

KORJAUSLIIKE

Suomi kohti 1,5 asteen tavoitteen mukaisia ilmastotoimia

**Mariko Landström, Alexander Kohl, Samuli Puroila,
Rasmus Sihvonen ja Saara Tamminen**



© Sitra 2021

Sitran selvityksiä 193

Korjausliike

Suomi kohti 1,5 asteen tavoitteen mukaisia ilmastotoimia

Tekijät: Mariko Landström, Alexander Kohl, Samuli Puroila,
Rasmus Sihvonen, Saara Tamminen

Kuvalähde: "Cool man", Jacob George, CC BY 2.0
Kuvan muokkaus: Topias Dean, Sitra

ISBN 978-952-347-236-5 (PDF) www.sitra.fi
ISSN 1796-7112 (PDF) www.sitra.fi

PunaMusta Oy 2021

SITRAN SELVITYKSIÄ -sarjassa julkaistaan Sitran
tulevaisuustyön ja kokeilujen tuloksia.

Sitran selvityksiä 193

Korjausliike – Suomi kohti 1,5 asteen mukaisia ilmastotoimia

Elokuu 2021

Sisällys

Esipuhe	4
Tiivistelmä	5
Executive summary	16
Sammanfattning	27
1 Mitä tässä työssä tehtiin	38
2 Miten tuodaan Suomi kohti 1,5 asteen tavoitteen mukaista polkua?	38
2.1 Suomen oikeudenmukaiset päästötavoitteet	41
2.2 Päästöjen lähtötilanne	42
2.3 Ratkaisut tavoitteiden saavuttamiseksi	42
2.4 Päästövähennysten jakautuminen sektoreittain	44
2.5 Ratkaisujen muut vaikutukset	46
2.6 Suurimmat esteet ja tarvittavat korjausliikkeet	46
2.7 Miten siirtymästä tehdään reilu?	47
3 Sähkö ja kaukolämpö	49
3.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet	50
3.2 Ratkaisut ja niiden tilanne	50
3.3 Esteet ja korjausliikkeet	55
4 Teollisuus	58
4.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet	59
4.2 Ratkaisut ja niiden tilanne	61
4.3 Esteet ja korjausliikkeet	68
5 Rakennettu ympäristö	71
5.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet	72
5.2 Ratkaisut ja niiden tilanne	74
5.3 Esteet ja korjausliikkeet	79
6 Liikenne	81
6.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet	82
6.2 Ratkaisut ja niiden tilanne	83
6.3 Esteet ja korjausliikkeet	92
7 Maatalous	95
7.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet	96
7.2 Ratkaisut ja niiden tilanne	98
7.3 Esteet ja korjausliikkeet	107

8 Metsien ja kosteikkojen käyttö	109
8.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet	110
8.2 Ratkaisut ja niiden tilanne	111
8.3 Esteet ja korjausliikkeet	118
9 Jätteiden käsittely	122
9.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet	123
9.2 Ratkaisut ja niiden tilanne	123
9.3 Esteet ja korjausliikkeet	125
Lähteet	127
Liitteet	136
A Kiitokset	136
B Laskelmien oletukset	138

Kuvat

Kuva 1.	Suomen ilmastopäästöt 2019 (Mt)	39
Kuva 2.	Päästövähennysten mahdollinen jakautuminen sektoreiden välillä	40
Kuva 3.	Eivätkö päästöt olekaan 53 Mt? Miten päästöjen esitystapa suhtautuu kasvihuonekaasuinventaarioon (2019, Mt)	41
Kuva 4.	Sähkön ja kaukolämmön päästöt 2019 (Mt)	49
Kuva 5.	Sähkön ja kaukolämmön päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä	49
Kuva 6.	Teollisuuden päästöt 2019 (Mt)	58
Kuva 7.	Teollisuuden päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä	58
Kuva 8.	Rakennetun ympäristön päästöt 2019 (Mt)	71
Kuva 9.	Rakennetun ympäristön päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä	71
Kuva 10.	Liikenteen päästöt 2019 (Mt)	81
Kuva 11.	Kotimaan liikenteen päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä	81
Kuva 12.	Maatalouden päästöt 2019 (Mt)	95
Kuva 13.	Osa ratkaisuista vapauttaa peltopinta-alaa suorille päästövähennysratkaisuille	95
Kuva 14.	Maatalouden päästövähennysten mahdollinen jakautuminen suorien päästövähennysratkaisujen välillä	95
Kuva 15.	Metsien ja kosteikkojen käytön päästöt 2019 (Mt)	109
Kuva 16.	Metsien ja kosteikkojen käytön päästövähennysten ja nielun kasvattamisen mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä	109
Kuva 17.	Jätteiden käsittelyn päästöt 2019 (Mt)	122
Kuva 18.	Jätteiden käsittelyn päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä	122

Infoboxit

Infoboxi: 1,5 asteen tavoitteen mukainen ilmastopolitiikka	43
Infoboxi: Kulutusperäiset päästöt ovat vaihtoehtoinen tapa tarkastella päästöjä	45
Infoboxi: Negatiivisten päästöjen tekniikat	60
Infoboxi: Julkiset hankinnat päästövähennysten edistäjänä	65
Infoboxi: Materiaalien uudelleenkäytöllä on huomattava hallinnollinen taakka	67
Infoboxi: Energiatehokkuusvaatimukset ovat Suomessa löysemmät kuin EU-tason suositus	73
Infoboxi: Biokaasua ei riitä kaikille, mutta synteettisestä kaasusta saattaa olla apua	90
Infoboxi: Maankäyttösektorin ilmastotoimet liikkeelle päästökompensaation keinoin	97
Infoboxi: Turpeen käytöstä on luovuttava hallitusti	106
Infoboxi: Kaikki puun käyttö ei ole hiilineutraalia	113
Infoboxi: Hiilikorvauksella kannustimia hiilen sidontaan	117
Infoboxi: Maankäyttösektorin ilmastoratkaisujen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen	120

Esipuhe

Ilmastokriisin ratkaiseminen on välttämätöntä niin suomalaisten ja koko ihmiskunnan hyvinvoinnin kuin talouden kannalta. Ilmastokriisi nivoutuu kiinteästi myös luontokatoon. Kriisien juurisyyt ovat pitkälti yhteisiä, ja ilmaston kuumeneminen kiihdyttää luontokatoa.

Pariisin sopimuksessa maailman maat sitoutuivat pyrkimykseen rajoittaa ilmaston kuumeneminen 1,5 asteeseen, mikä auttaisi välttämään ilmastokriisin tuhoisimmat seuraukset. Maailman maiden päästötavoitteet eivät vielä ole riittäviä, mutta suunta on oikea. Yli sata maata ja lukuisat kaupungit ja yritykset ovat asettaneet itselleen hiilineutraaliustavoitteen, mukaan lukien kaikki G7-maat. Kunnianhimoisimpia tavoitteita löytyy Suomen verrokki-maista: Tanska tavoittelee maankäytön ulkopuolisten päästöjensä vähentämistä 70 prosentilla ja Iso-Britannia 68 prosentilla vuoteen 2030 mennessä.

Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta ja syyskuuhun 2021 asti lausunnoilla olevan ilmastokilunnon mukaan 70 prosentin päästövähennystä vuoteen 2035 mennessä. Tuoreimman ilmastovuosikertomuksen mukaan päätöksiä lisätoimista tarvitaan 11 miljoonan tonnin (Mt) edestä, kun Suomen päästöt vuonna 2019 olivat 53 Mt.

Tilanteen korjaamiseksi päivitetään parhaillaan Suomen ilmasto- ja energiastrategiaa sekä keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaa. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma laaditaan ensimmäisen kerran. Eri teollisuudenalat ovat jo laatineet toimialakohtaiset vähähiilitiekartat.

Myös EU-tason ilmastopolitiikka on menossa remonttiin, jotta saavutetaan EU:n välitavoite vähentää päästöjä vähintään 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Tämä merkitsee myös Suomen velvoitteiden kiristymistä, mutta auttaa Suomea saavuttamaan kansallisenkin tavoitteen.

Suomessa 1,5 asteen tavoitteen mukainen ilmastopolitiikka edellyttää vuoden 2035 jälkeen huomattavaa hiilinegatiivisuutta. Hiilibudjettia tai määrällistä hiilinegatiivisuuden tavoitetta ei kuitenkaan ole asetettu. Pidemmän aikavälin tavoitteiden saavuttamisesta on myös toistaiseksi keskusteltu hyvin rajallisesti.

Hiilineutraaliuden saavuttaminen edellyttää merkittäviä lisätoimia. Myös hiilinegatiivisuus on syytä ottaa huomioon jo nyt tehtävissä päätöksissä, sillä hiilineutraalius on vain välitavoite. Ymmärrys pitkällä aikavälillä tarvittavista ratkaisuista edistää siirtymän kustannustehokkuutta, ennakoitavuutta ja oikeudenmukaisuutta.

Tässä selvityksessä olemme pyrkineet selventämään kokonaiskuvaa: mitä hiilineutraalius ja sen jälkeinen hiilinegatiivisuus edellyttävät sekä mistä ja miten tarvittavat päästövähennykset voidaan parhaiten saavuttaa. Lisäksi olemme koonneet yhteen ratkaisujen toteuttamisen tiellä seisovia esteitä ja esittäneet mahdollisia tapoja ylittää niitä – eli miten Suomessa voidaan tehdä korjausliike kohti 1,5 asteen tavoitteen mukaista ilmastopolitiikkaa.

Selvitys pohjautuu aiempaan kirjallisuuteen ja yli sataan asiantuntijahaastatteluun. Kii-tämme kaikkia asiantuntijoita, jotka osallistuivat selvitykseen ja antoivat kommentteja työhön.

Tämä selvitys keskittyy ilmastoon, mutta olemme pyrkineet huomioimaan myös luontokadon asettamat reunaehdot. Olemme painottaneet ratkaisuja, joilla voidaan ratkoa molempia kriisejä – tai ainakin olla heikentämättä luonnon tilaa lisää. Luontokato kuitenkin ansaitsee oman selvityksensä – ilmastokriisin lisäksi myös luontokadon ratkaiseminen on tuotava päätöksenteon ytimeen.

Helsingissä 19.8.2021

Mari Pantsar

johtaja, Kestävyysratkaisut
Sitra

Mariko Landström

asiantuntija, Ilmasto- ja luontoratkaisut
Sitra

Tiivistelmä

Mitä tehtiin?

Tämän selvityksen tavoitteena on selventää kokonais kuvaa siitä, millä ratkaisulla hiilineutraalius 2035 ja hiilinegatiivisuus¹ sen jälkeen voidaan saavuttaa ja mitkä ovat ratkaisujen käyttöönoton suurimmat esteet. Esitämme myös mahdollisia toimenpiteitä esteiden purkamiseksi – eli millaisilla korjausliikkeillä Suomen päästöt voidaan saada 1,5 asteen tavoitteen mukaiselle polulle.

Toivomme selvityksen edistävän keskustelua tarvittavasta pitkän aikavälin siirtymästä ja sen huomioimisesta tulevissa päätöksissä. Kaukaa viisaat päätökset edistävät siirtymän kustannustehokkuutta, ennakoitavuutta ja oikeudenmukaisuutta.

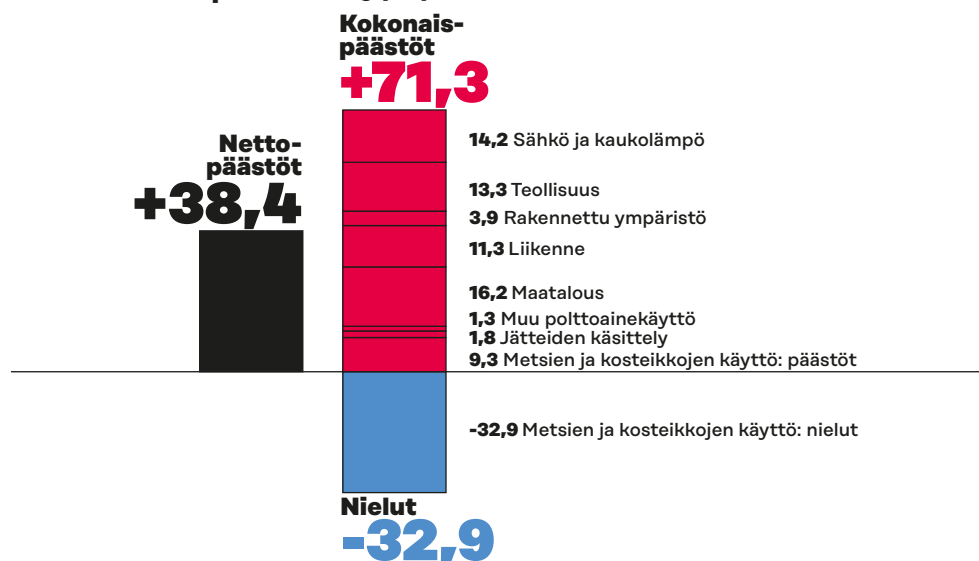
Selvitys pohjautuu yli sataan asiantuntijahaastatteluun ja laajaan kirjallisuuskatsaukseen. Esitetyt johtopäätökset ovat tekijöiden omia eivätkä välttämättä edusta haastateltujen henkilöiden tai heidän organisaatioidensa näkemyksiä.

Ilmastoratkaisujen potentiaalia on hahmoteltu suuntaa antavasti, eikä työssä ole tehty uutta mallinnusta tai pyritty ennustamaan tulevaa kehitystä. Selvitys ei myöskään pysty kattamaan kaikkia tarvittavia korjausliikkeitä. Olemme kuitenkin pyrkineet sisällyttämään niistä tärkeimpiä.

1,5 asteen tavoitteen mukainen päästökehitys

Ilmastopaneeli on arvioinut Suomen oikeudenmukaiseksi osuudeksi maailman jäljellä olevasta päästöbudjetista 79 Mt vuosille 2020–2050. Vertailun vuoksi vuonna 2019 Suomen nettopäästöt² olivat 38 Mt. Nykypäästöillä kolmen vuosikymmenen budjetti tulisi siis syötyä jo runsaassa kahdessa vuodessa.

Suomen ilmastopäästöt 2019 (Mt)



1 Hiilineutraaliudella tarkoitetaan tässä ja Suomen ilmastotavoitteissa tilannetta, jolloin ihmisperäiset kasvihuonekaasupäästöt ja ihmisperäiset nielut ovat tasapainossa. Hiilinegatiivisuudessa nielut ovat päästöjä suuremmat.
2 Nettopäästöillä tarkoitetaan päästöjen ja nielujen summaa.

Budjetissa voidaan kuitenkin yhä pysyä, jos päästöjä vähennetään hiilineutraaliustavoitteen mukaisesti ja kertynyt alijäämä katetaan myöhemmin negatiivisilla päästöillä³. Vuodesta 2045 eteenpäin pitäisi yltää noin –17 Mt:n nettopäästöihin vuodessa.

Ratkaisut ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi

Vuonna 2019 maatalous aiheutti päästöistä liki neljänneksen, sähkön ja kaukolämmön tuotanto sekä teollisuus kumpikin viidenneksen ja kotimaan liikenne kuudesosan. Rakennetun ympäristön, jätteiden käsittelyn ja muun polttoainekäytön suorat päästöt muodostivat yhteensä 10 prosenttia. Metsien ja kosteikkojen käyttö, eli metsätalous ja turvetuotanto, tuottivat päästöistä kahdeksasosan. Samalla metsät kuitenkin muodostivat nielun, joka kumosi laskennallisesti liki puolet Suomen kokonaispäästöistä⁴.

