatuki. <https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/sahkoauton-hankintatuki>, [viitattu 6.4.2021].

Traficom 2021b. Tietoa 5G:stä <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/tietoa-5gsta>, [viitattu 13.8.2021].

Uudenmaan liitto 2014. Lähtökohtia tuulivoiman käsittelyyn maakuntakaavassa. Uudenmaan 4. vaihemaakuntakaava. Uudenmaan liiton julkaisuja E 137. https://www.uudenmaanliitto.fi/fi-les/15161/Lahtokohtia_tuulivoiman_kasittelyyn._E_137_-_2014.pdf

VA, Valtioneuvoston asetus, 1341/2019. Valtioneuvoston asetus asuinrakennusten energiaavustuksista vuosina 2020–2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20191341>

Valtioneuvostonkanslia, VNK 2020. Vuoden 2021 talousarvioesitys rakentaa tietä ulos koronakriisistä. <https://valtioneuvosto.fi/-/10616/vuoden-2021-talousarvioesitys-rakentaa-tieta-ulos-koronakriisista>

Valtioneuvosto 2017. Tiedote 38/2017. Kiinteistökohtainen energiantuotanto lisääntyy, aurinkosähkön tuotanto omaan käyttöön on monissa kohteissa jo nyt kannattavaa. <https://valtioneuvosto.fi/-/10616/selvitys-hajautetun-energiantuotannon-potentiaalista-ja-kayttonoton-nakymista-suomessa-kiinteistokohtainen-energiantuotanto-lisaantyy-aurinkosahkon-t>

Väylävirasto 2019. Infran ja väylänpidon vaikutus liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin - Tilannekatsaus. Väyläviraston julkaisuja 47/2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2019-47_inf-ran_vaylanpidon_web.pdf

YLE 2021. Itärajalla odottaa ainutlaatuinen urakka, joka tarjoaa töitä jopa 1200 suomalaiselle – sopimus estää ulkomaalaisten palkkaamisen. YLE uutiset 23.9.2020. Päivitetty 24.9.2020. <https://yle.fi/uutiset/3-11559377>, [viitattu 24.3.2021.]

Lähteet

Aakkula, J. 2021. Kotieläintuotannon murros lähempänä kuin aavistammekaan. Käytännön maamies. No 7/2021.

Aakkula, J., Asikainen, A., Kohl, J., Lehtonen, A., Lehtonen, H., Ollila, P., Regina, K., Salminen, O., Sievänen, R. & Tuomainen, T. 2019. Maatalous ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-650-8>

Afry 2021. Metsähakkeen kysynnän kehitys ja riittävyys Suomessa. Pöyry Management Consulting Oy / AFRY Management Consulting. Saatavilla: https://afry.com/sites/default/files/2021-05/afry_metsahakkeen_kysynnän_kehitys_ja_riittävyys_suomessa_loppuraportti.pdf

Alves Dias, P., Bobba, S., Carrara, S. & Plazzotta, B. 2020. The role of rare earth elements in wind energy and electric mobility, EUR 30488 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-27016-4, doi:10.2760/303258, JRC122671 [JRC Publications Repository - The role of rare earth elements in wind energy and electric mobility \(europa.eu\)](https://publications.jrc.ec.europa.eu/publication/?id=JRC122671)

Auvinen A.-P., Kemppainen E., Jäppinen J.-P., Heliölä J., Holmala K., Jantunen J., Koljonen M.-L., Kolström T., Lumiaro R., Punttila P., Venesjärvi R., Virkkala R. & Ahlroth P. 2020. Suomen biodiversiteettistrategian ja toimintaohjelman 2012–2020 toteutuksen ja vaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:36: 1-337. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-915-8>

Berg, S., Räisänen, M. & Salo, H. 2020. Kiertotalouden tieto käyttöön. Kahdeksan keskeistä teemaa ja uudet tietotarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2020. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/310568>.

Berninger, K., Kekkonen, H. & Lehtonen, H. 2019. Turvepelloilta syntyy hiilidioksidipäästöjä turpeen hajotessa. Saatavilla: [Blogi: Turvepeltojen käyttöön ilmastokestäviä vaihtoehtoja - SOMPA \(luke.fi\)](https://www.sompa.fi/blogi/turvepeltojen_kayttoon_ilmastokestavia_vaihtoehtoja), [viitattu 7.9.2021]

Berninger, K., Lehtonen, H., Kekkonen, H., Regina, K., Saarnio, S. & Mäkipää, R. 2020. Maatalouden tukijärjestelmää kehitettävä tukemaan viljeltyjen turvemaiden ilmastokestävää käyttöä. Policybrief /SOMPA-hanke, Luonnonvarakeskus. Saatavilla: https://www.aka.fi/globalassets/3-stn/1-strateginen-tutkimus/tiedon-kayttajalle/politiikkasuositukset/politiikkasuositukset/20_03_maatalouden_tukijarjestelmaa_kehittava.pdf

Bieker, G. 2021. A global comparison of the life cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. The International Council on Clean Transportation (ICCT). <https://theicct.org/publications/global-LCA-passenger-cars-jul2021>

Bringezu, S. 2015. Possible Target Corridor for Sustainable Use of Global Material Resources. Resources 4 (1) 24-54. <https://doi.org/10.3390/resources4010025>

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. Wisner, 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. Saatavilla: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf

Calvin, K., Cowie, A., Berndes, G., Arneith, A., Cherubini, F., Portugal-Pereira, J., Grassi, G., House, J., Johnson, F.X., Popp, A., Rounsevell, M., Slade, R. & Smith, P. 2021. Bioenergy for climate change mitigation: Scale and sustainability. Research review. GCB Bioenergy 2021:13:1346-1371. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12863>

Carter, T.R., Benzie, M., Campiglio, E., Carlsen, H., Fronzek, S., Hildén, M., Reyer, C. P.O. & West, C. 2021. A conceptual framework for cross-border impacts of climate change. *Global Environmental Change*, 69: 102307 <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102307>.

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

Church C. & Crawford A. 2020. Minerals and the Metals for the Energy Transition: Exploring the Conflict Implications for Mineral-Rich, Fragile States. Teoksessa: Hafner M., Tagliapietra S. (toim.). The Geopolitics of the Global Energy Transition. Lecture Notes in Energy, vol 73. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39066-2_12

COM/2019/640 final. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. The European Green Deal. 11.12.2019. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>

COM/2020/22 final. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing the Just Transition Fund. COM (2020) 22 final, 2020/0006 (COD). 14.1.2020. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0022>

COM/2020/380 final. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives. 20.5.2020. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0380>

COM/2020/562 final. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE

AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: Stepping up Europe's 2030 climate ambition. Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. 17.9.2020. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0562&from=EN>
 EC, European Commission, 2020. Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2021. Draft for consultation in CCC WG2, 25/06/2020.

EC, European Commission, 2021a. European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. Press release 14 July 2021. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541, [viitattu 17.8.2021]

EC, European Commission, 2021b. The Just Transition Mechanism: making sure no one is left behind. The Just Transition Mechanism: making sure no one is left behind. Saatavilla: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism_en

EC, European Commission, 2021c. The EU SWITCH to Green Flagship Initiative. EU Strategy on Corporate Social Responsibility. Saatavilla: <https://www.switchtogreen.eu/eu-strategy-on-corporate-social-responsibility/>

Ember 2021. Daily Prices. Saatavilla: <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/> [viitattu 9.9.2021]

Ellen MacArthur Foundation, 2019. Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. Saatavilla: <https://emf.thirdlight.com/link/2j2gtyion7ia-n3q5ey/@/preview/1?o>

EU 517/2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetetus (EU) N:o 517/2014 fluoratuista kasvi-huonekaasuista. Annettu 16.4.2014 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517&from=RO>

Euractiv 2021. EU carbon market will be extended to building and transport, von der Leyen confirms. Apr 23, 2021. Saatavilla: <https://www.euractiv.com/section/energy/news/eu-carbon-market-will-be-extended-to-buildings-and-transport-von-der-leyen-confirms/>, [viitattu 7.9.2021]