Sektorit vaikuttavat myös toisiinsa. Esimerkiksi teollisuus ja rakennukset käyttävät sähköä ja kaukolämpöä, rakennettu ympäristö luo puitteet liikkumiselle ja teollisuuden tuotesuunnittelu vaikuttaa syntyviin jätteisiin. Kokonaisuudessaan energiankäyttö aiheutti kokonaispäästöistä 55, maankäyttö 28 ja teollisuuden prosessipäästöt 8 prosenttia. Maankäytön päästöistä turvemaiden käyttö muodosti 90 prosenttia.

Ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan karkeasti kolmenlaisia ratkaisuja: tehokkuuden ja tuottavuuden kasvattamista, päästöjä aiheuttavien toimintojen korvaamista vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla sekä nielujen vahvistamista.

Tehokkuus ja tuottavuus ovat avainasemassa päästöjen kustannustehokkaaksi vähentämiseksi kaikilla sektoreilla. Kiertotaloudella tehostetaan materiaalien käyttöä, mikä vähentää tuotanto- ja jätteenkäsittelyprosessien päästöjä. Teollisuuden, rakennusten ja liikenteen energiatehokkuuden parantaminen leikkaa päästöjä tuottavan energian tarvetta, helpottaa puhtaiden energiaratkaisujen soveltamista ja laskee energijärjestelmän kustannuksia. Siirtyminen kohti kasvis- ja kalapainotteista ruokavaliota sekä satotasojen nosto vapauttavat maataloudessa ruuantuotannolta tilaa päästövähennystoimille, esimerkiksi metsittämiselle. Päästöjen lisäksi tehokkuus ja tuottavuus säästävät luonnonvaroja, mikä vähentää painetta myös luonnolle.

Tehostamisen jälkeen on korvattava päästöjä aiheuttavat polttoaineet, prosessit ja raaka-aineet vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla. Sähköistäminen on tärkein ratkaisu niin lämmityksen, liikenteen kuin teollisuuden puhdistamisessa. Tarvittava sähkö voidaan tuottaa puhtaasti, pääasiassa tuulivoimalla. Kulutuksen joustavuus ja energian varastointi mahdollistavat sääriippuvaisen tuotannon lisäämisen ja parantavat järjestelmän kustannustehokkuutta. Kestävästi tuotettua biomassaa on saatavilla rajallisesti, mutta sillä voidaan korvata fossiiliperäisiä raaka-aineita ja tarjota joustavaa energiantuotantoa ja polttoaineita vaikeasti sähköistettäviin kohteisiin. Biomassan käytölle vaihtoehtona on usein epäsuora sähköistäminen, jossa sähkö muunnetaan vedyksi ja joissain tapauksissa edelleen synteettisiksi polttoaineiksi.

Turvemailla on siirryttävä vähäpäästöisempiin maankäyttömuotoihin. Heikkotuottoisia suopeltoja ja -metsiä voidaan ennallistaa soiksi. Myös pelkkä turvepellon jättäminen maatalouskäytön ulkopuolelle auttaa vähentämään päästöjä. Metsä- ja maatalouskäyttöön jäävillä

3 Negatiivisiksi päästöiksi kutsutaan hiilidioksidin sitomista ilmakehästä ihmistoimin. Esimerkiksi talousmetsän hiilivaraston kasvattaminen eli nielu tai bioperäisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi ovat negatiivisia päästöjä.

4 Huomaa, että tässä selvityksessä maankäytön päästöt on sisällytetty kokonaispäästöihin ja kunkin sektorin päästöihin, koska sektoreiden toimilla voidaan vaikuttaa niihin. Vuonna 2019 maankäyttösektorin ulkopuoliset päästöt olivat 53 Mt, ja maankäytön päästöt ja nielut yhteensä –15 Mt.

alueilla vedenpintaa voidaan pitää korkealla ja päästöjä vähentää metsien jatkuvapeitteisen kasvatuksen, kosteikkoviljelyn sekä monivuotisten kasvien ja säätösalaoituksen avulla.

Päästövähennysten lisäksi nieluja pitää kasvattaa. Siksi on tärkeää edistää metsien kasvua ja torjua metsätuhoja vahvistamalla monimuotoisuutta⁵. Myös metsien käsittelyä ja kivennäismaiden viljelykäytäntöjä pitää muuttaa sitomaan enemmän hiiltä. Ilmastokriisin hillinnän lisäksi ratkaisut torjuvat luontokatoa. Tekniset nielut, kuten bioperäisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi, täydentävät selvästi kookkaampaa metsänielua.

Suuri osa tarvittavista ratkaisuista, erityisesti erilaiset teknologiavaihdokset, edellyttävät merkittäviä investointeja. Investoinnit tuovat myös työtä ja voivat tukea kestävästä elpymisestä koronakriisistä. Vaikka ratkaisut ovat tiedossa, monet niistä eivät vielä ole täysin kypsiä, ja edelläkävijyys antaa mahdollisuuden kehittää ratkaisuja kasvaville maailmanmarkkinoille. Näin voidaan luoda vientiä ja työpaikkoja ja Suomella voi olla kokoaan suurempi rooli ilmastokriisin ratkaisussa.

Esteet ja korjausliikkeet

Ratkaisujen käyttöönotolle hahmotettiin seitsemän poikkileikkaavaa estettä.

- 1. Positiivisista visioista ja johtajuudesta on puutetta** niin koko yhteiskunnan tasolla, kunnissa kuin yrityksissä. Visioita tarvitaan luomaan suuntaa ja innostamaan toimintaan. Valtion tulisi myös asettaa tarvittavat pitkän aikavälin tavoitteet, luoda selkeä kuva tulevasta muutoksesta ja valmistella ohjauskeinot hyvissä ajoin.
- 2. Taloudelliset kannustimet puuttuvat** monelta tarvittavalta ratkaisulta. Tarvitaan kannustimet luonnonvarojen käytön vähentämiselle, fossiilisten raaka-aineiden korvaamiselle, maatalouden ilmastotoimille, negatiivisille päästöille sekä kestäville kulutus- ja liikkumisvalinnoille.
- 3. Nykyiset tuet ohjaavat liian suureen puun käyttöön ilmaston kannalta tehottomissa kohteissa.** Tarvitaan ohjausta, joka kohdentaa rajalliset kestävät bioresurssit ilmaston kannalta parhaalla tavalla. Kannustimia tarvitaan peruslämmöntuotannon sijaan puun käytölle fossiilisten raaka-aineiden korvaajana ja hiilinieluna.
- 4. Nykyinen infrastruktuuri ei anna riittävää pohjaa.** Kustannustehokas siirtymä edellyttää resurssitehokasta ja kestävästä liikkumisen mahdollistavaa yhdyskuntarakennetta, säästeliääseen ja älykkääseen energiankäyttöön kykeneviä rakennuksia, riittävää jakeluverkkoa liikenteen sähkölle ja uusille polttoaineille sekä infrastruktuuria vedyn ja talteen otetun hiilidioksidin siirrolle.
- 5. Uusien ratkaisujen riskiä ei ole jaettu riittävästi.** Tarvitaan vahvempaa tukea uusien ratkaisujen tuotekehitykseen, demonstrointiin ja kaupallistamiseen, jotta niiden käyttöönotto nopeutuu.

⁵ Monimuotoisempi metsäekosysteemi lisää kasvua ja on kestävämpi sekä sään ääri-ilmiöitä että hyönteistuhouja vastaan.

- 6. Tietoa ja osaamista puuttuu.** Tarvitaan ymmärrystä ilmastokriisin vakavuudesta ja ilmastotoimien kiireellisyydestä, ja siirtymän vaatimaa uutta osaamista on kehitettävä laajasti. Ilmasto-osaaminen tulisi integroida kaikille koulutusasteille. Panostuksia tarvitaan niin huippututkimukseen ja ratkaisujen pilotointiin kuin rakentamisen sekä maa- ja metsätalouden ammattilaisten täydennyskoulutukseen.
- 7. Hallinnolliset esteet.** Ilmastoratkaisujen tieltä pitää raivata luvitukseen liittyviä ja muita hallinnollisia esteitä. Tuulivoimarakentamista ja aluevalvontaa pitää yhteensovittaa sekä voimaloiden ja sähköverkkojen luvitusta sujuvoittaa. Kaavoitusta pitää joustavoittaa sallimaan rakennetun ympäristön kehittäminen nopeasti, ja kierrätysmateriaalien hyödyntämiselle on luotava selkeät pelisäännöt. Ydinvoimalainsäädäntö on uudistettava helpottamaan pienreaktoreiden käyttöönottoa.

Valtiolla on ratkaiseva rooli sääntelyn ja kannusteiden asettajana, hallinnollisten esteiden raivaajana ja Suomen edustajana EU-päätöksenteossa. Kunnat ovat tärkeitä käytännön toteuttajia: niiden päätökset pitkälti määrittävät yhdyskuntarakenteen ja lähiliikenteen infrastruktuurin, ja ne voivat ohjata omistamiaan energiayhtiöitä kohti hiilineutraaliutta. Yritykset puolestaan kehittävät ratkaisut ja pääosin toteuttavat käytännön investoinnit. Kuluttajat taas lopulta päättävät, millaisille tuotteille ja palveluille on kysyntää.

Miten siirtymästä tehdään reilu?

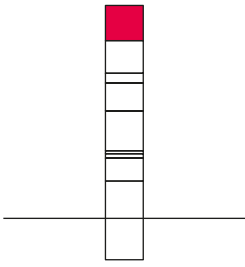
Kaikessa päätöksenteossa on varmistettava, että ihmiset pysyvät muutoksessa mukana. Tähän voidaan hahmottaa kolme askelta.

Ensimmäiseksi on varmistettava, että muutos ei pääse yllättämään. Oikeudenmukaisen siirtymän edellytys on, että toimet ovat hyvin ennakoitavissa. Siksi toimintaa ohjaamaan on tärkeää selkeyttää pitkän aikavälin tavoite ja näkemys siirtymästä sitä kohti. Samalla pitää estää investoinnit, jotka voisivat lukita pitkäksi aikaa siirtymää mutkistaviin ratkaisuihin.

Toiseksi on pyrittävä minimoimaan siirtymän kustannuksia. Kustannustehokkaiden ratkaisujen ja ohjauskeinojen valinta mahdollistaa yhteisten rahojen järkevän käytön ja mahdollisimman pienen kokonaisrasituksen ihmisille, yrityksille ja yhteiskunnalle.

Kolmanneksi on tarkasteltava rasituksen jakautumista ja varmistettava, ettei se ole kenellekään liian suuri. Siirtymässä katoaa väistämättä vanhoja työpaikkoja, mutta samalla syntyy uusia. Päätösten vaikutukset eri ihmisryhmille ja alueille on selvitettävä ja mahdolliset kohutuettomat haitat hyvitetävä. Ihmisille on varmistettava edellytykset tuoda näkemyksensä esiin ja osallistua heitä koskevaan päätöksentekoon. Ihmisiä on tuettava osaamisen kehittämisessä ja uuden toimeentulon hakemisessa.

Seuraavaksi pureudutaan ratkaisuihin, esteisiin ja korjausliikkeisiin tarkemmin sektoreittain.



Sähkö ja kaukolämpö

Päästöjen nykytila

Sähkön ja kaukolämmön tuotannon päästöt olivat vuonna 2019 14,2 Mt, viidenneksen Suomen päästöistä. 75 prosenttia päästöistä oli peräisin kivihiilen ja turpeen käytöstä. 90 prosenttia päästöistä syntyi lämmön ja sähkön yhteistuotannossa, jota ajaa pääasiassa kaukolämmön tarve, ja hieman alle 10 prosenttia lämmön erillistuotannossa. Pääasiallinen ohjauskeino energiantuotannon päästöjen vähentämiseksi on EU:n päästökauppa.

Ratkaisut

Tärkeä päästövähennyskeino lämmöntuotannossa on sähköistäminen. Sähkön avulla lämpöä voidaan tuottaa erityisesti lämpöpumpuilla, joilla hyödynnetään erilaisia hukka- ja ympäristölämpöjä. Tuulivoima on edullisin tapa rakentaa uutta sähköntuotantoa vastaamaan kasvavaan kysyntään ja korvaamaan nykyistä yhteistuotantosähköä. Myös ydinenergiaa voidaan hyödyntää luotettavana tasaisena sähkön ja kaupunkien kaukolämmön tuotantona. Akut ja lämpövarastot, sähkön ja lämmön joustava kulutus sekä kansainvälisten sähkönsiirtoyhteyksien vahvistaminen mahdollistavat polttoon perustumattoman energiantuotannon lisäämisen. Joustavaakin tuotantoa, esimerkiksi bioenergiaa, vesivoimaa ja puhdasta kaasua (kuten vetyä), kuitenkin tarvitaan.

Esteet ja korjausliikkeet

ESTE Puolustusvoimien aluevalvonta tutkien avulla rajoittaa tuulivoimarakentamista erityisesti Itä-Suomessa.

KORJAUSLIIKE Etsitään valtion ja tuulivoimatoimijoiden yhteistyöllä tutkakysymykseen ratkaisumalli. Vähintään tämä kannattaa tehdä alueilla, joilla tuulivoiman rakentaminen parantaisi merkittävästi energijärjestelmän kustannustehokkuutta tasapainottamalla sähkön tuotantoa eri aikoina sekä alueellisesti, mikä edistää sähköverkon tehokasta hyödyntämistä.

ESTE Tuulivoiman ja sähkönsiirtoverkkojen kaavoitus- ja luvitusprosessit ovat hitaat ja jäykät.

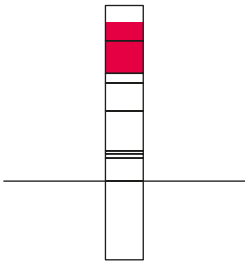
KORJAUSLIIKE Lisätään voimavaroja hallinto-oikeuksiin käsittelemään valituksia, joustavoitetaan kaavoitusta ja sujuvoitetaan lupaprosesseja. Puretaan merituulivoiman päällekkäisiä prosesseja.

ESTE Rajallista kestävää biomassaa ohjautuu runsaasti lämmön perustuotantoon ja polttoon perustumattomien ratkaisujen käyttöönotto on hidasta.

KORJAUSLIIKE Varmistetaan polttoon perustumattomien ratkaisujen kannattavuus suhteessa biomassaan esimerkiksi ohjaamalla lämmöntuotannon verotusta oikeaan suuntaan. Lisätään tukea uusien teknologioiden kaupallistamiselle. Uudistetaan ydinvoimalainsäädäntö helpottamaan pienten reaktoreiden käyttöönottoa.

ESTE Markkinaehtoinen kehitys ei välttämättä johda kustannustehokkaaseen ja toimitusvarmaan sähköntuotantojärjestelmään.

KORJAUSLIIKE Seurataan tiiviisti energijärjestelmän kehitystä ja tarvittaessa kehitetään kannusteita esimerkiksi joustavan sähköntuotannon lisäämiselle turvaamaan toimitusvarmuus. Suunnitellaan sähkönsiirto- ja vetynfrastruktuuria kokonaisuutena, jotta energian siirto on kustannustehokasta.



Teollisuus

Päästöjen nykytila

Teollisuuden suorat päästöt olivat vuonna 2019 13,3 Mt eli noin viidenneksen Suomen päästöistä. Päästöjä syntyy energiankäytöstä (teollisuuden omasta sähkön ja lämmön tuotannosta sekä työkoneista) sekä esimerkiksi teräksen, vedyn ja sementin valmistusprosesseista. Teollisuustuotanto aiheuttaa myös muilla sektoreilla laskettavia päästöjä ostetun energian tuotannossa (arviolta 7,5 Mt), kuljetuksissa ja jätteiden käsittelyssä sekä välituotteiden kautta Suomen ulkopuolella. Tärkein käytössä oleva ohjauskeino on EU:n päästökauppa.

Ratkaisut

Teollisuuden päästöjen vähentämiseksi on kasvatettava materiaalitehokkuutta kiertotalouden avulla ja lisättävä energiatehokkuutta. Runsaspäästöisiä tuotteita ja raaka-aineita (kuten F-kaasuja ja kemianteollisuuden raakaöljyä) on korvattava, otettava käyttöön päästöttömiä valmistusprosesseja (esimerkiksi teräkselle ja vedylle) ja siirryttävä puhtaaseen energiaan sähköistämisen tai polttoainevaihdosten avulla. Kaikkia päästöjä olisi nykYTEknologialla hyvin vaikeaa tai kallista välttää. Suurissa pistelähteissä (kuten sementin tuotannossa) voidaan kuitenkin hiilidioksidia estää karkaamasta ilmakehään talteenoton ja varastoinnin avulla. Muualla niitä voidaan kompensoida tuottamalla negatiivisia päästöjä, erityisesti ottamalla talteen ja varastoimalla bioperäistä hiilidioksidia.

Esteet ja korjausliikkeet

ESTE Puitteet teollisuuden suurille investoinneille eivät ole tarpeeksi vakaat ja ennakoitavat. **KORJAUSLIIKE** Tehdään pitkäjänteisempää ilmastopolitiikkaa asettamalla päästötavoitteiden lisäksi päästöbudjetit ja nielutavoitteet vuosiin 2040 ja 2050 asti. Tehdään valtiotasolla sektorikohtaiset pitkän aikavälin tiekartat päästöjen vähentämiseen, tarvittavaan infrastruktuuriin ja ohjauskeinoihin⁶. Valmistellaan tarvittavat ohjauskeinot hyvissä ajoin. Vaikutetaan EU:ssa ilmastopolitiikan korjaamiseksi 1,5 asteen tavoitteen mukaiseksi.

ESTE Kannusteet ja sääntely kiertotaloudelle ja fossiilisten raaka-aineiden korvaamiselle, negatiivisille päästöille ja vetytaloudelle puuttuvat.

KORJAUSLIIKE Vaikutetaan EU-tasolla tavoitteiden, kannustimien ja sääntelyn luomiseksi luonnonvarojen tehokkaammalle käytölle, negatiivisille päästöille ja vedylle. Asetetaan näille myös kansalliset tavoitteet, laaditaan tiekartta ratkaisujen käyttöönotolle ja luodaan kannusteita kestävän kehityksen verouudistuksen sekä esimerkiksi jakelu- ja sekoitevelvoitteiden avulla.

ESTE Uusien ratkaisujen kaupallistaminen ja käyttöönotto on hidasta.

KORJAUSLIIKE Nostetaan julkisia TKI-panoksia sekä pilottien ja demonstraatioiden rahoitusta. Luodaan vähäpäästöisille tuotteille edelläkävijämarkkinoita esimerkiksi julkisilla hankinnoilla, hiilen hintaan sidotuilla hinnoittelutuilla⁷ tai jakeluvelvoitteilla⁸.

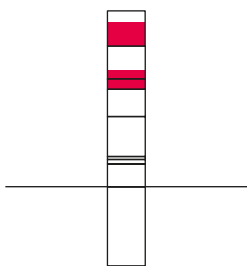
ESTE Osaamista puuttuu.

KORJAUSLIIKE Ennakoidaan osaamis- ja koulutustarpeita. Sujuvoitetaan työperäistä maahanmuuttoa. Panostetaan korkeakouluihin, perustutkimukseen, poikkitieteellisyteen ja moniosaamiseen. Otetaan ilmasto- ja kiertotalousosaaminen laajasti mukaan kaikille koulutustasoille sekä opettajakoulutukseen. Panostetaan reilun siirtymän toimiiin, kuten uudelleen kouluttamiseen.

⁶ Kuten liikenteelle on tehty.

⁷ Hinnoittelutuella (engl. carbon contract for difference, CCFD) maksetaan erotus vähäpäästöisen uuden tuotteen korkeampiin valmistuskustannuksiin ja tehdään tuotteista asiakkaalle saman hintaisia.

⁸ Jakeluvelvoitteella veloitetaan tietyt toimijat jakelemaan jokin osuus vähäpäästöistä tuotetta, vrt. uusiutuvan polttoaineen jakeluvelvoite.



Rakennettu ympäristö

Päästöjen nykytila

Rakennetun ympäristön suorat päästöt (3,9 Mt eli 6 prosenttia päästöistä) koostuvat öljylämmityksestä, rakennustyömaista ja rakentamisen aiheuttamasta maankäytön muutoksesta. Rakennettu ympäristö on myös merkittävä materiaalien, sähkön ja lämmön käyttäjä, ja voidaan sanoa, että kulutuksellaan rakennettu ympäristö aiheuttaa yhteensä noin neljänneksen Suomen päästöistä. Lisäksi rakennetulla ympäristöllä on merkittävä vaikutus ihmisten mahdollisuuksiin valita kestäviä liikkumismuotoja. Rakentamisen ympäristöohjaus on toistaiseksi keskittynyt rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen sääntelyn ja tukien avulla.

Ratkaisut

Öljylämmityksestä luopuminen poistaa suuren osan rakennetun ympäristön suorista päästöistä. Alueiden resurssiviisas suunnittelu sekä rakennusten käyttöasteen nosto ja pitkäikäisyys kasvattavat resurssitehokkuutta ja vähentävät siten päästöjä materiaalien ja usein energian tuotannossa, rakentamisessa sekä ihmisten liikkumisessa. Rakennusten energiatehokkuuden kasvattaminen ja älykäs energiankäyttö⁹ tukevat päästöjen vähentämistä energiantuotannossa. Rakentamiseen liittyviä päästöjä vähentävät myös tarkempi materiaalien käyttö, vähäpäästöisempien materiaalien valinta sekä työkoneiden ja kuljetusten sähköistäminen tai polttoainevaihdokset.

Esteet ja korjausliikkeet

ESTE Alueiden suunnittelussa ilmastonäkökulma ei paina tarpeeksi, ja jäykkä kaavoitus tekee alueiden kehittämisestä hankalaa.

KORJAUSLIIKE Tehdään vahvempi kansallinen suositus ja kaupungeissa strateginen päätös rakentaa uusia asuntoja mahdollisimman pitkälle täydennysrakentamisella hyvien kulkuyhteyksien varrelle ja muuntamalla vajaakäyttöisiä tiloja. Otetaan käyttöön maankäytön muutokseen kohdistuva maksu ja vaatimus ekologisesta kompensatiosta¹⁰. Joustavoitetaan kaavoitusta, jotta rakennusten käyttötarkoitusta olisi helpompi muuttaa.

ESTE Rakennussääntely ja vaatimukset eivät ole tarpeeksi kunnianhimoisia.

KORJAUSLIIKE Kehitetään sääntelyä vaatimaan rakennuksilta lähtökohtaisesti 100 vuoden suunniteltua käyttöikää, kiristetään energiatehokkuusvaatimuksia sekä uudis- että korjausrakentamiselle ja sisällytetään vaatimuksiin myös valmius sähkön ja lämmön kulutusjousto.

ESTE Osaamista ja tietoa energiafiksista ratkaisuista puuttuu.

KORJAUSLIIKE Panostetaan alan ammattilaisten ja opettajien koulutukseen ja jatkuvaan osaamisen kehittämiseen. Tarjotaan kiinteistönomistajille neuvontaa ja työkaluja. Tuetaan tiedonjakoyhteisöjen muodostamista. Vaaditaan taloyhtiöiltä kiinteistöstrategia ja energiatehokkuussuunnitelma.

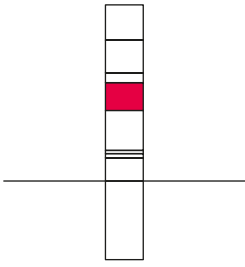
ESTE Energiakorjauksiin ei aina ole saatavilla rahoitusta.

KORJAUSLIIKE Tuetaan alueita, joissa markkinaehtoisen rahoituksen saatavuudessa on ongelmia, esimerkiksi lainojen valtiontakauksilla. Kannustetaan ryhmäkorjaamiseen¹¹. Mahdollistetaan energiatehokkuustukien käyttö myös palvelumalleilla toteutettuihin energiainvestointeihin.

⁹ Älykkäällä energiankäytöllä tarkoitetaan energiankulutuksen hallinnointia niin, että vältetään tehopiikkejä ja siirretään kulutusta niihin hetkiin, jolloin puhtaampaa ja edullisempaa energiaa on saatavilla.

¹⁰ Ekologinen kompensatio tarkoittaa, että luonnolle aiheutettu haitta hyvitetään kohentamalla luonnon tilaa jossain toisaalla.

¹¹ Ryhmäkorjaamisessa toteutetaan useamman kiinteistön samankaltainen korjaaminen yhtenä projektina.



Liikenne

Päästöjen nykytila

Kotimaan liikenteen päästöt vuonna 2019 olivat 11,3 Mt eli noin kuudennes Suomen päästöistä. Kansainvälisen liikenteen päästöjä ei lasketa Suomen päästöinventaarioon tai -tavoitteisiin, mutta ne lämmittävät ilmastoa noin 8,7 Mt:n edestä. 95 prosenttia kotimaan liikenteen päästöistä syntyy tieliikenteessä. Valtio on asettanut tavoitteeksi fossiilittoman kotimaan liikenteen vuonna 2045 ja välitavoitteen päästöjen puolittamisesta vuoteen 2030 mennessä. Liikenteen päästöjä ohjataan sääntelyllä, veroilla ja tuilla.

Ratkaisut

Henkilöliikenteen energiankulutusta ja siten päästöjä voidaan vähentää pienentämällä liikkumistarvetta¹² sekä suosimalla kävelyä, pyöräilyä ja joukkoliikennettä. Kuljetuksia taas voidaan tehostaa digitalisaation mahdollistamalla optimoinnilla, hyödyntämällä uusia, energiatehokkaampia kuljetusmuotoja¹³ ja siirtämällä kuljetuksia teiltä raiteille. Suurimman päästövähennyksen odotetaan kuitenkin tulevan siirtymisestä uusiin käyttövoimiin eli sähköön, biokaasuun ja vetyyn. Päästöt voidaan välttää myös vaihtamalla fossiiliset polttoaineet uusiutuviin tai synteettisiin polttoaineisiin niissä sovelluksissa, joissa käyttövoiman vaihto olisi hankalaa tai kallista.

Esteet ja korjausliikkeet

ESTE Liikennejärjestelmä on suunniteltu yksityisautoilun ehdoilla.

KORJAUSLIIKE Parannetaan kestävien kulkumuotojen olosuhteita investoimalla infrastruktuuriin, asettamalla kestävät kulkumuodot liikennejärjestelyissä etusijalle ja kasvattamalla tukea joukkoliikenteelle. Vähennetään kaupungeissa asuntojen pysäköintivaatimuksia ja mahdollistetaan tiemaksut.

ESTE Taloudelliset kannusteet siirtyä kestävämpiin liikkumismuotoihin tai käyttövoimiin ovat osin heikot.

KORJAUSLIIKE Toteutetaan päästövähennyksiin tähtäävä liikenteen kokonaisvaltainen vero-, maksu- ja tukiuudistus. Huolehditaan toimien oikeudenmukaisuudesta tarvittaessa esimerkiksi kohdentamalla lisätukia syrjäseutujen pienituloisille.

ESTE Kestävät polttoaineet ovat kalliita ja niiden raaka-aineet rajallisia.

KORJAUSLIIKE Lisätään tukea uusien kestävien polttoaineiden kehitykseen, demonstroiintiin ja markkinoille pääsyyn. Tarkastellaan, olisiko uusiutuvien polttoaineiden jakeluvoitteen perusteltua kasvattaa kehittyneiden polttoaineiden osavelvoitetta¹⁴ entisestään.

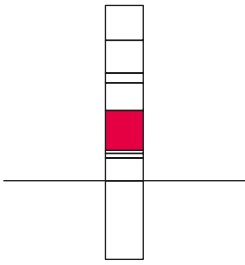
ESTE Lento- ja meriliikenteen ilmasto-ohjaus on puutteellista.

KORJAUSLIIKE Asetetaan tavoitteeksi, että kotimainen ja Suomesta lähtevä lento- ja meriliikenne eivät enää lämmitä ilmastoa ja että fossiilisen lento- ja meripolttoaineen myynti Suomessa loppuu vuoteen 2050 mennessä. Asetetaan kiristytvä uusiutuvien polttoaineiden jakeluvelvoite lento- ja meriliikenteeseen. Edistetään tavoitteita, jakeluvelvoitteita ja riittävää hiilen hinnoittelua myös EU-tasolla sekä globaalisti.

¹² Esimerkiksi tehokkaamman yhdyskuntarakenteen, verkkokaupan, etätyön ja lähimatkailun avulla.

¹³ Jakeluliikenteessä esimerkiksi droonit, tavarapyörät ja kuljetusrobotit, pidemmällä matkoilla suuremman kapasiteetin ajoneuvot.

¹⁴ Nk. kehittyneitä polttoaineita, joiden osuutta halutaan kasvattaa, voidaan valmistaa muun muassa levistä, teollisuuden ja yhdyskuntien jätteistä, metsätähteistä sekä selluloosasta, tai synteettisesti yhdistämällä talteen otettua hiilidioksidia vetyyn.



Maatalous

Päästöjen nykytila

Maatalouden yhteenlasketut päästöt vuonna 2019 olivat 16,2 Mt eli noin neljänneksen Suomen kokonaispäästöistä. Maatalouden päästöistä yli puolet (8,8 Mt) on peräisin turvepeltojen viljelystä, vaikka niiden osuus kokonaispeltoalasta on vain noin 10 prosenttia. Kokonaisuutena maaperä ja lannoittaminen muodostavat päästöistä kolme neljännestä, eläinten ruuansulatuksessa syntyvä metaani ja lannan käsittely yhteensä viidenneksen sekä maatalouskoneet ja muu energiankäyttö kuusi prosenttia. Maatalouteen ei toistaiseksi kohdistu merkittävää päästöohjausta.

Ratkaisut

Päästöjen vähentämiseksi maatalouden tarvitsemaa pinta-alaa voidaan pienentää kasvis- ja kalapainotteisemman ruokavalion, ruokahävikin vähentämisen, uusien ruuantuotantotapojen¹⁵ sekä satotasojen noston avulla. Vapautuva pinta-ala mahdollistaa heikkotuottoisemman alan metsittämisen, turvemaiden tapauksessa myös ennallistamisen, siirtämisen kosteikkoviljelyyn tai vain jättämisen maatalouskäytön ulkopuolelle. Maataloustuotantoon jäävällä turvealalla on siirryttävä yksivuotisista kasveista monivuotisiin ja vedenpintaa nostettava säätösaloituksen avulla. Kivennäismailla voidaan ottaa käyttöön hiiltä sitovia viljelykäytäntöjä. Uusi pellonraivaus erityisesti turvemaiden on lopetettava, minkä osaltaan mahdollistaa lannan käsittely biokaasuksi ja kierrätysravinteiksi¹⁶. Energiakäytön päästöt voidaan poistaa sähköistämällä tai vaihtamalla työkonien ja lämmityksen polttoaineet.

Esteet ja korjausliikkeet

ESTE Maatalouden päästövähennyksiin ei ole kannusteita.

KORJAUSLIIKE Asetetaan ilmastotoimille kannustimet. Taataan kosteikkoviljelylle oikeus maataloustukiin ja poistetaan vähitellen maataloustuet turvemailta, joilla vedenpintaa ei pidetä korkealla. Kehitetään uusia kannustimia palkitsemaan päästövähennyksistä, kun pelto jätetään maatalouskäytön ulkopuolelle. Kohdennetaan ympäristökorvausjärjestelmän tuet vaikuttavimpiin päästöihin vähentäviin toimenpiteisiin. Suomen tulisi edistää muutosta myös EU-tasolla, erityisesti turvemaiden suhteen.