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/40/EY moottoriajoneuvojen ilmastointijärjestelmien päästöistä. Annettu 17.5.2006 <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/40/oj>

Eurostat 2021a. Circular economy indicators. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators>, [viitattu 9.9.2021]

Eurostat 2021b. Material flow accounts http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_ac_mfa, [viitattu 6.9.2021]

Fennovoima 2021. Fennovoima päivitti Hanhikivi 1 –ydinvoimalaitoksen rakentamislupahakemusta. Tiedote 28.4.2021. Saatavilla: <https://www.fennovoima.fi/tiedotteet/fennovoima-paivitti-hanhikivi-1-ydinvoimalaitoksen-rakentamislupahakemusta>, [viitattu 9.9.2021]

FINLEX 76/2016. Valtioneuvoston asetetus Pariisin sopimuksen voimaansaattamisesta ja sopimuksen lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta annetun lain voimaantulosta. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2016/20160076>, [viitattu 7.9.2021]

Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantausta, T. & Ukonmaanaho, L. 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 -MetsäVesi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:6. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162009/VNTEAS_2020_6.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Finer, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Lauren, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S., Vuollekoski, M. (2010). Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10/2010. <http://hdl.handle.net/10138/37973>

Fornaro, P. 2021. ONKO SUOMALAINEN POLITIIKKA POLARISOITUNUT? Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA. Saatavilla: Microsoft Word - polarisaatio_brief_pohjassa.docx (bibu.fi) [viitattu 25.8.2021]

Forsius, M., Akujärvi, A., Mattsson T., Holmberg M., Punttila P., Posch M., Liski J., Repo A., Virkkala R., & Vihervaara P. 2016. Modelling impacts of forest bioenergy use on ecosystem sustainability: Lammi LTER region, southern Finland, *Ecological Indicators*, Vol. 65, Pp. 66-75, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.032>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15006640>)

Fresán, U. & Sabaté, J. 2019. Vegetarian Diets: Planetary Health and Its Alignment with Human Health, *Advances in Nutrition*, 10: Issue Supplement_4: S380–S388, <https://doi.org/10.1093/advances/nmz019>

Frischknecht, R., Althaus, H.J., Bauer, C., Doka, G., Heck, T., Jungbluth, N., Kellenberger, D. & Nemecek, T. 2007. The environmental relevance of capital goods in life cycle assessments of products and services. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 11, 1–11. 49 JEC 2017. JEC Well-to-wheels analyses (WTW). DOI:[10.1065/lca2007.02.309](https://doi.org/10.1065/lca2007.02.309)

Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C. D., Mikusiński, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andrén, H., Moberg, F., Moen, J. & Bengtsson, J. 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications* 4: 13402013. Saatavilla: <https://doi.org/10.1038/ncomms2328>

Geerken, T., Schmidt, J., Boonen, K., Christis, M., & Merciai, S. (2019). Assessment of the potential of a circular economy in open economies – Case of Belgium. *Journal of Cleaner Production*, 227, 683-699. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.120>

GTK, Geologian tutkimuskeskus, 2021. Kaivos ja esiintymäkartat. <https://www.gtk.fi/palvelut/mineraalitalous/kaivoskartat/>, [viitattu 7.6.2021].

Haapalehto, T., Joensuu, S., Kaipainen, J., Alanen, A., Hilska-Aaltonen, M., Karjalainen, J., Karvonen, L., Laiho, R., Musta, I., Ohtonen, A., Orava, T., Rehell, S., Sallantausta, T., Seppälä, M., Siivonen, T., Sulkava, R., Tahvanainen, T. & Veltheim, T. 2015. Suoelinympäristöt. Julk.: Kotiaho, J. S., Kuusela, S., Nieminen, E., & Päivinen, J. (toim.). 2015. Elinympäristöjen tilan edistäminen Suomessa. Ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö. 8/2015. <http://hdl.handle.net/10138/156982>

Hakala, E., Erkamo, S., Pyykönen, J., Tuomenvirta, H., Tynkkynen, O., Berninger, K., Vihma, A. 2021. Ilmastonmuutos ja Suomen turvallisuus: Uhat ja varautuminen kokonaisturvallisuuden toimintamallissa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:52. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-386-9>

Hall, J.W., Lempert, R.J., Keller, K., Hackbarth, A., Mijere, C. & McInerney, D.J., 2012. Robust climate policies under uncertainty: A comparison of robust decision making and info-gap methods. Risk Analysis: An International Journal, 32(10), pp.1657-1672. [10.1111/j.1539-6924.2012.01802.x](https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01802.x)

Heinonsalo, J. 2020. Hiiliopas – Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin. 1. painos. <https://carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

Helminen, V., Nyberg, E., Tiitu, M., Rehunen, A., Strandell, A., Nurmio, K., Saastamoinen U. & Laurila, J. 2021. Kestävän yhdyskuntarakenteen jäljillä – näkökulmia ja ratkaisuja kaupunkien ja maaseutujen suunnittelun haasteisiin. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2021. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5411-9>

Henkilöliikennetutkimus 2016 Suomalaisten liikkuminen. Tutkimusaineisto. Liikenneviraston julkaisuja 1/2018. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ti_2018-01_henkiloliikennetutkimus_2016_web.pdf

Hildén, M., Auvinen, K., Berninger, K., Björklund, M., Ekholm, T., Ekroos, A., Huttunen, S., Hyytiäinen, K., Kokko, K., Lähteenmäki-Uutela, A., Mehling, M., Perrels, A., Seppälä, J., Soimakallio, S., Tikkakoski, P., Toivonen E. & Tynkkynen, O. 2021a. Mahdollisuudet vahvistaa ilmastotolia uusilla keinoilla. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:5. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-045-5>

Hildén, M., Groundstroem, F., Carter, T.R., Halonen, M., Perrels, A., Gregow, H. 2016. Ilmastonmuutoksen heijastevaikutukset Suomeen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-302-6>

Hildén, M., Mela, H. & Saastamoinen, U. 2021b. Ilmastovaikutusten arviointi YVAssa ja SOVAssa – vaikutusten tunnistaminen ja johdonmukainen käsittely. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:18. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-257-0>

Honkatukia, J. 2021. Kansantalouden skenaariot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:65.

Honkonen, T. & Kulovesi, K. 2019. Pariisin sopimus ja kansainväliset ilmastotoimet. Suomen Ilmastopaneelin Raportti 5b/2019. Saatavilla: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/10/Pariisin-sopimus-ja-kansainvaliset-ilmastotoimet_final.pdf

Horne, P., Korhonen, O. & Ruuskanen, O.-P. 2021. Metsiin kohdistuvien ilmastopoliittisten toimenpiteiden toteutettavuus ja puun tarjonta yksityisen metsänomistuksen näkökulmasta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:66.

HSY, Helsingin seudun ympäristöpalvelut, 2018. Tulisijojen käyttö ja päästöt pääkaupunkiseudulla vuonna 2018. <https://julkaisu.hsy.fi/tulisijojen-kaytto-ja-paastot-paakaupunkiseudulla-vuonna-2018.pdf>

Huhta, E., Helle, P., Nivala, V. & Nikula, A. 2018. The effect of human-modified landscape structure on forest grouse broods in two landscape types. 5th European Congress of Conservation Biology. doi: [10.17011/conference/eccb2018/107449](https://doi.org/10.17011/conference/eccb2018/107449)

Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Metsän tutkimuslaitos. Saatavilla: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/504366/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena%5b1%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 2.9.2021]

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/299501>

Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K., Regina, K. & Turtola, E. 2020. Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO): Loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Saatavilla: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/545599/luke_luobio_12_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ICAP, International Carbon Action Partnership, 2021. Allowance Price Explorer. Saatavilla: <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices>, [viitattu 9.9.2021]

ICCT (The International Council on Clean Transportation) 2018. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. Briefing Feb 28, www.theicct.org.

IEA, International Energy Agency, 2017. World Energy Outlook 2017. https://iea.blob.core.windows.net/assets/e21ecbca-f2ba-4ceb-826b-13ee5b6d9c05/WEO_2017_Executive_Summary_English_version.pdf

IEA, International Energy Agency, 2020. Photovoltaic Power Systems Programme Annual Report 2020. Saatavilla: <https://iea-pvps.org/annual-reports/>

IEA, International Energy Agency, 2021. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special report. Saatavilla: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

ILO, International Labour Organization, 2017. Tripartite declaration of principles concerning multinational enterprises and social policy (MNE Declaration). 5th Edition. March 2017. [wcms_094386.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/-/dgrepublications/-/wcms_094386.pdf) (ilo.org)

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

IRENA, International Renewable Energy Agency, 2021. Renewable Power Generation Costs in 2020. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf

ISO, International Organization for Standardization, 2010. ISO 26000:2010 Social responsibility. Saatavilla: [ISO - ISO 26000 — Social responsibility](https://www.iso.org/standard/54559.html) Saatavilla: [ISO - ISO 26000 — Social responsibility](https://www.iso.org/standard/54559.html), [viitattu 14.9.2021]

Jääskeläinen, S. 2018. Kävelyn ja pyöräilyn edistämishjelma. Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-549-1>, [viitattu 26.5.2021]

Jörgensen, K., Granath, G., Lindahl, B.D. & Strengbom, J. 2021. Forest management to increase carbon sequestration in boreal Pinus sylvestris forests. *Plant and Soil* 466: 165-178. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05038-0>

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.

Kallio, A.M.I., Solberg, B., Käär, L. & Päivinen, R., 2018. Economic impacts of setting reference levels for the forest carbon sinks in the EU on the European forest sector. *Forest Policy and Economics*, 92:193-201. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.04.010>

Kareksela, S., Ojanen, P., Aapala, K., Haapalehto, T., Ilmonen, J., Koskinen, M., Laiho, R., Laine, A., Maanavilja, L., Marttila, H., Minkkinen, K., Nieminen, M., Ronkanen, A.-K., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tuittila, E.-S. & Vasander, H. 2021. Soiden ennallistamisen suo- luonto-, vesistö-, ja ilmastovaikutukset. Vertaisarvioitu raportti. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 3b/2021. Saatavilla: <https://doi.org/10.17011/jyx/SLJ/2021/3b>, [viitattu 4.9.2021]

Karhinen, S., Peltomaa, J., Riekkinen, V. & Saikku, L. 2021. Impact of a climate network: The role of intermediaries in local level climate action. *Global Environmental Change*. Vol. 67:100225. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102225>.

Karlsson, M., Alfredsson E. & Westling, N., 2020. Climate policy co-benefits: a review. *Climate Policy* 20:292-316. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1724070>

Kenttämies, K. & Mattsson, T. 2006. Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE- projektin loppu- raportti. Suomen ympäristökeskus. Saatavilla: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40492/SY_816.pdf?sequence=1 [viitattu 2.6.2021]

Kokko, A., Ojanen, P., Aapala, K., Hotanen, J.-P., Laitinen, J., Punttila, P., Rehell, S., Tiainen, J. & Vasander, H. 2020. Suoluontotyyppien uhanalaisuus. *Suo* 71(2): 149–155 - Ojitettujen soiden kestävä käyttö. <http://www.suo.fi/pdf/article10590.pdf>

Koljonen S., & Kärkkäinen, L. 2021. Selvitys: EU:n biodiversiteettistrategian tavoitteiden toteuttamiseen osittain hyvät valmiudet Suomessa. Tiedote/SYKE 15.6.2021. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Selvitys_EUn_biodiversiteettistrategian_\(60985\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Selvitys_EUn_biodiversiteettistrategian_(60985))

Koljonen, T., Aakkula, J., Honkatukia, J., Soimakallio, S., Haakana, M., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Kärkkäinen, L., Laitila, J., Lehtilä A., Lehtonen, H., Maanavilja, L., Ollila, P., Siikavirta, H. & Tuomainen, T. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot. <https://www.vtresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2020/T366.pdf>

Koljonen, T., Honkatukia, J., Maanavilja, L., Ruuskanen, O.-P., Similä, L. & Soimakallio, S. 2021. Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI). Synteesiraportti – Johtopäätökset ja suositukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:62.

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. 2017a. Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017. https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/21_Energia-+ja+ilmastostrategian+vaikutusarviot+Yhteenvetoraportti.pdf/40df1f5f-c99c-47d1-a929-a4c825f71547/21_Energia-+ja+ilmastostrategian+vaikutusarviot+Yhteenvetoraportti.pdf?t=1486021631000

Koljonen T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Similä, L., Honkatukia, J., Hildén, M., Rehunen, A., Saikku, L., Salo, M., Savolahti, M., Tuominen, P. & Vainio, T. 2019. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24/2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-656-0>

Koljonen, T., Soimakallio, S., Ollikainen, M., Lanki, T., Asikainen, A., Ekholm, T., Hildén M., Honkatukia, J., Lehtilä, A., Saarinen, M., Seppälä, J., Similä, L. & Tiittanen, P. 2017b. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman vaikutusarviot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 57/2017. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201709278759>

Kontula T. & Raunio A. (toim.). 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1 - tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>

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. Luonnonvarakeskus. https://jukuriluke.fi/bitstream/handle/10024/537430/luke-luobio_51_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kouki, J., Junninen, K., Mäkelä, K., Hokkanen, M., Aakala, T., Hallikainen, V., Korhonen, K.T., Kuuluvainen, T., Loiskekoski, M., Mattila, O., Matveinen, K., Punttila, P., Ruokanen, I., Valkonen S., & Virkkala, R. 2018. Metsät. Luku 5,5 (s. 171-202) teoksessa.: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>

Kulha, K., Sormunen, H., Leino, M., Setälä, M., Taskinen, M., & Jäske, M. 2021. Ilmastotoimia arvioivan kansalaisraadin loppuraportti. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:21. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-388-1>

Kuusi, T., Pohjola, J., Kaskinen, T., Kaitila, V., Karhinen, S., Kauhanen, A., Lintunen J., Reinikainen, T., Savolainen, H., Sillanaukea, O. & Suikkanen, H. 2021. Vihreät toimet – ilmastopolitiikan vaikutuksia työllisyyteen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:22. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-233-6>

Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhainen, L., Laturi, J., Lehtonen, H., Lintunen, J., Niskanen, O., Ollila, P., Peltonen-Sainio, P., Regina, K., Salminen, O.,

Tuomainen, T., Uusivuori, J., Wall, A. & Packalen, T. 2019. Maankäyttösektorin toimienmahdollisuudet ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-618-8>

Kärkkäinen, L., Hynynen, J., Rätty, M., Horne, P., Juutinen, A., Korhonen, K.T., Koskela, T., Miettinen, J., Maidell, M., Miina, J., Määttä, K., Otsamo, A., Punttila, P., Svensberg, M. & Syrjänen, K. 2021. Kustannusvaikuttavat keinot metsäluonnon monimuotoisuuden köyhtymisen pysäyttämiseksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:21. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-217-6>

Köllner, C. 2018. The dark side of our raw-materials supply chain. ATZ Elektron Worldw 13: 8–13. <https://doi.org/10.1007/s38314-018-0021-1>

Lange, S., Pohl, J. & Santarius, T. 2020. Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? Ecological Economics, Vol. 176:106760. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>.

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. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/144108>

Lèbre, É., Stringer, M., Svobodova, K., Owen, J.R., Kemp, D., Cote, C., Arratia-Solar, A. & Valenta, R.K. 2020. The social and environmental complexities of extracting energy transition metals. Nature Communications 11, 4823 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18661-9>

Lehtilä A., Koljonen, T., Laurikko, J., Markkanen, J. & Vainio, T. 2021a. Energijärjestelmän ja kasvihuonekaasujen kehitykset. Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:67.