ESTE Pellonraivaus on kannattavaa.

KORJAUSLIIKE Kannustetaan tilusjärjestelyihin ja lisätään voimavaroja niiden toteuttamiseen. Asetetaan pellonraivaus turvemaiden ympäristöluvan alaiseksi. Asetetaan maankäytön muutokselle maksu. Edistetään tilojen välistä yhteistyötä ja nurmirehumarkkinoita.

ESTE Kierrätysravinteiden ja turvetta korvaavien kasvualustojen markkinat ovat heikot.

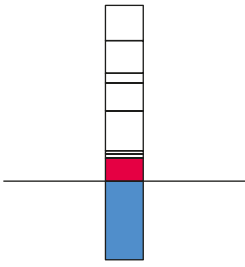
KORJAUSLIIKE Lisätään panostuksia kierrätyslannoitevalmisteiden ja turvetta korvaavien kasvualustojen tuotekehitykseen ja kaupallistamiseen. Tuetaan tuotteiden kysyntää ja kustannuskilpailukykyä. Edistetään kannusteiden kehittämistä myös EU-tasolla.

ESTE Kuluttajat ovat tottuneet kotieläintuotteisiin, ja ne ovat edullisia.

KORJAUSLIIKE Hyödynnetään julkisia hankintoja, ravitsemussuosituksia ja koulujen ruokakasvatusta ohjaamaan ilmastoystävällisiin valintoihin entistä vahvemmin. Selvitetään keinoja toteuttaa ilmastovaikutusten pakolliset pakkausmerkinnät ja elintarvikkeiden päästöpohjainen hintaohjaus.

¹⁵ Kuten biotekninen ruoka ja hyönteiset rehuna tai ihmisravintona.

¹⁶ Kotieläintuotannon keskittyessä uutta peltoa raivataan niin rehun tuotantoon kuin lannanlevitysalaksi. Lannan prosessointi ja ravinteiden kuljettaminen muualle vähentää tarvetta lannanlevitysalan lisäykselle.



Metsien ja kosteikkojen käyttö

Päästöjen nykytila

Vuonna 2019 metsien puusto, kangasmetsien maaperä ja puutuotteet muodostivat 32,9 Mt nielun. Suometsien maaperän, kosteikkojen (eli turvetuotantoalueiden ja epäonnistuneiden metsäojitusalueiden) sekä työkoneiden päästöt olivat yhteensä 9,3 Mt. Yhteenlaskettuna metsien ja kosteikkojen käytön nettonielu oli 23,6 Mt eli laskennallisesti sektori vähensi Suomen nettopäästöjä noin 40 prosenttia. Varsinaista ilmasto-ohjausta metsäsektorilla ei ole tähän asti ollut, mutta metsien kasvun parantamiseen on ohjattu pitkäjänteisesti.

Ratkaisut

Metsien ja kosteikkojen käytön päästöjä voidaan vähentää siirtymällä jatkuvapeitteiseen kasvatukseen suometsissä, ennallistamalla heikkotuottoiset suometsät, lopettamalla uusien turvetuotantoalueiden raivaus ja jälkikäsittelemällä tuotannosta vapautuva turvetuotantoala. Nielua puolestaan voidaan kasvattaa vahvistamalla monimuotoisuutta, mikä edistää metsien kasvua ja torjuu metsätuhoja, ja muuttamalla metsien käsittelyä sitomaan enemmän hiiltä. Myös metsäkadon vähentäminen ja käytöstä poistuvan maatalous- ja turvetuotantoalan metsitys auttavat. Fossiilisten raaka-aineiden käyttöä korvaavat ja pitkäikäisemmät puutuotteet sekä kasvattavat puutuotteiden nielua että auttavat vähentämään päästöjä muilla sektoreilla.

Esteet ja korjausliikkeet

ESTE Metsänomistajilta puuttuu kannustin kasvattaa hiilensidontaa tai vahvistaa monimuotoisuutta.

KORJAUSLIIKE Luodaan taloudelliset kannustimet hiilensidonnalle. Aloitetaan kehittämällä tietopohjaa ja pilotoimalla hiilikorvausjärjestelmää, jossa metsänomistajille maksetaan tukea hiilivaraston kasvattamisesta. Edistetään myös vapaaehtoista hiilikauppaa. Asetetaan monimuotoisuutta tukevat metsänhoitovalinnat, kuten monipuolisen puulajisuhteen ylläpito, ehdoksi Kemera-tukien myöntämiselle. Uudistetaan Kemera-tukia niin, että ne kohtelevat jatkuvapeitteistä ja tasaikäistä metsänkasvatusmenetelmää tasapuolisesti.

ESTE Kemera-tuet ohjaavat tasaikäiseen metsänkasvatukseen myös suometsissä.

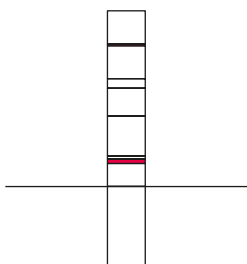
KORJAUSLIIKE Uudistetaan tuet ja sääntely ohjaamaan jatkuvapeitteiseen kasvatukseen suometsissä, ja luovutaan suometsissä kunnostusojitusten, taimikonhoidon ja nuoren metsän hoidon tuista. Ohjataan voimakkaammin tukea runsaspäästöisten suometsien ennallistamiseen kosteikoiksi.

ESTE Turvetuotantoalueiden sääntely on vaillinaista.

KORJAUSLIIKE Turvetuotantoalueet tulisi jälkikäsitellä ilmasto- ja luontovaikutukset minimoivalla tavalla. Tuetaan turvetuotantoalueiden jälkikäsitteilyä niin, että siitä tulee taloudellisesti kannattavaa, tai asetetaan sille velvoite. Tehdään päätös luopua turpeen käytöstä vaihteittain.

ESTE Puu ohjautuu lyhytkestoisiin ja heikosti päästöjä vähentäviin tuotteisiin.

KORJAUSLIIKE Tarkastellaan kriittisesti puun kysyntää kasvattavat politiikat ja korjataan ohjausta. Esimerkiksi varmistetaan, että polttoon perustumaton lämmöntuotanto on lähtökohdaisesti puun polttoa kannattavampaa. Toisaalta voidaan asettaa sekoitevelvoitteita materiaaleille, joissa korvaaminen puupohjaisilla vaihtoehtoilta on järkevää. Selvitetään, miten puun käytön kokonaisvaltainen ilmasto-ohjaus voitaisiin toteuttaa.



Jätteiden käsittely

Päästöjen nykytila

Jätteiden käsittelyn suorat päästöt vuonna 2019 olivat 1,8 Mt eli kolme prosenttia kokonaispäästöistä. Merkittävimmät päästöt syntyvät eloperäisen jätteen hajotessa hapettomissa oloissa kaatopaikalla (1,4 Mt). Lisäksi päästöjä syntyy jätevesien käsittelyssä (0,2 Mt) sekä eloperäisen jätteen kompostoinnissa ja mädätyksessä (0,1 Mt). Jätteenpolton päästöt (0,7 Mt) raportoidaan energiasektorilla. Jätteiden käsittelyä ohjataan EU:n jätedirektiivillä ja siihen pohjautuvalla jätelailla, joka kielsi biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoituksen vuodesta 2016.

Ratkaisut

Päästöjen merkittäväksi vähentämiseksi on vähennettävä jätteen määrää. Tätä varten kiertotalous – käytännössä esimerkiksi tuotteiden materiaalitehokkuus, kestävyys ja kierrätettävyyden – tulee huomioida jo tuotteiden suunnittelussa (ks. teollisuus). Myös kulutusvalintojen on muututtava kestävämmiksi. Kun jätettä kuitenkin syntyy, se pitää lajitella nykyistä paremmin. Lisäksi on otettava käyttöön käsittelyprosesseja, jotka mahdollistavat uusien jätelajien hyödyntämisen materiaalina.

Esteet ja korjausliikkeet

ESTE Kannustimet puuttuvat resurssitehokkaalle tuotesuunnittelulle, ja kierrätysmateriaalin kysyntä on riittämätöntä.

KORJAUSLIIKE Luodaan teollisuuden resurssitehokkuuteen kannustimia ja sääntelyä (ks. teollisuus). Heikennetään jätteenpolton suhteellista kannattavuutta laajentamalla jätevero jätteenpoltoon ja korottamalla sen tasoa tai siirtämällä jätteenpolto päästökauppaan.

ESTE Kannustimet kuluttajien ilmastoystävällisiin valintoihin ovat heikkoja.

KORJAUSLIIKE Tarjotaan neuvontaa kulutusvalintojen ilmastovaikutuksista ja kiertotalouden palveluista. Kehitetään ympäristösertifiointeja kiertotalouden mukaisiksi. Selvitetään kulutustuotteiden hiiliveroa, hiilijalanjäljen pakollista pakkausmerkintää ja korjauspalvelujen käytön tukemista. Edistetään EU-tasolla kuluttajan oikeutta saada tietoa tuotteen kestäväyydestä ja korjattavuudesta.

Executive summary

What we did

The aim of this report is to provide a clear picture of the solutions for achieving carbon neutrality in Finland by 2035 and carbon negativity¹⁷ shortly thereafter, and of the main barriers to these solutions. We also propose possible measures to overcome such barriers – that is, what kind of course correction can be taken to put Finland on an emission course for the 1.5-degree target.

We hope that this report will contribute to the debate on the long-term transition needed and how to take it into account in future climate policy decisions. Far-sighted decisions will improve the cost-efficiency, predictability, and equitability of the transition ahead.

This report is based on more than a hundred expert interviews and an extensive literature review. The views and conclusions expressed here are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the interviewees or their institutions.

We have only roughly estimated the emission reduction potential of the proposed climate solutions based on existing literature. The work did not include any new modelling nor have we attempted to forecast future development. The report also cannot cover all necessary remedial measures, but we have attempted to include the most important ones.

An emissions pathway in line with the 1,5-degree target

The Finnish Climate Change Panel has estimated that Finland's fair share of the remaining global carbon budget is 79 Mt for 2020–2050. By comparison, Finland's net emissions¹⁸ in 2019 were 38 Mt, which means that current emission levels will use up the remaining carbon budget for the next three decades in just over two years.

It is possible, however, to stay within the budget, if emissions are reduced in line with the carbon neutrality target, and the accumulating emission deficit is later covered by negative emissions¹⁹. From 2045 onwards Finland should reach a yearly net emissions level of about –17 Mt.

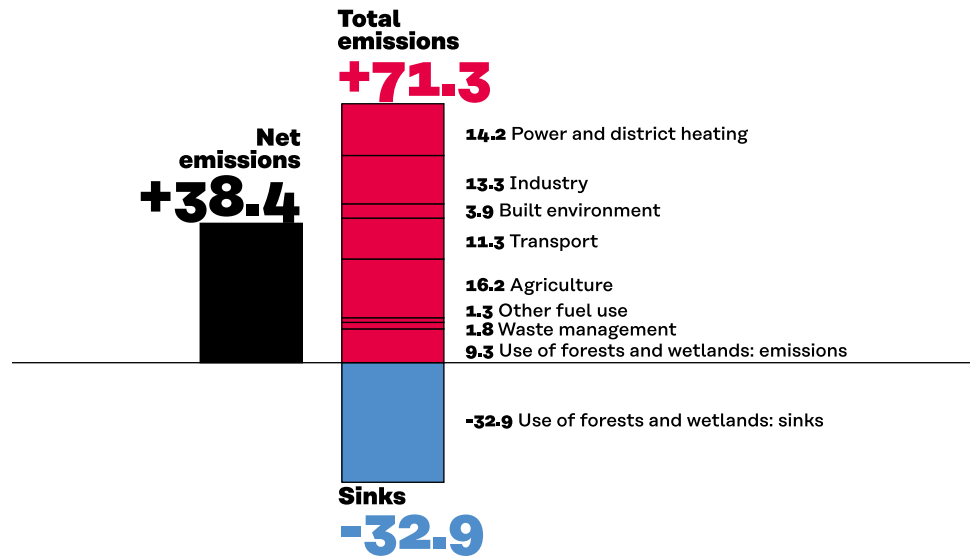
Solutions needed to achieve climate target

In 2019 agriculture produced close to a quarter of emissions, electricity and district heating generation and industry a fifth each, and domestic transport a sixth of Finland's greenhouse gas emissions. The direct emissions from buildings, waste management and other fossil fuel use amounted to 10 per cent. Forest and wetland use, namely forestry and peat production,

17 Here and in Finland's climate targets carbon neutrality refers to a situation where anthropogenic greenhouse gas emissions and sinks are balanced. Carbon negativity means that sinks are larger than emissions.

18 Net emissions refer to the sum of greenhouse gas emissions and sinks.

19 Negative emissions refer to anthropogenic sequestration of carbon dioxide from the atmosphere. For example, growing the carbon stock of a managed forest – i.e. the forest carbon sink – or capturing and storing biogenic carbon dioxide produce negative emissions.

Finland's emissions in 2019 (Mt)

produced an eighth of emissions. Nevertheless, forests also produced a carbon sink which sequesters nearly half of Finland's total emissions.²⁰

The different sectors also influence each other. For example, industry and buildings use electricity and heat, the built environment provides the setting for mobility and industrial product design greatly influences the amount of waste that is being generated. In total, energy use accounted for 55 per cent, land use to 28 per cent and industrial processes to 8 per cent of all emissions. Ninety per cent of all land use emissions resulted from peatland use for agriculture, forestry and peat production.

Achieving climate targets requires broadly three types of solutions: increasing efficiency and productivity, replacing high emissions activities with low-carbon alternatives, and strengthening carbon sinks.

Efficiency and productivity are key to cost-efficient emissions reductions in all sectors. The circular economy will improve efficiency in materials use, reducing emissions from production and waste management processes. Improving energy efficiency in industry, buildings and transport will reduce emissions from energy production, facilitating clean energy solutions and reducing energy system costs. Shifting towards more plant and fish based diet and improving crop yields will free up agricultural land from food production for emission reduction activities, such as afforestation. In addition to emission reductions, efficiency and productivity will save natural resources, which will also reduce pressure on nature.

Following upgrading, the fuels, industrial processes and raw materials that cause emissions must be replaced with low-emission alternatives. Electrification is the main solution in decarbonising heating, transport and industry. The electricity needed can be generated with carbon-free sources, primarily wind power. Flexibility of consumption and energy storage will allow for the increase of weather-dependent generation and improve the system's cost-efficiency. The supply of sustainably produced biomass is limited, but it can be used to replace fossil fuel based raw materials and to provide flexible energy production and fuels for hard-to-

²⁰ Note that in this report the emissions from land use have been included in the total emissions of each sector, because the sectors can affect them. In 2019 emissions excluding land use were 53 Mt, and the land use net sink was -15 Mt.

electrify applications. Indirect electrification, where electricity is converted to hydrogen and in some cases synthetic fuels, is often an alternative to biomass use.

Peatlands must be converted to lower-emission forms of land use. Low-yield drained peatland fields and forests can be restored to wetlands. Simply stopping agricultural activities on drained peatland will also help reduce emissions. In areas remaining in forestry and agriculture, water levels can be raised and emissions reduced through continuous-cover forestry and paludiculture as well as perennial crops and controlled drainage.

In addition to emission reductions, carbon sinks must be increased. It is therefore important to promote forest growth and prevent forest damage by strengthening biodiversity.²¹ Forestry and agriculture on mineral soils should also be adjusted to sequester more carbon. Besides mitigating the climate crisis, these solutions also combat loss of biodiversity. Negative emissions technologies, such as biogenic carbon dioxide capture and storage, supplement the larger forest sink.