Lehtilä, A., Koljonen, T., Laurikko, J., Vainio, T. & Markkanen, J. 2021b. HIISI-WEM-skenaario. VTT Julkaisuja. <https://www.hiisi2035.fi/wp-content/uploads/2021/07/HiisiWEM-9-7-2021.pdf>

Lehtomäki, H., Karvosenoja, N., Paunu, V-V. Korhonen, A., Hänninen, A., Tuomisto, J., Karppinen, A., Kukkonen, J. & Tainio, M. 2021. Liikenteen terveysvaikutukset Suomessa ja suurimmissa kaupungeissa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 16/2021. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5386-0>

Lehtomäki, H., Korhonen A., Asikainen, A., Karvosenoja, N., Kupiainen K., Paunu, V-V., Savolahti, M., Sofiev, M., Palamarchuk, Y., Karppinen, A., Kukkonen, J. & Hänninen, O. 2018. Health Impacts of Ambient Air Pollution in Finland. Int. J. Environ. Res. Public Health, 15(4), 736. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040736>

Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Rätty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. 2021. Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 65/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-275-9>

Lepistö, A. 2017. Metsätalouden vesistövaikutukset. Raportissa Soimakallio, S., Hildén, M., Lanki, T., Eskelinen, H., Karvosenoja, N., Kuusipalo, H., Lepistö, A., Mattila, T., Mela, H., Nissinen, A., Ristimäki, A., Rehunen, A., Repo, A., Salonen, R., Savolahti, M., Seppälä, J., Tiittanen, P., Virtanen, S. 2017. Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälinilmastopolitiikan suunnitelman ympäristövaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 59/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-444-3>

Lepistö, A., Granlund, K., Kortelainen, P. & Räike, A. 2006. Nitrogen in river basins: Sources, retention in the surface waters and peatlands, and fluxes to estuaries in Finland. *Science of the Total Environment*. 365:238-259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.053>

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. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44838/YMr_9_2014.pdf?sequence=1

Liu, B., Sohngen, B. & Baker, J.S., 2021. Dynamics and Investments in Forest Carbon Leakage. AgEconSearch. Saatavilla: [10.22004/ag.econ.312846](https://doi.org/10.22004/ag.econ.312846)

Luke, Luonnonvarakeskus, 2018. Maatilojen määrä vähenee, mutta tuotanto säilyy ennallaan. 12.7.2018. <https://www.luke.fi/uutinen/maatilojen-maara-vahenee-mutta-tuotanto-sailyy-ennallaan/>

Luke, Luonnonvarakeskus, 2019. Maataloustuotanto ei ole keskittynyt suurille tiloille 20 vuoden aikana. 19.3.2019. <https://www.luke.fi/uutinen/maataloustuotanto-ei-ole-keskittynyt-suurille-tiloille-20-vuoden-aikana/>

Luke, Luonnonvarakeskus, 2020a. Uusimmat metsävaratiedot maakunnittain on julkaistu. 13.11.2020. <https://www.luke.fi/uutinen/uusimmat-metsavaratiedot-maakunnittain-on-julkaistu/> [viitattu 1.6.2021]

Luke, Luonnonvarakeskus, 2020b. Nurmi, lanta ja energia – onko biokaasusta tulevaisuuden maaseudun energiaksi? 14.8.2020. <https://www.luke.fi/nurmi-lanta-ja-energia-onko-biokaasusta-tulevaisuuden-maaseudun-energiaksi/> [viitattu 1.6.2021]

Luke, Luonnonvarakeskus, 2020c. Nurmen hiilensidonta on tekniikkalaji – tutkimus krittää ikivanhaa ruoantuotantotapaamme. 14.8.2020. <https://www.luke.fi/nurmen-hiilensidonta-on-tekniikkalaji/>, [viitattu 3.9.2021]

Luke, Luonnonvarakeskus, 2020d. Maatilojen määrä vähenee yhä – suuria tiloja aiempaa enemmän. 27.2.2020. <https://www.luke.fi/uutinen/maatilojen-maara-vahenee-yha-suuria-tiloja-aiempaa-enemman/>, [viitattu 3.9.2021]

Luke, Luonnonvarakeskus, 2021a. Maatalous- ja LULUCF-sektorin kasvihuonekaasuinventaario. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/ilmastonmuutos/maatalous-ja-lulucf-sektorin-kasvihuonekaasuinventaario/>, [viitattu 1.6.2021]

Luke, Luonnonvarakeskus, 2021b. Metsien hiilinielun vertailutason laskenta. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsat-ja-ilmastonmuutos/vertailutaso/> [viitattu 3.9.2021]

- Luke, Luonnonvarakeskus 2021c. Hakkuukertymä ja puuston poistuma. Metsätilastot. <https://stat.luke.fi/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma>, [viitattu 13.9.2021]
- Luke, Luonnonvarakeskus 2021d. Puuston vuotuinen kasvu metsä- ja kitumaalla. Metsätilastot. <https://stat.luke.fi/metsavarat>, [viitattu 13.9.2021]
- Luke, Luonnonvarakeskus 2021e. Metsien vuotuinen kasvu laski tuoreimmassa valtakunnan metsien inventoinnissa. <https://www.luke.fi/uutinen/metsien-vuotuinen-kasvu-laski-tuoreim-massa-valtakunnan-metsien-inventoinnissa/> [viitattu 1.1.2021]
- Lund, P., Kivimaa, P., Arasto, A., Lipsanen, A., Heliste, P., ja Tsupari, E. 2021. Sähköllä merkittävä rooli Suomen kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamisessa. Muistio. Suomen ilmastopaneelin julkaisu 3/2021. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/06/ilmastopaneelin-julkaisu-3-2021-sahkolla-merkittava-rooli-suomen-kasvihuonekaasupaastojen-leikkaamisessa.pdf>
- LVM, Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a. Ennuste: Tieliikenteen päästöt laskevat hieman ennakoitua nopeammin – syynä sähköautojen yleistyminen. Tiedote 20.09.2021. Saatavilla: <https://www.lvm.fi/-/ennuste-tieliikenteen-paastot-laskevat-hieman-ennakoitua-nopeammin-syyna-sahkoautojen-yleistyminen-1509917>, [viitattu 24.9.2021].
- LVM, Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021b. Valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman vaikutusten arviointi. Ympäristöselostus. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 2021:9. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-607-8>.
- Lyytimäki, J. 2020. Ilmastonmuutos isosti otsikoissa – kirittääkö uutisointi kestävyysmurrokseen? Yhteiskuntapolitiikka 85:2. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/139434/YP2002_Lyytim%c3%a4ki.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Maanavilja, L., Tuomainen, T., Aakkula, J., Haakana, M., Heikkinen, J., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Koikkalainen, K., Kärkkäinen, L., Lehtonen, H., Miettinen, A., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Ollila, P., Viitanen, J., Vikfors, S. & Wall, A. 2021. Hiilineutraali Suomi 2035 - Maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:63.
- Markkanen, J., & Lauhkonen, A. 2021. Työkoneiden päästöjen perusennuste ja sähköistymisen vaikutus päästöihin. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-00245-21. https://cris.vtt.fi/ws/portafiles/portal/45373802/VTT_CR_00245_21.pdf
- Material Economics (2018). The circular economy - a powerful force for climate mitigation. Stockholm: Material Economics Sverige AB. Saatavilla: [The circular economy – a powerful force for climate mitigation - Sitra](#)
- Material Economics (2019). Industrial transformation 2050: pathways to net-zero emissions from EU heavy industry. <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2019/11/25-04-2019-industrial-transformation-2050-executive-summary.pdf>
- Mathieux, F., Ardente, F., Bobba, S., Nuss, P., Blengini, G., Alves Dias, P., Blagoeva, D., Torres De Matos, C., Wittmer, D., Pavel, C., Hamor, T., Saveyn, H., Gawlik, B., Orveillon, G., Huygens, D., Garbarino, E., Tzimas, E., Bouraoui, F. & Sola, S. 2017. Critical Raw Materials and the Circular Economy – Background report. JRC Science-for-policy report, EUR 28832 EN, Publications

Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-74282-8, doi:10.2760/378123 JRC108710

Metsäranta, H., Aro, R., Blomqvist, P., Levä, T., Nissinen, A., Rannanpää, S. 2021. Etätyön vaikutukset liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin. Valtioneuvoston selvitys 2021:4. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021091346055>

MMM, Maa- ja metsätalousministeriö, 2019. Kansallinen metsästrategia 2025 -päivitys. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 2019:7. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161386>

MMM, Maa- ja metsätalousministeriö, 2020. Metsien tuhkalannoituksen tuki laajenee, valtioneuvosto hyväksyi asetusmuutoksen. 2.4.2020. <https://mmm.fi/-/metsien-tuhkalannoituksen-tuki-laajenee-valtioneuvosto-hyvakysi-asetusmuutoksen>

MMM, Maa- ja metsätalousministeriö, 2021a. Arvio Suomen CAP-suunnitelman ympäristötoimenpiteiden vaikuttavuudesta. Saatavilla: <https://mmm.fi/documents/1410837/89446940/Ymp%C3%A4rist%C3%B6vaikuttavuusarvio+31.8.2021.pdf/955546e2-a023-0a98-bb51-ad00ba43a993/Ymp%C3%A4rist%C3%B6vaikuttavuusarvio+31.8.2021.pdf?t=1630397930967> [viitattu 5.9.2021]

MMM, Maa- ja metsätalousministeriö, 2021b. Joutoalueita metsittämällä voidaan lisätä metsäpinta-alaa. <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsat-ja-ilmastonmuutos/joutoalueiden-metsitys>, [viitattu 5.9.2021]

Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G.A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S. & Dewulf, J. 2019. Circular economy indicators: What do they measure? Resour. Conserv. Recycl. 146:452-461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>

Motiva Oy, VTT & Tampereen ammattikorkeakoulu 2020. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 Tiekartta ja toimeenpanosuunnitelma 2021–2030 https://ym.fi/documents/1410903/33891761/Korjausrakentamisen+strategia_Tiekartta+ja+toimeenpanosuunnitelma.pdf/d215ff41-f2e6-44da-b371-65f3f1047333/Korjausrakentamisen+strategia_Tiekartta+ja+toimeenpanosuunnitelma.pdf?t=1623307901674

Mäntysalo, R., Kanninen, V., Purkarthofer, E. & Koste, O.-W. (toim.) 2019. Kaupunkiseudut: Riskinvalotuksia ja rajanylityksiä - BEMINE-hankkeen loppuraportti, Espoo, Aalto-yliopisto. Aalto-yliopiston julkaisusarja CROSSOVER 2019: 3. 165 s.

Nichols, W. & Clisby, R. 2021. Environmental Risk Outlook 2021. Verisk Maplecroft. Saatavilla: <https://www.maplecroft.com/insights/analysis/g20-disorderly-transition-all-but-inevitable-even-climate-leading-uk-at-risk/> [viitattu 24.8.2021]

Nissinen, A. & Savolainen, H. (toim.) 2019. Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö. ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2019. <http://hdl.handle.net/10138/300737>

Näkkilä, J., Silvan, N., Jokinen, K., Särkkä, L. & Tahvonen, R., 2015. Rahkasammalen tuotanto ja käyttö kasvihuonekasvien kasvualustana. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015060810054>

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, 2009. The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for Global Action Beyond 2012. Saatavilla:

<https://www.oecd.org/env/cc/theeconomicsofclimatechangemitigationpoliciesandoptionsforglobalactionbeyond2012.htm>

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, 2011. Guidelines for Multinational Enterprises. Saatavilla: [Guidelines - Organisation for Economic Co-operation and Development \(oecd.org\)](#), [viitattu 14.9.2021]

Ojanen, P., Aapala, K., Hotanen, J.-P., Kokko, A., Kortelainen, P., Marttila, H., Nieminen, M., Nieminen, T. M., Punttila, P., Rehell, S., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tiainen, J., Turunen, J., Valpola, S., Vasander, H., Vähäkuopus, T. & Minkkinen, K. 2021. Ojituksen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen, ilmastoon ja vesistöihin – yhteenveto. Suo 71(2):93-114. Suoseura – Finnish Peatland Society. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/332572/article10594.pdf?sequence=1>

Olsson, N. & Pirtonen, H. 2020. Dataa kierrättämällä päästään kiertotalousliiketoiminnan ytimeen. Circblog. Circwaste-hanke. Saatavilla: [https://www.materiaalikiertoon.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Circblog/Dataa_kierrattamalla_paastaan_kiertotalo\(54852\)](https://www.materiaalikiertoon.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Circblog/Dataa_kierrattamalla_paastaan_kiertotalo(54852)) [viitattu 6.9.2021]

Paavola, J.-M., Kinnunen, A., Tanhua, I., Rautiainen, T. 2021. Ilmasto- ja energiastrategian sukupuolivaikutusten arviointi. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2021:52. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-887-5>

Palmén, O. 2020. COVID-19-pandemian taloudelliset vaikutukset. Valtiovarainministeriön julkaisuja 2020:84. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-367-710-4>.

Palojärvi, A. 2021. Beneficial microbial activity supporting sustainable agriculture. University of Helsinki. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-7241-9> [viitattu 17.6]

Paloneva, M. & Takamäki, S. 2020. Yhteenveto toimialojen vähähiilitiekartoista. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162494>

Paustian, K., Six, J., Elliott, E. & Hunt, H.W. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. Biogeochemistry 48:147–163. Saatavilla: <https://doi.org/10.1023/A:1006271331703>

Peltola, A. 2014. Metsätalastollinen vuosikirja 2014. Metsäntutkimuslaitos. Saatavilla: <http://www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinenvsk/>

Peltonen-Sainio, P., Lehtonen, H., Regina, K. & Tiainen, J. 2018. Pellon käytön optimointi tuotannon kestäväksi tehostamiseksi. Luonnonvarakeskus. Saatavilla: <https://www.opal.fi/wp-content/uploads/sites/3/2018/09/PeltoOptimi-loppuraportti-FINAL.pdf>

Peltonen-Sainio, P., Sorvali, J., Müller, M., Huitu, O., Neuvonen, S., Nummelin, T., Rummukainen, A., Hynynen, J., Sievänen, R., Helle, P., Rask, M., Vehanen, T. & Kumpula, J. 2017. Sopeutumisen tila 2017: Ilmastokestävyyden tarkastelut maa- ja metsätalousministeriön hallinnon-alalla. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-381-9>

Peñasco, C., Díaz Anadón, L & Verdolini, E. 2021. Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments. Nature Climate Change 11, 274 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00992-0>

Penttilä M. 2020. EU Legislation on WEEE Recycling and its Failure to Close The Loop of Critical Raw Materials. Master's thesis. University of Helsinki. Saatavilla: <https://core.ac.uk/download/328854579.pdf>

Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K., Repo, A. & Mönkkönen, M. 2018. Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation*, 217:104-112. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.018>.

Prochnow A., Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T. & Hobbs, P.J. 2009. Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas, Bioresource Technology. 100(21):4931-4944. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.070>

Pukkala, T. 2016. Which type of forest management provides most ecosystem services? *Forest Ecosystems*. 3, 9 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0068-5>

Pukkala, T. 2017. Optimal nitrogen fertilization of boreal conifer forest. *Forest Ecosystems*. 4, 3. <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0090-2>

Puustinen, M., Tattari, S., Väisänen, S., Virkajärvi, P., Rätty, M., Järvenranta, K., Koskiaho, J., Röman, E., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R., Lemola, R., Uusi-Kämpä, J., Lepistö, A., Hjerpe, T., Riihimäki, J. & Ruuhijärvi, J. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan. KiertoVesi-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22/2019. <http://hdl.handle.net/10138/304956>

Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., Archer, E., Arneeth, A., Bai, X., Barnes, D., Burows, M., Chan, L., Cheung, W.L., Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., Jacob, U., Insarov, G., Kiessling, W., Leadley, P., Leemans, R., Levin, L., Lim, M., Maharaj, S., Managi, S., Marquet, P. A., McElwee, P., Midgley, G., Oberdorff, T., Obura, D., Osman, E., Pandit, R., Pascual, U., Pires, A. P. F., Popp, A., ReyesGarcía, V., Sankaran, M., Settele, J., Shin, Y. J., Sintayehu, D. W., Smith, P., Steiner, N., Strassburg, B., Sukumar, R., Trisos, C., Val, A.L., Wu, J., Aldrian, E., Parmesan, C., Pichs-Madruga, R., Roberts, D.C., Rogers, A.D., Díaz, S., Fischer, M., Hashimoto, S., Lavorel, S., Wu, N., Ngo, H.T. 2021. IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change; IPBES and IPCC. DOI:10.5281/zenodo.4782538