Many of the solutions needed, particularly the different technological changes, require significant investment. Investment also increases employment and can support a sustainable recovery from the Covid-19 crisis. Although the solutions are known, many of them have not reached maturity, and being ahead of the curve gives an opportunity to develop solutions for a growing global market. This creates export opportunities and jobs, and allows Finland to have a larger role in solving the climate crisis.

Barriers and corrective measures

We identified seven cross-sectoral barriers to the solutions.

- 1. Lack of positive vision and leadership** across society as a whole, in municipalities and in businesses. Visions are needed to create direction and inspiration for action. Government should also set the necessary long-term targets, create a clear picture of the transition ahead, and prepare policies well in advance.
- 2. Lack of economic incentives** for many of the required solutions. Incentives are needed for reducing natural resource use, replacing fossil fuel based raw materials, climate action in agriculture, negative emissions and sustainable consumption and mobility choices.
- 3. Existing subsidies promote substantial wood use in applications that are climate-inefficient.** Guidance is needed to direct limited sustainable bioresources in a way that is most beneficial for the climate. Incentives are needed for using wood as a carbon sink and to replace fossil raw materials, instead of for basic heat generation.
- 4. Existing infrastructure is not enough.** A cost-effective transition requires a resource efficient urban fabric that allows for sustainable mobility, buildings capable of efficient and smart energy use, an adequate distribution network for transport electricity and new fuels, and infrastructure for the transport of hydrogen and captured carbon dioxide.

²¹ A diverse forest ecosystem promotes growth and is more resilient against extreme weather events and damages caused by insect pests and pathogens.

5. **The risks of new solutions have not been sufficiently shared.** Stronger support for product development, demonstration and commercialisation of new solutions is needed to accelerate their adoption.
6. **Lack of knowledge and skills.** There is a need to comprehend the severity of the climate crisis and the urgency of climate measures, and to develop new capabilities required by the transition. Climate knowledge should be integrated to all levels of education. Investments are needed from top research and the piloting of new solutions to the continuing education of agriculture and forestry professionals.
7. **Administrative barriers.** Licensing and other administrative hurdles must be removed from the path of climate solutions. Wind power construction and area control must be coordinated, and the licensing of wind parks and electricity networks must be streamlined. Planning must be made more flexible to allow for faster urban development, and clear processes should be put in place for the utilisation of recycled materials. Nuclear energy legislation should be revised to ease the deployment of small reactors.

Government has a decisive role in setting regulations and incentives, clearing administrative barriers and representing Finland in EU-level decision-making. Municipalities play an important role in putting solutions into practice: their decisions largely determine the urban structure and the mobility infrastructure, and they can steer their own energy companies towards carbon neutrality. Businesses on the other hand develop solutions and mostly carry out investments in practice. Consumers, on the other hand, ultimately decide what kind of products and services are in demand.

How to ensure a just transition?

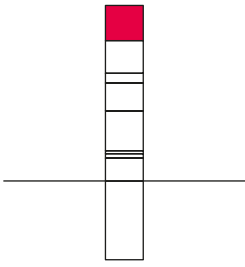
All decision making must ensure that the people are kept in the loop. Three steps for this can be outlined.

First is to ensure that the change does not come as a surprise. Predictable actions are a prerequisite for a just transition. It is important to put in place long term goals and a clear vision of the transition towards them to guide decisions. Investments that lock into solutions that complicate the transition must be prevented.

Second, the cost of the transition must be minimised. Choosing cost-efficient solutions and policies allows for public funds to be used wisely and to minimise the overall burden on people, businesses, and society.

Third, we need to look at the distribution of the burden and ensure that it is not too great for anyone. The transition will undoubtedly result in the loss of some old jobs, but at the same time generate new ones. The impact of decisions on different groups of people and regions must be assessed and any disproportionate disadvantages must be compensated. People must be given a true opportunity to bring forward their views and participate in the decision making that concerns them. People must be supported in upgrading their skills and searching for new livelihoods.

Next, we will look at the solutions, barriers, and corrective measures in different sectors.



Power and district heating

Current emissions

The emissions from power and district heat production were 14.2 Mt in 2019, one fifth of Finland's total emissions. Seventy-five per cent of the emissions came from the combustion of coal and peat. Ninety per cent of the emissions resulted from combined heat and power production (CHP), where the primary driver is the need of district heating, and almost 10 per cent from separate heat production. The main policy instrument for reducing the emissions is the EU Emissions Trading System (ETS).

Solutions

Electrification is important for reducing emissions in heat production. Electricity can be used to generate heat particularly with heat pumps that utilise different kinds of waste and ambient heat. Wind power is the cheapest way of increasing electricity generation capacity to meet rising demand and replace current power production from CHPs. Nuclear energy can also be used as a reliable source for baseload electricity and urban district heating. Batteries and heat storages, flexible consumption of electricity and heat, and the strengthening of international electricity transmission links will allow for increased non-combustion based energy production. However, flexible generation from such sources as bioenergy, hydropower and hydrogen is also needed.

Barriers and corrective measures

BARRIER The Defence Forces' radar surveillance restricts wind power construction, especially in Eastern Finland.

CORRECTIVE MEASURE Find a solution to the radar issue in cooperation with wind power developers and the Defence Forces. At the very least, this should be done in areas where wind power could significantly improve the energy system's cost-efficiency by balancing production over time and in different regions, which promotes the efficient utilisation of the power grid.

BARRIER Permitting and planning processes for wind power and power grids are slow and rigid.

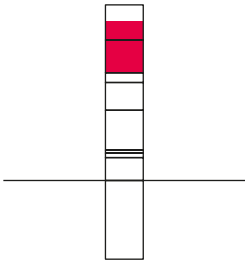
CORRECTIVE MEASURE Increase the resources in administrative courts handling complaints, make planning more flexible and permitting processes smoother. Remove overlapping processes regarding offshore wind power.

BARRIER The limited supply of sustainable biomass is being directed to baseload heat production, and the deployment of non-combustion-based solutions is slow.

CORRECTIVE MEASURE Ensure the viability of non-combustion-based solutions in relation to biomass by, for example, revising taxation of heat production. Increase support for the commercialisation of new technologies. Revise nuclear energy legislation to ease the deployment of small reactors.

BARRIER Market-based development may not necessarily lead to a cost-efficient and secure power system.

CORRECTIVE MEASURE Closely monitor the development of the energy system and, if necessary, introduce incentives, for example for increasing flexible generation to guarantee security of supply. Plan power transmission and hydrogen infrastructure as a whole, so that energy transmission is cost-efficient.



Industry

Current emissions

The direct emissions from industry were 13.3 Mt in 2019, about a fifth of Finland's total emissions. Emissions are generated from energy use (from industry's own heat and power generation and machinery) and the manufacturing processes of, for example, steel, hydrogen, and cement. Industrial production also generates emissions in other sectors, such as power and heat generation (around 7,5 Mt), transport, and waste management. Emissions are also produced outside Finland through intermediate goods. The most important policy instrument in use is the EU ETS.

Solutions

To reduce emissions from industry, material efficiency must be increased through the circular economy and greater energy efficiency. High emissions products and raw materials (such as F-gases and crude oil) must be replaced, zero emissions production processes for example for steel and hydrogen must be deployed, and a transition to clean energy using electrification or fuel switching must be made. It is very difficult or expensive to avoid all emissions from industrial processes with current technology, but in large point sources, such as in cement production, carbon capture and storage can be used. Elsewhere, emissions can be offset by producing negative emissions, especially by capturing and storing biogenic carbon dioxide.

Barriers and corrective measures

BARRIER The framework for large-scale investments in industry is not sufficiently stable and predictable.

CORRECTIVE MEASURE Take long-term approach by setting emission targets as well as emission budgets and carbon sink targets until 2040 and 2050. At national level, develop sector-specific long-term roadmaps for emissions reductions, infrastructure, and policy instruments²². Prepare the required policy instruments well in advance. Lobby in the EU to bring climate policy in line with the 1.5-degree target.

BARRIER Lack of incentives and regulation for circular economy, replacement of fossil raw materials, production of negative emissions and the creation of hydrogen economy.

CORRECTIVE MEASURE Advocacy at EU-level to create incentives and regulation for more efficient use of natural resources, negative emissions, and hydrogen. Also set national targets for these, draw up a roadmap for their deployment and create incentives with sustainable tax reform and for example blending mandates.

BARRIER Slow commercialisation and deployment of new solutions.

CORRECTIVE MEASURE Increase public R&D&I support and funding for piloting and demonstrating solutions. Create lead markets for low-carbon products with, for example, public procurement, carbon contracts for difference (CCFD)²³, or blending mandates²⁴.

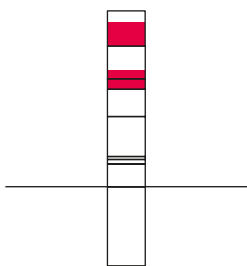
BARRIER Lack of skills.

CORRECTIVE MEASURE Anticipate demand for skilled labour and training. Make labour migration smoother. Increase resources in higher education, basic research and interdisciplinarity and multidisciplinary. Broadly integrate climate and circular economy studies to all levels of education and teacher training. Invest in measures that promote a just transition, such as re-education.

²² As has been done for the transport sector.

²³ Carbon contract for difference covers the higher production cost of the low carbon alternative and allows the customer to pay the same price as for the conventional, higher-emission alternative.

²⁴ Blending mandate forces the distribution of a low-carbon alternative, like transport biofuels.



Built environment

Current emissions

The direct emissions from buildings (3.9 Mt or 6 per cent of total emissions) consist of oil heating, construction sites and land use change caused by construction. The built environment is also a significant user of materials, power, and heat, and overall it is responsible for about a quarter of Finland's total emissions. Additionally, the built environment greatly influences people's chances to choose sustainable modes of transport. Environmental policy in buildings has so far focused on improving energy efficiency through regulation and subsidies.

Solutions

Phasing out oil heating will remove most direct emissions from the built environment. Resource-wise urban planning and increasing the occupancy rate and service life of buildings will promote resource efficiency, thus reducing emissions from the production of materials and often energy, as well as emissions from construction and mobility. Increasing buildings' energy efficiency and smart energy use²⁵ support emission reductions in energy production. Construction related emissions can also be reduced by more careful use of materials, choosing low-emissions materials, and electrifying or switching fuels in machinery and transport.

Barriers and corrective measures

BARRIER Climate issues are not taken sufficiently into account in urban planning, and rigid zoning make urban development difficult.

CORRECTIVE MEASURE Make a stronger national recommendation and in cities a strategic decision to build the necessary new housing as infill construction along public transport routes and by converting buildings with a low occupancy rate. Introduce a fee on land use change and obligatory ecological compensation²⁶. Make zoning more flexible, so that the intended use of buildings can be more easily changed.

BARRIER Construction regulation and requirements are not ambitious enough.

CORRECTIVE MEASURE Develop regulation to require a 100-year service life for buildings by default, tighten energy efficiency requirements for both new construction and renovations, and include the ability to use electricity and heat flexibly.

BARRIER Lack of information and knowhow on smart energy solutions.

CORRECTIVE MEASURE Improve the training and continuous education of professionals and teachers. Provide guidance and tools to property owners and support the forming of knowledge sharing communities. Require condominiums to have a property strategy including an energy efficiency improvement plan.

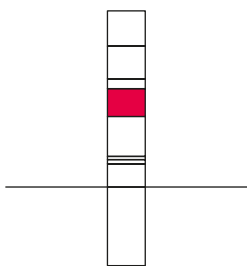
BARRIER Funding for energy renovations is not always available.

CORRECTIVE MEASURE Support areas where market-based funding is not available, for example with state guaranteed loans. Encourage group renovations²⁷. Allow energy efficiency subsidies to be used also in energy investments carried out by service models.

²⁵ Smart energy use refers to managing energy consumption in a way that avoids power spikes and shifts consumption to times when cleaner and cheaper energy is available.

²⁶ Ecological compensation means that any harm inflicted on nature is compensated by improving the state of ecosystems elsewhere.

²⁷ Group renovations refer to renovating several properties simultaneously as one project.



Transport

Current emissions

Emissions from domestic transport were 11.3 Mt in 2019, about a sixth of Finland's total emissions. Emissions from international aviation or maritime transport are not included in Finland's emissions inventory or targets, but their global warming impact equals 8.7 Mt of emissions. Ninety-five per cent of domestic transport emissions come from road transport. The government has set a target for fossil free domestic transport by 2045, and an interim target for halving emissions by 2030. Transport's emissions are managed by regulation, taxes, and subsidies.

Solutions

The energy consumption and therefore emissions of passenger transport can be reduced by decreasing the need for transport²⁸ in favour of walking, biking, and public transport. Logistics can be made more efficient with optimisation enabled by digitalisation, by utilising new, more efficient modes of transport²⁹ and by moving freight from road to rail. The largest emission reductions are expected to come from the shift to new forms of propulsion such as electricity, biogas, and hydrogen. Emissions can also be avoided by switching fossil fuels to renewable or synthetic fuels in applications where switching to alternative propulsion would be difficult or expensive.

Barriers and corrective measures

BARRIER The transport system is designed for private vehicles.

CORRECTIVE MEASURE Improve the conditions for sustainable modes of transport by investing in infrastructure, prioritising sustainable transport modes in traffic management and by increasing subsidies for public transport. Decrease the parking requirements for apartments and enable congestion pricing in cities.

BARRIER Weak financial incentives for shifting to more sustainable modes of transport or motive power.

CORRECTIVE MEASURE Carry out a comprehensive taxation, payment and subsidy reform that aims towards emissions reductions in transport. Ensure that the measures are fair by for example providing additional economic support to low-income families in rural areas if needed.

BARRIER Sustainable fuels are expensive, and their raw materials limited.

CORRECTIVE MEASURE Increase support for the development, demonstration and market access of sustainable fuels. Examine increasing the required share of advanced fuels³⁰ in the blending mandate of renewable fuels.

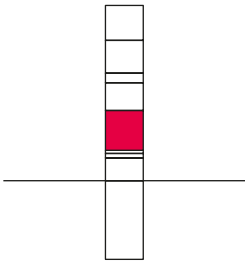
BARRIER Lack of climate governance in aviation and maritime transport.

CORRECTIVE MEASURE Set a goal for climate neutral aviation and maritime transport within or leaving from inside Finnish borders and phase out the sale of fossil aviation and marine fuel in Finland by 2050. Introduce a tightening blending mandate for renewable fuels in aviation and maritime transport. Promote targets, blending mandates and sufficient carbon pricing also on the EU level and globally.

²⁸ For example, through more efficient urban structure, online commerce, working from home and favouring domestic tourism.

²⁹ Distribution can utilise for example drones, bikes and delivery robots, and longer distance transport can use high capacity vehicles.

³⁰ So called advanced fuels, which are favoured due to their higher sustainability, can be produced from, for instance, algae, industrial and municipal waste, forestry waste and cellulose, or by synthetically combining captured carbon dioxide with hydrogen.



Agriculture

Current emissions

Emissions from agriculture were 16.2 Mt in 2019, or a quarter of Finland's total emissions. More than a half (8.8 Mt) of agricultural emissions come from the cultivation of peatlands, although their share of the total cropland is only around 10 per cent. In total soils and fertilisation form three quarters, animal digestion and manure management a fifth, and machinery and other energy use six per cent of agricultural emissions. At present, no significant climate measures are in place for agriculture.

Solutions

To reduce emissions, the land area required by agriculture can be reduced by shifting to more plant and fish based diets, minimising food waste, utilising new food production methods³¹, and increasing crop yields. This allows for the afforestation of low-yield cropland, and in the case of peatlands also restoration to wetlands, shifting to paludiculture, or simply stopping agricultural activities. Peatlands that remain in agriculture should be converted to perennial crops, and their water levels raised by controlling drainage. On mineral soils, regenerative farming methods should be utilised to improve soil carbon sequestration. Land clearing should be ceased, especially on peatlands, which is enabled by processing manure into biogas and recycled fertilisers³². The emissions from energy use can be eliminated by electrification or by fuel switching for work machinery and heating.

Barriers and corrective measures

BARRIER Lack of incentives for emission reductions in agriculture.

CORRECTIVE MEASURE Set incentives for climate action. Guarantee agricultural subsidies for paludiculture and phase them out from peatlands where water levels are not kept high. Develop new incentives that reward emission reductions when cropland is left out of agricultural use. Focus environment payments on most effective emissions reductions measures. Finland should also promote change at EU-level, particularly concerning peatland.

BARRIER Land clearing is profitable.

CORRECTIVE MEASURE Promote land consolidation and increase resources for their implementation. Require an environmental permit for land clearing in peatlands. Set a fee for land use change. Promote cooperation between farms and support green fodder markets.

BARRIER The markets for recycled fertilisers and growing substrate alternatives to peat are weak.

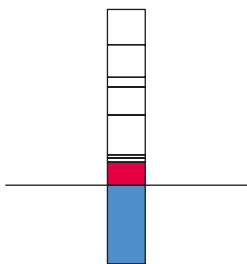
CORRECTIVE MEASURE Support the development and commercialisation of recycled fertilisers and growing substrate alternatives to peat and help grow their demand and cost competitiveness. Promote the development of new incentives also on the EU level.

BARRIER Consumers are used to animal products, and they are affordable.

CORRECTIVE MEASURE Utilise public procurement, dietary guidelines, and food education in schools to direct people towards more climate friendly food choices. Examine how to implement mandatory climate impact labels for products, as well as an emissions-based taxation for food products.

³¹ Such as biotechnological food production and using insects as feed or food.

³² As livestock production becomes more centralised, land is cleared for producing feed and spreading manure. Processing manure and transporting its nutrients elsewhere decreases the need for land clearing.



Use of forests and wetlands

Current emissions

Tree biomass, mineral soil and wood products sequestered a total of 32.9 Mt of carbon dioxide in 2019. The emissions from peatland forest soils, wetlands (i.e. peat production sites and unsuccessfully drained peatlands) and work machinery were 9.3 Mt. The net sink of forests and wetlands was thereby 23.6 Mt, which reduced Finland's net emissions by about 40 per cent. So far there have been no climate policies for forestry, but there have been long-term efforts to improve forest growth.

Solutions

Emissions from the use of forests and wetlands can be reduced by shifting to continuous-cover forestry on peatlands, restoring low-yield peatland forests to wetlands, ending land clearing for peat production and by retreating peatlands that are freed from production. Carbon sinks can be increased by strengthening biodiversity, which promotes forest growth and prevents forest damage, and by changing forestry practices to increase sequestration. Reducing deforestation and reforesting areas that are left out of agriculture or peat production help as well. Wood products that are longer-lasting or replace fossil fuel use will both increase the sink of wood products and help reduce emissions in other sectors.

Barriers and corrective measures

BARRIER Forest owners lack incentives to increase carbon sequestration or enhance biodiversity.

CORRECTIVE MEASURE Set financial incentives for carbon sequestration. Start by developing the knowledge base and by piloting a carbon remuneration system, where forest owners are paid subsidies for increasing their carbon storages. Also promote voluntary carbon trading. Set forest management practices that support biodiversity, such as maintaining of a diverse tree species ratio, as a requirement for forestry subsidies. Renew the subsidies so that they will treat both continuous cover and even-aged forestry equally.

BARRIER Forestry subsidies promote even-aged forest management also in peatland forests.

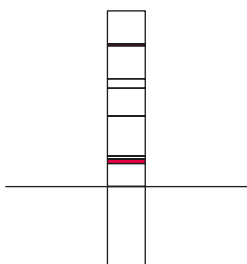
CORRECTIVE MEASURE Reform subsidies and regulation to guide continuous cover forestry in peatland forests, and abolish subsidies for improvement of ditching, early tending of seedling stands and management of young stands in peatland forests. Direct more subsidies towards restoring high-emission peatland forests to wetlands.

BARRIER Deficient regulation of peat production sites.

CORRECTIVE MEASURE After production is finished, peat production sites should be treated in a way that minimises impacts on climate and nature. Support peatland treatment so that it becomes economically viable or make it mandatory. Phase out peat use.

BARRIER Wood is being directed to products with short lifespans and poor emissions reduction potentials.

CORRECTIVE MEASURE Critically review policies that increase demand on wood and fix them accordingly. For example, ensure that non-combustion-based baseload heat production is more competitive than burning biomass. On the other hand, blending mandates can be set for materials where replacing them with wood-based ones makes sense. Examine how a comprehensive climate policy for wood use could be implemented.



Waste management

Current emissions

The direct emissions from waste management in 2019 were 1.8 Mt or around three per cent of total emissions in Finland. The most significant emissions come from the decomposing organic waste in landfills (1.4 Mt). Emissions also arise from wastewater treatment (0.2 Mt) and the composting and anaerobic digestion of organic waste (0.1 Mt). Emissions from waste incineration (0.7 Mt) are reported in the energy sector. Waste management is controlled by the EU's waste directive and the waste act, which prohibited depositing organic waste in landfills from 2016 onwards.

Solutions

To significantly reduce emissions, the amount of waste must be reduced. Circular economy – for example material efficiency, durability, and recyclability – should be considered already in the product and material development phase (see also industry). Consumption choices must also become more sustainable. When waste is generated, it should be sorted better, and treatment processes that enable the utilisation of new waste streams as materials should be deployed.

Barriers and corrective measures

BARRIER Lack of incentives for resource efficient product design, and insufficient demand for recycled materials.

CORRECTIVE MEASURE Create incentives and regulation for resource efficiency in industry (see industry). Weaken the relative profitability of waste incineration by expanding the waste tax to waste incineration and by raising it or by including waste incineration in the Emissions Trading System.

BARRIER Incentives for climate friendly consumption choices are insufficient.

CORRECTIVE MEASURE Offer guidance regarding circular economy services and the climate impacts of consumption choices. Develop environmental certificates to be more in line with circular economy. Examine implementing a carbon tax for consumer products, mandatory carbon footprint labels and supporting the use of repair services. Promote consumer's rights to get information about the sustainability and reparability of products at EU-level.

Sammanfattning

Vad gjordes?

Syftet med denna utredning är att förtydliga helhetsbilden av de lösningar med vilka koldioxidneutralitet 2035 och kolnegativitet därefter³³ kan uppnås och vilka är de största hindren för att implementera lösningarna. Vi presenterar även möjliga åtgärder för att bryta ner hindren – dvs. med hurudana korrigerande åtgärder Finlands utsläpp kan nå stigen till 1,5-gradersmålet.

Vi hoppas att utredningen ska främja diskussionen om den nödvändiga övergången på lång sikt och att den beaktas i kommande beslut. Förutseende beslut främjar kostnadseffektiviteten, förutsägbarheten och rättvisan kring övergången.

Utredningen baserar sig på över hundra intervjuer med experter och omfattande litteraturoversikter. De framförda slutsatserna är författarnas egna och representerar inte nödvändigtvis de intervjuade personernas eller deras organisationers åsikter.

Klimatlösningarnas potential har gestaltats på ett övergripande sätt och utredningen innehåller ingen ny modellering. Man har inte heller försökt att förutse kommande utveckling. Utredningen omfattar inte heller alla nödvändiga korrigerande åtgärder. Vi har emellertid försökt att inkludera de viktigaste åtgärderna.

Utsläppsutveckling för att uppnå 1,5-gradersmålet

Klimatpanelen har bedömt Finlands rättvisa andel av världens återstående utsläppsbudget till 79 Mt för åren 2020–2050. Jämförelsevis var Finlands nettoutsläpp³⁴ år 2019 38 Mt. Med nuvarande utsläpp skulle budgeten för tre årtionden alltså uppslukas redan inom dryga två år.

Man kan emellertid hålla sig till budgeten om utsläppen minskas i enlighet med koldioxidneutralitetsmålet och det ackumulerade underskottet täcks senare med negativa utsläpp³⁵. År 2045 och framåt borde man nå cirka –17 Mt nettoutsläpp per år.

Lösningar för att uppnå klimatmål

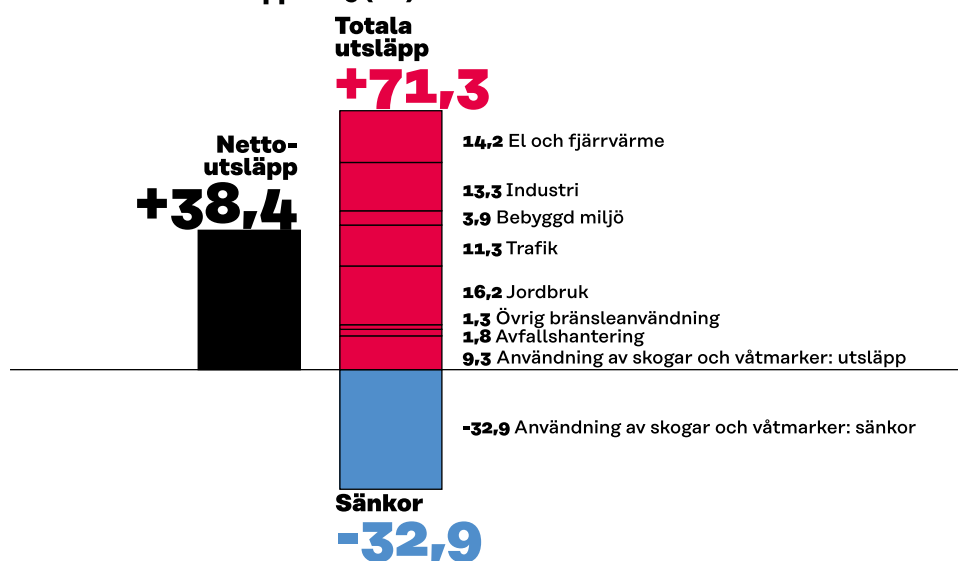
År 2019 stod jordbruket för nästan en fjärdedel av utsläppen, el- och fjärrvärmeproduktionen samt industrin stod båda för en femtedel och inrikestrafiken för en sjättedel. De direkta utsläppen från den bebyggda miljön, avfallshantering och övrig bränsleanvändning stod sammanlagt för 10 procent. Användningen av skogar och våtmarker, dvs. skogsbruket och torvproduktionen orsakade en åttondedel av utsläppen. Samtidigt utgjorde skogarna emellertid en sänka, som kalkylmässigt upphävde nästan hälften av Finlands totala utsläpp.³⁶

33 Med kolneutralitet avses här och i Finlands klimatmål en situation där antropogena växthusgasutsläpp och antropogena kolsänkor är i balans. I kolnegativitet är sänkor större än utsläpp.

34 Med nettoutsläpp avses summan av utsläppen och sänkorna.

35 Negativa utsläpp kallas det när människor binder koldioxid från atmosfären. Till exempel man kan öka koldioxidbesättningen i en ekonomiskog eller fånga och lagra biobaserad koldioxid i industrin, detta är negativa utsläpp.

36 Observera att utsläppen från markanvändningen i denna utredning har inkluderats i de totala utsläppen och i utsläppen från varje enskild sektor, eftersom de kan påverkas av sektoriella åtgärder. År 2019 var utsläppen exklusive markanvändningssektorn 53 Mt, medan markanvändningens utsläpp och sänkor sammanlagt var –15 Mt.

Finlands klimatutsläpp 2019 (Mt)

Sektorerna påverkar även varandra. Till exempel använder industrin och byggnader el och fjärrvärme, den bebyggda miljön skapar ramarna för mobilitet och industrins produktplanering påverkar hurudant avfall som uppstår. I sin helhet orsakade energiförbrukningen 55 procent av de totala utsläppen, markanvändningen 28 procent och industrins processutsläpp 8 procent. Av markanvändningen utgjorde användningen av torvmarker 90 procent av utsläppen.

För att uppnå klimatmålen krävs grovt taget tre slags lösningar: ökad effektivitet och produktivitet, ersättning av funktioner som orsakar utsläpp med utsläppssnåla alternativ samt stärkta sänkor.

Effektivitet och produktivitet har nyckelrollen vad gäller kostnadseffektiv minskning av utsläpp inom alla sektorer. Med cirkulär ekonomi effektiviseras materialanvändningen, vilket minskar utsläppen från produktions- och avfallshanteringsprocesserna. Att förbättra industrins, byggnadernas och trafikens energieffektivitet minskar behovet av energi som producerar utsläpp, underlättar implementeringen av rena energilösningar och sänker energisystemets kostnader. En övergång till vegetarisk och fiskbaserad kost samt ökade skördenivåer frigör utrymme från livsmedelsproduktion inom jordbruket för utsläppsminskningssåtgärder såsom till exempel skogsodling. Utöver utsläpp besparar effektivitet och produktivitet naturresurser, vilket även minskar trycket på naturen.

Efter effektiviseringen bör bränsle, processer och råvaror som orsakar utsläpp ersättas med utsläppssnåla alternativ. Elektrifiering är den viktigaste lösningen för att göra uppvärmningen, trafiken och industrin renare. Nödvändig el kan produceras på ett rent sätt, i huvudsak med vindkraft. Flexibel förbrukning och energilagring möjliggör ökad väderberoende produktion och förbättrar systemets kostnadseffektivitet. Det finns endast en begränsad tillgång till hållbart producerad biomassa, men den kan ersätta fossilbaserade råvaror och erbjuda flexibel energiproduktion och bränslen till områden som är svåra att elektrifiera. Ett alternativ för användningen av biomassa är ofta indirekt elektrifiering, där elen omvandlas till väte och i vissa fall vidare till syntetiskt bränsle.

På torvmarker bör man övergå till utsläppssnåla former av markanvändning. Uppodlade kärr och sumpskogar med låg avkastning kan återställas till kärr. Även att endast lämna torvodlingen utanför jordbruksanvändning hjälper till att minska utsläppen. På områden som

fortfarande används för skogs- och jordbruk kan vattennivån hållas hög och utsläppen minskas med hjälp av kontinuerlig beståndsvård av skogar, våtmarksjordbruk samt fleråriga växter och kombinerat dränerings- och bevattningssystem.

Utöver utsläppsminskning bör sänkorna också öka. Därför är det viktigt att främja skogarnas tillväxt och förebygga skogsskador genom att stärka mångfalden³⁷. Även bearbetningen av skogar och mineraljordarnas odlingspraxis bör ändras för att binda mer kol. Utöver att bromsa upp klimatkrisen bekämpar lösningarna även naturförlusterna. Tekniska sänkor, såsom upptagningen och lagringen av koldioxid av organiskt ursprung, kompletterar den betydligt större skogssänkan.

En stor del av de nödvändiga lösningarna, särskilt olika teknikbyten, kräver betydande investeringar. Investeringarna medför också arbete och kan stöda hållbar återhämtning efter coronakrisen. Fastän man är medveten om lösningarna, har alla inte mognat helt, och föregångarskap möjliggör utveckling av lösningar för en växande världsmarknad. På så sätt kan man skapa export och jobb och Finland kan ha en större roll i att lösa klimatkrisen.

Hinder och korrigeringar åtgärder

Sju genomgripande hinder gestaltades för implementeringen av lösningarna.