Regina, K. 2021. Turvepeltojen viljely hiilineutraalissa Suomessa 18.2.2021. Saatavilla: https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2021/03/Turvepeltojeviljelyhiilineutraalissa-Suomessa_finaal_korjattu_MMM.pdf [viitattu 7.9.2021]

Rehunen, A., Nissinen, A. & Terämä, E. 2019b. Kaupungistumisen kehityskulut vaikuttavat ekologiseen kestävytyteen. Teoksessa: Mäntysalo, R., Kanninen, V., Purkarthofer, E. & Koste, O.-W. (toim.) Kaupunkiseudut: Ristiinvalotuksia ja rajanylityksiä - BEMINE-hankkeen loppuraportti, 46-50. Espoo, Aalto-yliopisto. Aalto-yliopiston julkaisusarja CROSSO-VER 2019: 3.

Rehunen, A., Ristimäki, M., Strandell, A., Tiitu, M. & Helminen, V. 2018. Katsaus yhdyskuntarakenteen kehitykseen Suomessa 1990–2016. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2018. <http://hdl.handle.net/10138/236327>

Rehunen, A., Strandell, A., Tiitu, M., Nissinen, A. & Helminen, V. 2019a. Yhdyskuntarakenne luo edellytykset kestäväälle liikkumiselle ja päästövähennyksille. *Talous & Yhteiskunta* 2019:1, 12-19.

Reinikainen, T. & Johansson, A. 2019. Kestävät julkiset hankinnat F-kaasujen käytön ja päästöjen vähentämisessä. Kriteerit korkean lämmityspotentiaalin vaihtoehtoilta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30/2019. <http://hdl.handle.net/10138/303374>

RESCUE 2019. Resource-Efficient Pathways towards Greenhouse-Gas Neutrality – RESCUE. Summary Report. Saatavilla: [Resource-Efficient Pathways towards Greenhouse-Gas- Neutrality – RESCUE: Summary Report | Umweltbundesamt](#)

Ristikartano, J., Iikkanen, P., Tervonen, J. & Lapp, T. 2014. Valtakunnallinen tieliikenne-ennuste 2030. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2014. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2014-13_valtakunnallinen_tieliikenne-ennuste_web.pdf

Ruokamo, E. & Antikainen, R. 2020. Biodiversiteetti. Teoksessa: Berg, A., Räisänen, M. & Salo, H. (toim.) Kiertotalouden tieto käyttöön. Kahdeksan keskeistä teemaa ja uudet tietotarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2020. <http://hdl.handle.net/10138/310568>

Ruokamo, E., Savolainen, H., Seppälä, J., Sironen, S., Räisänen, M., Auvinen, A.-P. & Antikainen, R. 2021. Kiertotalous vähähiilisuuden edistäjänä ja luonnon monimuotoisuuden turvaajana. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:6. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-205-1>

Saarimaa, M., Aapala, K., Tuominen, S., Karhu, J., Parkkari, M. & Tolvanen, A. 2019. Predicting hotspots for threatened plant species in boreal peatlands. *Biodiversity and Conservation* 28, 1173–1204. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01717-8>

Saarinen, M., Kaljonen, M., Niemi, J., Antikainen, R., Hakala, K., Hartikainen, H., Heikkinen, J., Joensuu, K., Lehtonen, H., Mattila, T., Nisonen, S., Ketoja, E., Knuutila, M., Regina, K., Rikkinen, P., Seppälä, J. & Varho, V. 2019. Ruokavaliomuutoksen vaikutukset ja muutosta tukevat politiikkayhdistelmät. Ruoka Minimi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:47. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-773-4>

Saaristo, L. & Pasanen, H. 2020. Katsaus jatkuvaan kasvatukseen ja luonnonhoitoon – Metsä-ELO. Saatavilla: <https://tapio.fi/artikkelit/katsaus-jatkuvaan-kasvatukseen-ja-luonnonhoitoon-metsa-elo/>, [viitattu 2.8.2021]

Saaristo, L., Seppälä, M., Vesanto, T. & Ruutiainen, J. 2017. Talousmetsien luonnonhoidon tehokkaat ratkaisut. Tapion julkaisuja. 44 s. ISBN 978-952-5632-47-7. Saatavilla: <https://tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/talousmetsien-luonnonhoidon-tehokkaat-ratkaisut-monimetsa-hankkeen-selvitys/>

Sabate J, & Soret S. 2014. Sustainability of plant-based diets: Back to the future. *American Journal of Clinical Nutrition*. Jun 4;100 (Supplement 1):476S-82S. https://academic.oup.com/ajcn/article/100/suppl_1/476S/4576675?login=true

Sandström, J., Bernes, C., Junninen, K., Löhmus, A., Macdonald, E., Müller, J. & Jonsson B.G. 2019. Impacts of dead wood manipulation on the biodiversity of temperate and boreal forests. A systematic review. *Journal of Applied Ecology* 2019; 56: 1770–1781. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13395>

Savolahti M. 2020. Climate and Health Impacts of Residential Wood Combustion in Finland. Aalto University publication series DOCTORAL DISSERTATIONS, 32/2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8966-9>

- Savolahti M., Karvosenoja N., Soimakallio S., Kupiainen K., Tissari J. & Paunu V-V. 2019. Near-term climate impacts of Finnish residential wood combustion. *Energy Policy* 133:110837. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.045>
- Schepers, J. & Annemans, L. 2018. The potential health and economic effects of plant-based food patterns in Belgium and the United Kingdom. *Nutrition*, 48:24-32. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.11.028>.
- Searle, S., & Malins, C. 2015. A reassessment of global bioenergy potential in 2050. *GCB Bioenergy*, 7(2), 328-336. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12141>
- Semkin, N., Lyyra, S., Kauko, M., Tontti, M., Rantanen, N., Nousiainen, A., Kämäräinen, K., & Patronen, J. 2019. Päästövähennystoimenpiteiden kustannustehokkuuden arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:65. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-802-1>
- Seppälä, J., Sahimaa, O., Honkatukia, J., Valve, H., Antikainen, R., Kautto, P., Myllymaa, T., Mäenpää, I., Salmenperä, H., Alhola, K., Kauppila, J. & Salminen, J. 2016. Kiertotalous Suomessa - toimintaympäristö, ohjauskeinot ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25/2016. Valtioneuvoston kanslia. <https://vnk.fi/julkaisu?pubid=11902>
- Sharifi, A. 2020. Trade-offs and conflicts between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 276, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122813>.
- Sihvola, T., Moilanen, P., Blomqvist, P., Liimatainen, H., Kujala, R. 2021. Liikenteen palveluistumisen vaikutukset liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:25. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-674-0>
- Siitonen, J., Punttila, P., Korhonen, K. T., Heikkinen, J., Laitinen, J., Partanen, J., Pasanen, H. & Saaristo, L. 2020. Talousmetsien luonnonhoidon kehitys vuosina 1995–2018 luonnonhoidon laadun arvioinnin sekä valtakunnan metsien inventoinnin tulosten perusteella. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 69/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 71 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-056-4>
- Sitra 2016. Leading the cycle – Finnish road map to a circular economy 2016–2025. Sitra Studies 121. Saatavilla: <https://media.sitra.fi/2017/02/28142644/Selvityksia121.pdf>
- Sitra (2019). Kriittinen siirto. Suomen kiertotalouden tiekartta 2.0. Saatavilla: [Kiertotalouden tiekartta Suomelle 2016-2025 - Sitra](https://www.sitra.fi/2019/02/28142644/Selvityksia121.pdf), [viitattu 9.9.2021].
- SKGK, Suomen Kansallinen Geologian Komitea, 2019. Hi-tech -metallit. Geologia.fi -sivusto. Viitattu 7.6.2021. <https://www.geologia.fi/2019/12/08/hi-tech-metallit/>
- Smith, P. & Olesen, J. 2010. Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *The Journal of Agricultural Science*, 148(5), 543-552. [doi:10.1017/S0021859610000341](https://doi.org/10.1017/S0021859610000341)