- 1. Det finns en brist på positiva visioner och ledarskap** såväl i hela samhället-kommunerna som i företagen. Visioner behövs för att skapa en riktning och för att inspirera till verksamhet. Staten borde också fastställa nödvändiga långsiktiga mål, skapa en tydlig bild av den kommande förändringen och förbereda styrmedel i god tid.
- 2. Ekonomiska incitament fattas** av många nödvändiga lösningar. Incitament behövs för att minska användningen av naturresurser, ersätta fossila råvaror, för jordbrukets klimatåtgärder, negativa utsläpp samt hållbara konsumtions- och mobilitetsval.
- 3. Nuvarande stöd styr till alltför stor användning av virke inom områden som ur klimatets synvinkel är ineffektiva.** Det krävs styrning som inriktar begränsade hållbara bioresurser på bästa sätt med tanke på klimatet. Incitament behövs för användningen av virke som ersättare av fossila råvaror och som kolsänka istället för grundläggande värmeproduktion.
- 4. Den nuvarande infrastrukturen ger ingen tillräcklig grund.** En kostnadseffektiv övergång förutsätter en resurseffektiv samhällsstruktur som möjliggör hållbar mobilitet, byggnader kapabla till sparsam och intelligent energiförbrukning, tillräckligt distributionsnät för trafikens el och nya bränslen samt infrastruktur för överföring av väte och tillvaratagen koldioxid.
- 5. Risken kring nya lösningar har inte fördelats tillräckligt.** Starkare stöd behövs för produktutveckling, demonstration och kommersialisering av nya lösningar för att påskynda deras implementering.

³⁷ Ett skogsekosystem med större mångfald ökar tillväxten och är mer hållbart både mot extrema väderfenomen och insektsskador.

- 6. Kunskapen och kompetensen saknas.** Förståelse behövs för klimatkrisens allvar och för att klimatåtgärderna kräver snabbt agerande, och den nya kompetens som övergången kräver bör utvecklas omfattande. Klimatkompetens borde integreras på alla utbildningsnivåer. Satsningar behövs såväl för spetsforskning och pilotförsök som för kompletterande utbildning av professionella inom byggbranschen och jord- och skogsbruk.
- 7. Administrativa hinder.** Hinder kring beviljande av tillstånd och andra administrativa hinder bör röjas ur vägen för klimatlösningar. Byggandet av vindkraft och territorialövervakning bör samordnas och beviljandet av tillstånd för kraftverk och elnät göras smidigare. Planeringen bör göras smidigare för att tillåta snabb utveckling av bebyggd miljö, och tydliga spelregler ska utarbetas för användningen av återvunnet material. Kärnkraftslagstiftningen bör förnyas för att underlätta ibruktagandet av små reaktorer.

Staten har en avgörande roll som den som fastställer regler och incitament, undanröjer administrativa hinder och representerar Finland i EU-beslutsfattandet. Kommunerna har en viktig roll när det gäller att genomföra praxis: deras beslut fastslår i hög grad samhällsstrukturen och närtrafikens infrastruktur, och de kan styra de energibolag som de äger mot koldioxidneutralitet. Företagen utvecklar däremot lösningarna och gör största delen av de praktiska investeringarna. Konsumenterna i sin tur beslutar slutligen hurdana produkter och tjänster det finns efterfrågan på.

Hur blir övergången rättvis?

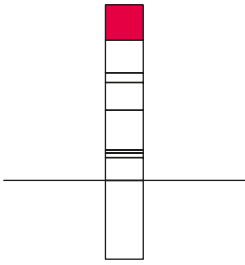
Inom allt beslutsfattande bör man försäkra att människorna hänger med i förändringen. För detta kan man gestalta tre steg.

Först bör man se till att förändringen inte kommer som en överraskning. En rättvis övergång kräver att åtgärderna kan förutses. Därför är det viktigt att det långsiktiga målet och de sätt på vilka samhället uppnår målet efter övergången förtydligas för att styra verksamheten. Samtidigt måste man förhindra investeringar som kan låsa situationen för en lång tid i lösningar som försvårar övergången.

För det andra bör man sträva efter att minimera kostnaderna för övergången. Valet av kostnadseffektiva lösningar och styrmedel möjliggör vettig användning av gemensamma medel och en så liten belastning som möjligt på människor, företag och samhälle.

För det tredje bör man granska påfrestningens fördelning och försäkra att den inte är för stor för någon. Vid övergången försvinner ofrånkomligen gamla arbetsplatser, men samtidigt skapas nya. Konsekvenserna av besluten för olika människogrupper och områden bör redas ut och eventuella orimliga skador gottgöras. Människorna ska ha förutsättningar att framföra sina åsikter och delta i beslutsfattande som berör dem. Människor ska stödjas i utvecklingen av kompetens och ansökan om nytt uppehålle.

Härnäst går vi djupare in i lösningar, hinder och korrigeringar åtgärder per sektor.



El och fjällvärme

Utsläppens nuläge

Utsläppen från el- och fjärrvärmeproduktionen var år 2019 14,2 Mt, en femtedel av Finlands utsläpp. 75 procent av dessa utsläpp kom från användningen av stenkol och torv. 90 procent av utsläppen uppstod från kraftvärme, som i huvudsak drivs av behovet av fjärrvärme, och något mindre än 10 procent uppstod från separat värmeproduktion. Det huvudsakliga styrmedlet för att minska utsläppen från energiproduktionen är EU:s utsläppshandel.

Lösningar

Ett viktigt sätt för att minska utsläppen från värmeproduktionen är elektrifiering. Med el kan man producera värme särskilt med värmepumpar, som utnyttjar spill- och omgivningsvärme. Vindkraft är det förmånligaste sättet att bygga ny elproduktion för att besvara den växande efterfrågan och ersätta den nuvarande kraftvärmens. Även kärnenergi kan utnyttjas som en pålitlig och jämn produktion av el och fjärrvärme för städerna. Ackumulatorer och värmebehållare, flexibel konsumtion av el och värme samt stärkta internationella transmissionsförbindelser möjliggör ökad energiproduktion som inte baserar sig på förbränning. Flexibel produktion, till exempel bioenergi, vattenkraft och ren gas (såsom väte) behövs emellertid också.

Hinder och korrigerande åtgärder

HINDER Försvarmaktens territorialövervakning med radar begränsar byggandet av vindkraft speciellt i Östra Finland.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Staten och vindkraftsaktörer samarbetar för att hitta en lösning på radarfrågan. Åtminstone detta är värt att göra på områden där vindkraft skulle på ett anmärkningsvärt sätt förbättra energisystemets kostnadseffektivitet genom att balansera elproduktionen vid olika tidpunkter och regionalt, vilket främjar effektiv användning av elnätet.

HINDER Planläggnings- och tillståndprocesserna kring vindkraft och transmissionsnät är långsamma och stela.

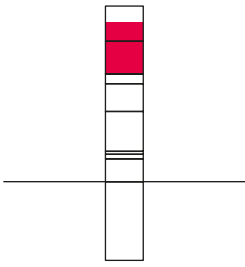
KORRIGERANDE ÅTGÄRD Förvaltningsrätternas resurser ökas för att hantera klagomål, planläggningen görs flexiblare och tillståndprocesserna görs smidigare. Den havsbaserade vindkraftens överlappande processer upphävs.

HINDER En stor mängd begränsad hållbar biomassa styrs till primär värmeproduktion och ibruktagandet av lösningar som inte baserar sig på förbränning är långsamt.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Lönsamheten hos lösningar som inte baserar sig på förbränning i proportion till biomassa säkerställs till exempel genom att styra beskattningen av värmeproduktionen i rätt riktning. Stödet höjs för kommersialiseringen av ny teknologi. Kärnkraftslagstiftningen förnyas för att underlätta ibruktagandet av små reaktorer.

HINDER En marknadsanpassad utveckling leder inte nödvändigtvis till ett kostnadseffektivt och leveranssäkert produktionssystem.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Energisystemets utveckling följs noga och vid behov utvecklas incitament till exempel för att öka flexibel elproduktion för att säkerställa leveranssäkerheten. Infrastrukturen för väte och överföring av elkraft planeras som en helhet för att göra överföringen kostnadseffektiv.



Industri

Utsläppens nuläge

Industrins direkta utsläpp var år 2019 13,3 Mt, en femtedel av Finlands utsläpp. Utsläppen uppstår vid energianvändning (industrins egen el- och värmeproduktion samt arbetsfordon) och till exempel vid framställning av stål, väte och cement. Industriproduktionen orsakar även utsläpp inom andra sektorer vid produktionen av inköpt energi (uppskattningsvis 7,5 Mt), vid transporter, avfallshantering samt via mellanprodukter utanför Finland. Det viktigaste befintliga styrmedlet är EU:s utsläppshandel.

Lösningar

För att minska utsläppen från industrin bör man öka materialeffektiviteten med hjälp av cirkulär ekonomi och ökad energieffektivitet. Utsläppsrika produkter och råvaror (såsom F-gaser och den kemiska industrins råolja) bör ersättas, utsläppsfria framställningsprocesser bör tas i bruk (till exempel för stål och väte) och övergå till ren energi genom elektrifiering eller byte av bränsle. Med nuvarande teknik skulle det vara mycket svårt eller dyrt att undvika alla utsläpp. Vid stora punktkällor (såsom inom cementproduktion) kan man emellertid förhindra koldioxid från att försvinna ut i atmosfären genom upptagning och lagring. Inom andra områden kan utsläppen kompenseras genom att producera negativa utsläpp, speciellt genom att uppta och lagra koldioxid av organiskt ursprung.

Hinder och korrigerande åtgärder

HINDER Omständigheterna kring industrins stora investeringar är inte tillräckligt stabila och förutsägbara.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Mer långsiktig klimatpolitik skapas genom att man utöver utsläppsmål även fastställer utsläppsbudgeter och mål för kolsänkor ända till åren 2040 och 2050. På statsnivå görs sektorspecifika långsiktiga vägkartor för minskade utsläpp, nödvändig infrastruktur och styrmedel³⁸. Nödvändiga styrmedel förbereds i god tid. Man påverkar inom EU för att klimatpolitiken ska motsvara 1,5-gradersmålet.

HINDER Incitament och reglering för cirkulär ekonomi och ersättning av fossila råvaror, negativa utsläpp och väteekonomi saknas.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Man påverkar på EU-nivå för att skapa mål, incitament och reglering för effektivare användning av naturresurser, negativa utsläpp och väte. För dessa fastställs även nationella mål, man utarbetar en färdplan för ibruktagandet av lösningar och skapar incitament med hjälp av en skattereform för hållbar utveckling samt till exempel distributions- och blandnings-skyldigheter.

HINDER Kommersialiseringen och implementeringen av nya lösningar är långsam.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Offentliga FUI-insatser samt finansieringen av piloter och demonstrationer höjs. För utsläppssnåla produkter skapas föregångarmarknader till exempel genom offentliga uppköp, prissättningsstöd som är bundna till kolpriset³⁹ eller distributionsskyldigheter⁴⁰.

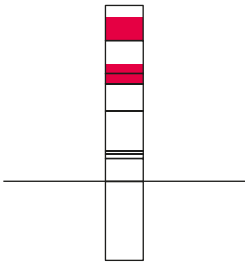
HINDER Kompetensen är bristande.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Kompetens- och utbildningsbehov förutses. Arbetskraftsinvandringen görs smidigare. Satsningar görs på högskolor, grundforskning, tvärvetenskaplighet och mångkunnighet. Kompetens om klimat och cirkulär ekonomi inkluderas omfattande på alla utbildningsnivåer samt i lärarutbildningen. Man satsar på åtgärder för en rättvis övergång, såsom omskolning.

³⁸ Såsom gjorts inom trafiken.

³⁹ Med prissättningsstöd (engl. carbon contract for difference, CCFD) betalar man skillnaden för högre tillverkningskostnader för en utsläppssnål ny produkt och gör produkterna till samma pris för kunden.

⁴⁰ Genom distributionsskyldigheten görs vissa aktörer skyldiga att distribuera en viss del av en utsläppssnål produkt, jfr distributionsskyldigheten av förnybart bränsle.



Bebyggd miljö

Utsläppens nuläge

Direkta utsläpp från bebyggd miljö (3,9 Mt eller 6 procent av utsläppen) består av oljeuppvärmning, byggplatser och förändringar i markanvändningen på grund av byggande. Bebyggd miljö är också en betydande användare av material, el och värme, och man kan säga att bebyggd miljö med sin konsumtion orsakar sammanlagt cirka en fjärdedel av Finlands utsläpp. Därtill har bebyggd miljö en betydande inverkan på människornas möjligheter att välja hållbara mobilitetsformer. Miljöstyrningen kring byggande har hittills fokuserat på att förbättra byggnadernas energieffektivitet med hjälp av reglering och stöd.

Lösningar

Att slopa oljevärmingen avlägsnar en stor del av den bebyggda miljöns direkta utsläpp. Resursklok planering av områden samt höjd utnyttjandegrad av byggnader och varaktighet ökar resurseffektiviteten och minskar på så sätt utsläpp från produktionen av material och ofta energi, byggande samt människans mobilitet. Byggnadernas ökade energieffektivitet och klok energiförbrukning⁴¹ stödjer minskade utsläpp inom energiproduktionen. Utsläpp från byggande minskas också av noggrannare användning av material, val av mer utsläppssnåla material samt elektrifieringen av arbetsfordon och transporter eller byte av bränsle.

Hinder och korrigeringar

HINDER Vid planering av områden väger klimatperspektivet inte tillräckligt, och den stela planläggningen gör det svårt att utveckla områdena.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD En starkare nationell rekommendation utarbetas och i städerna fattas ett strategiskt beslut att bygga nya bostäder så långt som möjligt genom tillbyggnad intill goda förbindelser och omvandling av lokaler med låg belägningsgrad. En avgift för förändrad markanvändning införs och ett krav på ekologisk kompensation⁴². Planläggningen förs smidigare för att det vore enklare att ändra byggnadernas syfte.

HINDER Byggnadsregleringen och kraven är inte tillräckligt ambitiösa.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Regleringen utvecklas för att kräva en i princip 100 år lång planerad livslängd för byggnader, kraven på energieffektivitet skärps både för nybyggnad och ombyggnad och i kraven inkluderas även beredskapen för efterfrågeflexibilitet på el- och värmekonsumtion.

HINDER Kompetens och kunskap om energismarta lösningar saknas.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Man satsar på utbildningen av yrkespersoner inom branschen och lärare och på ständig utveckling av kompetens. Fastighetsägare erbjuds rådgivning och verktyg. Man stödjer bildandet av sammanslutningar för informationsutbyte. Husbolagen kräver en fastighetsstrategi och en energieffektivitetsplan.

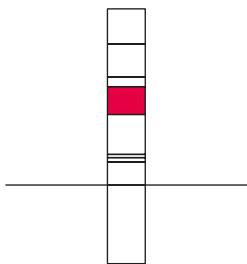
HINDER Finansiering är inte alltid tillgängligt för energikorrigerande.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Man stödjer områden som har problem med tillgång till marknadsanpassad finansiering, till exempel statsborgen för lån. Grupprenovering uppmuntras⁴³. Användningen av energieffektivitetsstöd möjliggörs även för energinvesteringar som förverkligats med servicemodeller.

41 Klok energianvändning innebär hantering av energiförbrukningen så att man undviker effektoppar och konsumtionen överförs till de tidpunkter när renare och förmånligare energi är tillgänglig.

42 Ekologisk kompensation innebär att skadan man orsakat på naturen kompenseras genom att man förbättrar naturens tillstånd någon annanstans.

43 Grupprenovering innebär att man utför samma typ av renovering i flera fastigheter som ett enda projekt.



Trafik

Utsläppens nuläge

Utsläppen från den inhemska trafiken var år 2019 11,3 Mt, eller cirka en sjättedel av Finlands utsläpp. Den internationella trafikens utsläpp räknas inte med i utsläppsinventeringen eller -målen, men de värmer upp klimatet för cirka 8,7 Mt. 95 procent av utsläppen från den inhemska trafiken kommer från vägtrafiken. Staten har satt upp som mål att den inhemska trafiken är fossilfri år 2045 och ett etappmål om halverade utsläpp före år 2030. Trafikutsläppen styrs med reglering, skatter och stöd.