- Soimakallio, S., Antikainen, R. & Thun, R. (Toim.). 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. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-444-3>
- Soimakallio, S., Kalliokoski, T., Lehtonen, A. & Salminen O. 2021. On the trade-offs and synergies between forest carbon sequestration and substitution. *Mitigation and Adapt Strategies for Global Change* 26, 4 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11027-021-09942-9>
- Soimakallio, S., Sankelo, P., Kopsakangas-Savolainen, M., Sederholm, C., Auvinen, K., Heino-nen, T., Johansson, A., Judl, J., Karhinen, S., Lehtoranta, S., Rasanen, S. & Savolainen, H. 2020. Turpeen rooli ja sen käytöstä poistamisen vaikutukset Suomessa. Sitra. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/julkaisut/turpeen-rooli-ja-sen-kaytosta-luopumisen-vaikutukset-suomessa/>
- Sokka, L., Sinkko, T., Holma A., Manninen, K., Pasanen, K., Rantala, M. & Leskinen, P. 2016. Environmental impacts of the national renewable energy targets – A case study from Finland, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59:1599-1610 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.005>
- Sovacool, B.K. 2021. Who are the victims of low-carbon transitions? Towards a political ecology of climate change mitigation. *Energy Research & Social Science*. Vol. 73: 101916. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101916>
- SOVA-laki (200/2005). Laki viranomaisten suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arvi-oinnista. <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2005/20050200>
- Springmann, M., Godfray, H.C.J., Rayner, M. & Scarborough, P. 2016. Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 113 (15):4146-4151. <https://doi.org/10.1073/pnas.1523119113>
- SSAB, 2020. SSAB on ottanut johtoaseman matkalla kohti fossiilivapaata terästeollisuutta. Saa-tavilla: <https://www.ssab.fi/fossiilivapaa>, [viitattu 16.8.2021]
- Sullivan, T.P. & Sullivan, D.S. 2017. Influence of nitrogen fertilization on abundance and diversity of plants and animals in temperate and boreal forests. *Environmental Reviews*. 26(1): 26-42. <https://doi.org/10.1139/er-2017-0026>
- Suomen Tuulivoimayhdistys 2021. Tuulivoimalla katettiin noin 10 % Suomen sähkönkulutuk-sesta vuonna. Tiedotteet 2.2.2021. <https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tuulivoi-malla-katettiin-noin-10-suomen-sahkonkulutuksesta-vuonna-2020>

SWD/2020/176 final. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. IMPACT ASSESSMENT. Accompanying the document: COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. Stepping up Europe's 2030 climate ambition. Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. 17.9.2020. Saatavilla: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/eu-climate-action/docs/impact_en.pdf

SYKE 2019. Vesistöjen kuormitus ja luonnon huuhtouma
Saatavilla: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/vesistöjen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma [viitattu 8.9.2021]

Syri, S., Vihma, A., Airaksinen, M., Hast, A., Järvelä, M., Ollikainen, M., Savolainen, I., Seppälä, J. & Soimakallio, S. 2013. Kansainvälisen ja EU:n ilmastopolitiikan ajankohtaisia teemoja. Suomen ilmastopaneelin raportti 6/2013. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/ilmastopaneelin_raportti-6_2013.pdf

Tattari, S., Puustinen, M., Koskiaho, J., Röman, E. & Riihimäki, J. 2015 Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2015. <http://hdl.handle.net/10138/159464>

Teknoliateollisuus 2020. Teknoliateollisuuden vähähiilitiekartta: Ratkaisuja ilmastohaasteeseen. Saatavilla: [Teknoliateollisuuden vähähiilitiekartta: Ratkaisuja ilmastohaasteeseen | Teknoliateollisuus](#) [viitattu 4.6.2021]

TEM, Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Huttunen, R. (toim.). Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 4/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-190-6>

TEM, Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021a. Päästökauppa. Saatavilla: <https://tem.fi/paastokauppa>, [viitattu 16.8.2021]

TEM, Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021b. Energia- ja ilmastostrategia. <https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>, [viitattu 16.8.2021]

TEM, Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021c. Kansallinen akkustrategia 2025. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 2021:2. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-635-2>

TEM, Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021d. Kaivoslakiuudistus. Saatavilla: <https://tem.fi/kaivoslakiuudistus>, [viitattu 16.6.2021]

Tiikkaja, H., Liimatainen, H. & Pöllänen, M. 2019. Miten voidaan tunnistaa liikenneköyhyydestä kärsivät? Liikenneköyhyyden tutkiminen objektiivisena ja subjektiivisena ilmiönä. Liikenne, 2019, 34-60. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202008196560>

Tiitu M., Helminen V., Nurmio K. & Ristimäki M. 2018. Helsingin seudun kaupunkikudokset 2016, 2030 ja 2050. Helsingin seudun MAL 2019 -julkaisu. https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/helsingin_seudun_kaupunkikudokset_loppuraportti_27082018_0.pdf

Tilastokeskus 2021a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2020. ISSN 2670–2568 (pdf). [Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2020 \(tilastokeskus.fi\)](#)

- Tilastokeskus 2021b. Kiertotalousliiketoiminnan indikaattorit. Saatavilla: <https://www.stat.fi/tup/kiertotalous/kiertotalousliiketoiminnan-indikaattorit.html> [Viitattu 6.9.2021]
- Tilastokeskus 2021c. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2019. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol 15 April. Statistics Finland, 15 April 2021.
- Tissari J., Leskinen J., Lamberg H., Nieminen V., Väätäinen S., Koponen H., Myllynen M., Savolahti M. & Karvosenoja N. 2019. Emissions and reduction of emissions of sauna stoves. Final report. University of Eastern Finland, Fine Particle and Aerosol Technology laboratory. Tissari, J., Väätäinen, S., Leskinen, J., Savolahti, M., Lamberg, H., Kortelainen, M., Karvosenoja, N. & Sipilä, O. Fine Particle Emissions from Sauna Stoves: Effects of Combustion Appliance and Fuel, and Implications for the Finnish Emission Inventory. *Atmosphere* 2019, 10, 775.
- Toivonen, L. 2021. Five important questions about the environmental impacts of increased digital use. Saatavilla: [Five important questions about the environmental impacts of increased digital use - Sitra](#). [viitattu 20.6.2021]
- Traficom, Liikenne- ja viestintävirasto, 2021a. Ensirekisteröidyt henkilöautot käyttövoimittain. Saatavilla: <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/ensirekisteroidyt-henkiloautot-kayttovoimittain>, [viitattu 28.9.2021]
- Traficom, Liikenne- ja viestintävirasto, 2021b. Liikennekäytössä olevat henkilöautot käyttövoimittain. 3.8.2021. Saatavilla: <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/liikennekaytossa-olevat-henkiloautot-kayttovoimittain>, [viitattu 28.9.2021]
- Traficom, Liikenne- ja viestintävirasto, 2021c. Romutuspalkkion suosio ollut valtaisa - tukirahat varattu loppuun ennätysajassa. Saatavilla : [Romutuspalkkion suosio ollut valtaisa - tukirahat varattu loppuun ennätysajassa | Traficom](#) [viitattu 12.6.2021]
- Tukker, A., Bulavskaya, T., Giljum, S., de Koning, A., Lutter, S., Simas, M., Stadler, K. & Wood, R. 2016. Environmental and resource footprints in a global context: Europe's structural deficit in resource endowments. *Global Environmental Change* 40: 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.07.002>
- Tuomenvirta H., Haavisto R., Hildén M., Lanki T., Luhtala S., Meriläinen P., Mäkinen K., Parjanne A., Peltonen-Sainio P., Pilli-Sihvola K., Pöyry J., Sorvali J. & Veijalainen, N. 2018. Sää- ja ilmatoriskit Suomessa – Kansallinen arvio. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 43/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-601-0>
- UN, United Nations, 2015a. A/RES/70/1. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. 70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Saatavilla: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf
- UN, United Nations, 2015b. Doc. FCCC/CP/2015/L.9/Rev/1. Paris Agreement. Saatavilla: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf [viitattu 7.9.2021]
- UN, United Nations, 2021. United Nations Global Compact. The Ten Principles of the UN Global Compact. Saatavilla: [The Ten Principles | UN Global Compact](#) , [viitattu 14.9.2021]

UNEP, United Nations Environmental Programme, 2016. Green Energy Choices: The benefits, risks and trade-offs of low-carbon technologies for electricity production. Report of the International Resource Panel. Hertwich, E. G., Aloisi de Larderel, J., Arvesen, A., Bayer, P., Bergesen, J., Bouman, E., Gibon, T., Heath, G., Peña, C., Purohit, P., Ramirez, A., & Suh, S. (eds.). Saatavilla: [Green Energy Choices: the Benefits, Risks and Trade-Offs of Low-Carbon Technologies for Electricity Production | Resource Panel](#)

Uusiouutiset, 2019. Uusi teräsprosessi nostaa kierrätysteräksen kysyntää. 13.11.2019. Saatavilla: <https://www.uusiouutiset.fi/uusi-terasprosessi-nostaa-kierratysteraksen-kysyntaa/> [viitattu 4.6.2021]

UTU, University of Turku, 2021. Julkilausuma -ilmastotoimia arvioiva kansalaisraati. <https://sites.utu.fi/kansalaisraati/wp-content/uploads/sites/933/2021/04/Kansalaisraadın-julkilausuma.pdf>

Vaismaa, K., Mäntynen, J., Metsäpuro, P., Luukkonen, T., Rantala, T. & Karhula, K. 2011. Parhaat eurooppalaiset käytännöt pyöräilyn ja kävelyn edistämiseksi. Tampereen teknillinen yliopisto. Liikenteen tutkimuskeskus Verne. Saatavilla: <https://research.tuni.fi/verne/tutkimus/kestava-liikkuminen/pykala/parhaat-eurooppalaiset-kaytannot-pyorailyn-ja-kavelyn-edistamisessa-pykala/>

Valtioneuvosto 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019: Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161931>

Verkerk, P.J., Mavsar, R., Giergiczny, M. Lindner, M., Edwards, D. & Schelhaas, M.J. 2014. Assessing impacts of intensified biomass production and biodiversity protection on ecosystem services provided by European forests. *Ecosystem Services*, 9:155-165. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.004>

Vierikko, K., Nieminen, H., Salomaa, V., Häkkinen, J., Salminen, J. & Sorvari, J. 2021. Kiertotalous maankäytön suunnittelussa. Kaavoitus kestävä ja luonnonvarojen säästävän kaupunkiympäristön edistäjänä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 45/2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5336-5>

VM, Valtiovarainministeriö, 2021. Suomen kestävä kasvun ohjelma – vauhtia uudistuksiin ja investointeihin. Saatavilla: <https://vm.fi/kestava-kasvu> , [viitattu 9.9.2021]

VN/4694/2021. Integrated reporting on greenhouse gas policies and measures and projections under article 18 of regulation (EU) No 2018/1999 and articles 36, 37 and 39 of commission implementing regulation (EU) no 2020/1208. Finland. 15 March 2021. Saatavilla: https://tem.fi/documents/1410877/2132096/Integrated+reporting+on+PAMs_Finland_2021.pdf/26c216d7-85ef-d7b5-ce99-67e1283fa0f0/Integrated+reporting+on+PAMs_Finland_2021.pdf?t=1616157896988

Watari T., McLellan B.C, Giurco D., Dominish E, Yamasue E. & Nansai, K. 2019. Total material requirement for the global energy transition to 2050: A focus on transport and electricity, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 148, 2019, Pp.91-103, ISSN 0921-3449. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.015>.

WEF, World Economic Forum, 2019. A Vision for Sustainable Battery Value Chain in 2030. Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation. September 2019. Saatavilla: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf

YM, Ympäristöministeriö, 2017. Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. Kohti ilmastoviisasta arkea. Ympäristöministeriön raportteja 21/2017. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4748-7>

YM, Ympäristöministeriö, 2019a. Säädosehdotusten ympäristövaikutusten arviointi. https://ym.fi/documents/1410903/56741391/ym_saadosehdotusten_ymparistovaikutusten_arvioinnin_opas.pdf/3651c7f7-ee3a-d1b6-96d6-a6565c568f1e/ym_saadosehdotusten_ymparistovaikutusten_arvioinnin_opas.pdf?t=1611236596622

YM, Ympäristöministeriö, 2019b. Kansallinen ilmansuojeluohjelma 2030. Ympäristöministeriön julkaisu, 2019:7. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-008-8>

YM, Ympäristöministeriö, 2020a. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020-2050 Suomi. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2010/31/EU), muutettuna direktiivillä 2018/844/EU, artiklan 2a mukainen ilmoitus. 10.3.2020. Saatavilla: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/37a549e9-b330-5f8c-d863-2e51f2e8239a/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf?t=1603259873424

YM, Ympäristöministeriö, 2020b. Ilmastopolitiikan pyöreä pöytä. Saatavilla: [Ilmastopolitiikan pyöreä pöytä - Ympäristöministeriö](#)

YM, Ympäristöministeriö, 2020c. Kiertotalousohjelman kansalaisraati: visio hyvästä tulevaisuudesta auttaa ratkaisemaan kestävyyshaastetta. Uutinen 23.11.2020. Saatavilla: <https://ym.fi/-/kiertotalousohjelman-kansalaisraati-visio-hyvasta-tulevaisuudesta-auttaa-ratkaisemaan-kestavyyshaastetta>

YM, Ympäristöministeriö, 2021a. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Saatavilla: <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka> [viitattu 27.8.2021]

YM, Ympäristöministeriö, 2021b. EU:n ilmastopaketti auttaa myös Suomea hiilineutraaliuden saavuttamisessa. Tiedote 14.7.2021. Saatavilla: <https://ym.fi/-/10616/eu-n-ilmastopaketti-auttaa-myo-suomea-hiilineutraaliuden-saavuttamisessa>, [viitattu 27.8.2021]

YM, Ympäristöministeriö, 2021c. Uusi ilmastolaki lausuntokierrokselle. 2.7.2021 Saatavilla: <https://ym.fi/-/uusi-ilmastolaki-lausuntokierrokselle>, [viitattu 27.8.2021]

YM, Ympäristöministeriö, 2021d. Jätelainsäädäntö. Saatavilla: <https://ym.fi/jatelainsaadanto>, [viitattu 27.8.2021]

YM, Ympäristöministeriö, 2021e. Kiertotalousohjelma asettaa tavoitteet luonnonvarojen ylikulutuksen hillitsemiselle. Työ- ja elinkeinoministeriön ja ympäristöministeriön tiedote 8.4.2021. <https://ym.fi/-/kiertotalousohjelman-tavoitteena-vahentaa-uusiutumattomien-luonnonvarojen-kulutusta>, [viitattu 27.8.2021]

YM, Ympäristöministeriö, 2021f. Liikenteen, lämmityksen sekä maatalouden päästöjen vähentämisessä keskeistä oikeudenmukaisuus, kustannustehokkuus ja linjattu EU-toimien kanssa. Valtioneuvoston viestintäosaston ja ympäristöministeriön tiedote 3.5.2021. Saatavilla: <https://ym.fi/-/liikenteen-lammityksen-seka-maatalouden-paastojen-vahentamisessa-keskeista-oikeudenmukaisuus-kustannustehokkuus-ja-linjattu-eu-tason-toimien-kanssa>, [viitattu 7.9.2021]

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisu. Saatavilla: https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon-suositukset_Tapio_2019.pdf

tietokayttoon.fi

ISBN PDF 978-952-383-279-4

ISSN PDF 2342-6799