Lösningar

Persontrafikens energiförbrukning och dess utsläpp kan minskas genom att minska mobilitetsbehovet⁴⁴ och föredra gång, cykling och kollektivtrafik. Transporter kan effektiviseras med optimering som möjliggjorts tack vare digitaliseringen⁴⁵ genom att utnyttja nya, mer energieffektiva transportformer⁴⁵ och genom att flytta transporter från vägarna till rälsarna. Den största utsläppsminskningen förväntas emellertid komma från övergången till nya drivkrafter såsom el, biogas och väte. Utsläpp kan också undvikas genom att byta ut fossila bränslen mot förnybara eller syntetiska bränslen i de tillämpningar där byte av drivkraft vore svårt eller dyrt.

Hinder och korrigerande åtgärder

HINDER Transportsystemet är planerat på privatbilismens villkor.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Omständigheterna för hållbara transportformer förbättras genom investeringar i infrastrukturen, prioritering av hållbara transportformer i trafikanordningar och ökat stöd för kollektivtrafiken. I städerna sänks bostädernas parkeringskrav och vägavgifter möjliggörs.

HINDER Ekonomiska incitament för att övergå till mer hållbara transportformer eller drivkrafter är svaga till en del.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD En omfattande reform genomförs av skatter, avgifter och stöd som syftar till att minska utsläppen från trafiken. Rättvisan kring åtgärderna försäkras vid behov till exempel genom att anvisa ytterligare stöd till låginkomsttagare i glesbygden.

HINDER Hållbara bränslen är dyra och deras råvaror begränsade.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Stöden för utvecklingen, demonstreringen och marknadsinföringen av hållbara bränslen ökas. Man undersöker om det i förnybara bränslens distributionsskyldighet skulle vara motiverat att ytterligare öka utvecklade bränslens⁴⁶ delskyldighet.

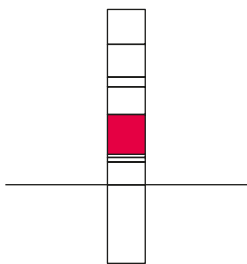
HINDER Flyg- och sjötrafikens klimatstyrning är bristfällig.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Man sätter upp ett mål om att den inhemska och från Finland avgående flyg- och sjötrafiken inte längre värmer upp klimatet och att försäljningen av fossila flygbränslen och marina bränslen upphör i Finland fram till år 2050. För flyg- och sjötrafiken fastställs en hårdare distributionsskyldighet för förnybart bränsle. Mål, distributionsskyldigheter och tillräcklig prissättning av kol främjas även på EU-nivå samt globalt.

⁴⁴ Till exempel med hjälp av effektivare samhällsstruktur, webbhandel, distansarbete och närturism.

⁴⁵ Inom utdelningstrafiken till exempel drönare, lastcyklar och transportrobotar, för längre transporter fordon med större kapacitet.

⁴⁶ Sk. utvecklade bränslen, vars andel man vill öka, kan framställas bland annat av alger, industrins och samhällens avfall, skogsavfall samt cellulosa, eller syntetiskt genom att kombinera tillvaratagen koldioxid med väte.



Jordbruk

Utsläppens nuläge

Jordbrukets sammanlagda utsläpp år 2019 var 16,2 Mt eller cirka en fjärdedel av Finlands totala utsläpp. Av jordbrukets utsläpp kommer över hälften (8,8 Mt) från torvodlingar, trots att deras andel av den totala åkerarealen är endast 10 procent. Som helhet utgör jordmånen och gödslingen tre fjärdedelar av utsläppen, metangasen som uppstår vid djurens matsmältning och hanteringen av gödsel utgör en femtedel samt jordbruksmaskiner och övrig energiförbrukning utgör sex procent. Mot jordbruket riktas hittills ingen betydande utsläppsstyrning.

Lösningar

För att minska utsläppen kan jordbruksarealen minskas med hjälp av en vegetarisk och fiskbaserad kost, minskat matsvinn, nya metoder för livsmedelsproduktion⁴⁷ och höjda skördenivåer. Den frigjorda arealen möjliggör skogsodling av marker med låg avkastning, vad gäller torvodlingar även återställning, övergång till våtmarksjordbruk eller bara uteslutning från jordbruk. På torvodlingar som fortfarande används för jordbruksproduktion bör man övergå från ettåriga växter till fleråriga och vattennivån bör höjas med hjälp av kombinerat dränerings- och bevattningssystem. På mineraljordar kan man ta i bruk odlingsmetoder som binder kol. Behandling av gödsel till biogas och återvunna näringsämnen möjliggör ett slut för ny röjning av torvmarker⁴⁸. Utsläppen från energianvändningen kan avlägsnas genom elektrifiering eller genom att byta bränslen i arbetsmaskiner och uppvärmningen.

Hinder och korrigerande åtgärder

HINDER Det finns inga incitament för utsläppsminskning inom jordbruket.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Incitament införs för klimatåtgärder. Våtmarksodling garanteras rätt till jordbruksstöd och gradvis avlägsnas jordbruksstöden från torvmarker där vattenytan inte hålls på hög nivå. Nya incitament utvecklas som belöning för utsläppsminskningar när åkern lämnas utanför jordbruksanvändning. Miljöersättningssystemets stöd inriktas på de mest effektiva åtgärderna som minskar utsläpp. Finland bör främja förändringen även på EU-nivå, särskilt vad gäller torvmarker.

HINDER Röjning är lönsamt.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Skiftesomfördelning uppmuntras och resurserna för förverkligandet ökas. Ett miljötillstånd införs för röjning av torvmarker. En avgift införs för förändring av markanvändningen. Samarbete mellan gårdar och vallfodermarknaden främjas.

HINDER Marknaden för återvunna näringsämnen och odlingssubstrat som ersätter torv är svag.

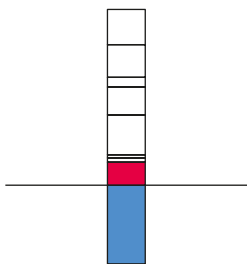
KORRIGERANDE ÅTGÄRD Satsningarna på produktutvecklingen och kommersialiseringen av återvunna gödslingsprodukter och odlingssubstrat som ersätter torv ökas. Produkternas efterfrågan och kostnadskonkurrenskraft stöds. Utvecklingen av incitament främjas även på EU-nivå.

HINDER Konsumenterna är vana vid animaliska produkter, och de är förmånliga.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Offentliga upphandlingar, kostrekommendationer och skolornas näringsfostran utnyttjas för att styra till allt mer klimativänligare val. Metoder för att införa obligatorisk märkning av klimatpåverkan på förpackningar och utsläppsbaserad prisstyrning av livsmedel utreds.

⁴⁷ Såsom bioteknisk mat och insekter som foder eller människoföda.

⁴⁸ I och med att djurhushållning blir alltmer koncentrerad, ny mark röjs i syfte att producera föda och för att sprida överskottet av gödsel. Bearbetningen av gödsel och transporten av näringsämnen annanstans minskar följaktligen behovet av att öka spridytan.



Användning av skogar och våtmarker

Utsläppens nuläge

År 2019 utgjorde skogarnas trädbestånd, hedskogarnas jordmån och trävaror en sänka på 32,9 Mt. Utsläppen från sumpskogarnas jordmån, våtmarker (dvs. torvtäcker och misslyckade skogsdikningsområden) och arbetsfordonen var sammanlagt 9,3 Mt. Sammanlagt var netto-sänkan av användningen av skogar och våtmarker 23,6 Mt. Beräkningsmässigt minskade sektorn Finlands nettoutsläpp med cirka 40 procent. Hittills har man inte haft någon egentlig klimatstyrning inom skogssektorn, men till förbättring av skogstillväxten har man styrt på lång sikt.

Lösningar

Utsläppen från användningen av skogar och våtmarker kan minskas genom att man övergår till kontinuerligt beståndsvård i sumpskogar, återställer sumpskogar med låg avkastning, slutar röja nya torvtäcker och efterbehandling av torvtäcker som befriats från torvproduktion. Sänkan kan däremot ökas genom att stärka mångfalden, vilket främjar skogstillväxten och förebygger skogsskador, och genom att förändra skogsbruket att binda mer kol. Att minska avskogningen och odla skog på jordbruksmarker och torvtäcker som inte längre används hjälper också. Trävaror som ersätter användningen av fossila bränslen och har längre livslängd både ökar trävarornas sänka och hjälper till att minska utsläpp från övriga sektorer.

Hinder och korrigerande åtgärder

HINDER Skogsägarna saknar incitament för att öka kolbindningen eller mångfalden.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Ekonomiska incitament skapas för kolbindning. Man börjar med att utveckla kunskapsunderlaget och testa ett kolersättningssystem, där skogsägaren betalas stöd för utökat kolförråd. Frivillig kolhandel främjas också. Skogsvårdsval som stöder mångfalden fastställs, såsom upprätthållande av ett mångsidigt trädartförhållande, som villkor för beviljande av Kemera-stöd. Kemera-stöden förnyas så att de behandlar kontinuerlig beståndsvård och likåldrig skogsodling på samma sätt.

HINDER Kemera-stöden styr mot likåldrig skogsodling även i sumpskogar.

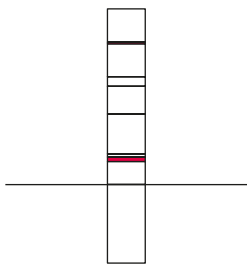
KORRIGERANDE ÅTGÄRD Stöden och regleringen förnyas för att uppmuntra till kontinuerlig beståndsvård i sumpskogar, och för sumpskogar slopas stöden för underhållsdikning, plantskogsskötsel och skötsel av ungskog. Fler stöd införs för att återställa utsläppsrika sumpskogar till våtmarker.

HINDER Regleringen av torvtäcker är bristfällig.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Torvtäcker borde efterbehandlas på ett sätt som minimerar klimat- och naturpåverkan. Efterbehandlingen av torvtäcker stöds så att det blir ekonomiskt lönsamt, eller så införs en skyldighet för efterbehandling. Ett beslut fattas om att stegvis slopa användningen av torv.

HINDER Virket styrs till produkter med låg hållbarhet och utsläppsminskning.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Politik som ökar efterfrågan på virke granskas kritiskt och regleringen revideras. Till exempel säkerställer man att värmeproduktion som inte utgår från förbränning är i princip lönsammare än förbränning av virke. Samtidigt kan man fastställa blandningsskyldigheter för material där ersättning med träbaserade alternativ är rimligt. Man utreder hur en omfattande klimatstyrning av virkesanvändningen kunde förverkligas.



Avfallshantering

Utsläppens nuläge

De direkta utsläppen från avfallshanteringen var år 2019 1,8 Mt eller tre procent av de totala utsläppen. De mest betydande utsläppen uppstår när biologiskt avfall förmultnar i syrefria omständigheter på avstjälningsplatsen (1,4 Mt). Därtill uppstår utsläpp vid hanteringen av avloppsvatten (0,2 Mt) samt vid kompostering och rötning av biologiskt avfall (0,1 Mt). Avfallshanteringsens utsläpp (0,7 Mt) rapporteras inom energisektorn. Avfallshanteringen styrs med EU:s avfallsdirektiv och avfallslagen som baserar sig på den och som från och med år 2016 förbjöd deponering av biologiskt nedbrytbart avfall.

Lösningar

För att avsevärt minska mängden utsläpp bör man minska mängden avfall. Därför bör cirkulär ekonomi – i praktiken till exempel produkternas materialeffektivitet, hållbarhet och återanvändbarhet – observeras redan vid planeringen av produkter (se industri). Även konsumtionsvalen bör bli mer hållbara. När avfall emellertid uppstår, bör det sorteras bättre än tidigare. Därtill bör man ta i bruk bearbetningsprocesser som gör det möjligt att utnyttja nya avfallskomponenter som material.

Hinder och korrigerande åtgärder

HINDER Incitament saknas för resurseffektiv produktplanering, och efterfrågan på återvunnet material är otillräckligt.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Incitament och reglering skapas för resurseffektivitet inom industrin (se industri). Avfallsförbränningens proportionella lönsamhet försvagas genom att avfallsskatten utvidgas till avfallsförbränningen och dess nivå höjs eller genom att överföra avfallsförbränningen till utsläppshandeln.

HINDER Incitamenten för konsumenternas klimatvänliga val är svaga.

KORRIGERANDE ÅTGÄRD Rådgivning erbjuds om konsumtionsvalens klimatpåverkan och tjänster för cirkulär ekonomi. Miljöcertifikat som är anpassade till cirkulär ekonomi utvecklas. Koldioxidskatt för konsumtionsvaror och obligatorisk märkning av koldioxidavtryck på förpackningar utreds. Användningen av reparationstjänster stöds. På EU-nivå främjas konsumentens rätt till att få information om varornas hållbarhet och reparationsmöjligheter.

1 Mitä tässä työssä tehtiin

Tämän selvityksen tavoitteena on selventää kokonais kuvaa siitä, millä ratkaisulla Suomen hiilineutraalius 2035 ja hiilinegatiivisuus sen jälkeen voidaan saavuttaa ja mitkä ovat ratkaisujen käyttöönoton suurimmat esteet. Esitämme myös mahdollisia toimenpiteitä esteiden purkamiseksi – eli millaisilla korjausliikkeillä Suomen päästöt voidaan saada 1,5 asteen tavoitteen mukaiselle polulle. Selvitys keskittyy ilmastoon, mutta olemme pyrkineet huomioimaan myös luontokadon asettamat reunaehdot. Olemme painottaneet ratkaisuja, joilla voidaan ratkoa molempia kriisejä - tai ainakin olla heikentämättä luonnon tilaa lisää.

Toivomme selvityksen edistävän keskustelua tarvittavasta pitkän aikavälin siirtymästä ja sen huomioimisesta tulevista päätöksissä. Kaukaa viisaat päätökset edistävät siirtymän kustannustehokkuutta, ennakoitavuutta ja oikeudenmukaisuutta.

Hankkeessa tehtiin kirjallisuuskatsaus Suomen ilmastopolitiikan nykytilaan sekä tiedossa oleviin ilmastoratkaisuihin. Tämän lisäksi työryhmä haastatteli noin sataa eri alojen asiantuntijaa yli 50 organisaatiosta täydentääkseen ymmärrystään ratkaisuista sekä niihin liittyvistä haasteista. Kaikki tässä

raportissa esitetyt johtopäätökset ovat kuitenkin tekijöiden omia eivätkä välttämättä edusta haastateltujen henkilöiden tai heidän organisaatioidensa näkemyksiä.

Ilmastoratkaisujen potentiaalia on hahmoteltu suuntaa antavasti kirjallisuuden pohjalta. Työssä ei ole tehty uutta mallinusta, uusia arvioita ratkaisujen täsmällisestä potentiaalista tai kustannustehokkuudesta tai pyritty ennustamaan tulevaa kehitystä. Päästövähennysten jakautumisen hahmotelussa käytetyt oletukset löytyvät liitteestä [laskelmien oletukset](#).

Raportin osiossa 2 on kuvattu oikeudenmukaisen päästötavoitteen määrittelyä ja vedetty yhteen piirtynyt kokonaiskuva Suomen päästöjen lähtötilanteesta, päästövoitteiden saavuttamiseksi tarvittavista ratkaisuksista, ratkaisuiden merkittävimmistä esteistä sekä keinoista ylittää niitä. Osioissa 3–9 esitellään tarkemmin sektoreittain päästöjen ja ilmastopolitiikan tilanne, tunnetut ratkaisut, niiden tärkeimmiksi arvioidut esteet ja mahdollisia korjausliikkeitä tilanteen ratkaisemiseksi. Selvitys ei pysty kattamaan kaikkia tarvittavia korjausliikkeitä, mutta olemme pyrkineet sisällyttämään mielestämme tärkeimpiä kokonaisuuksia.

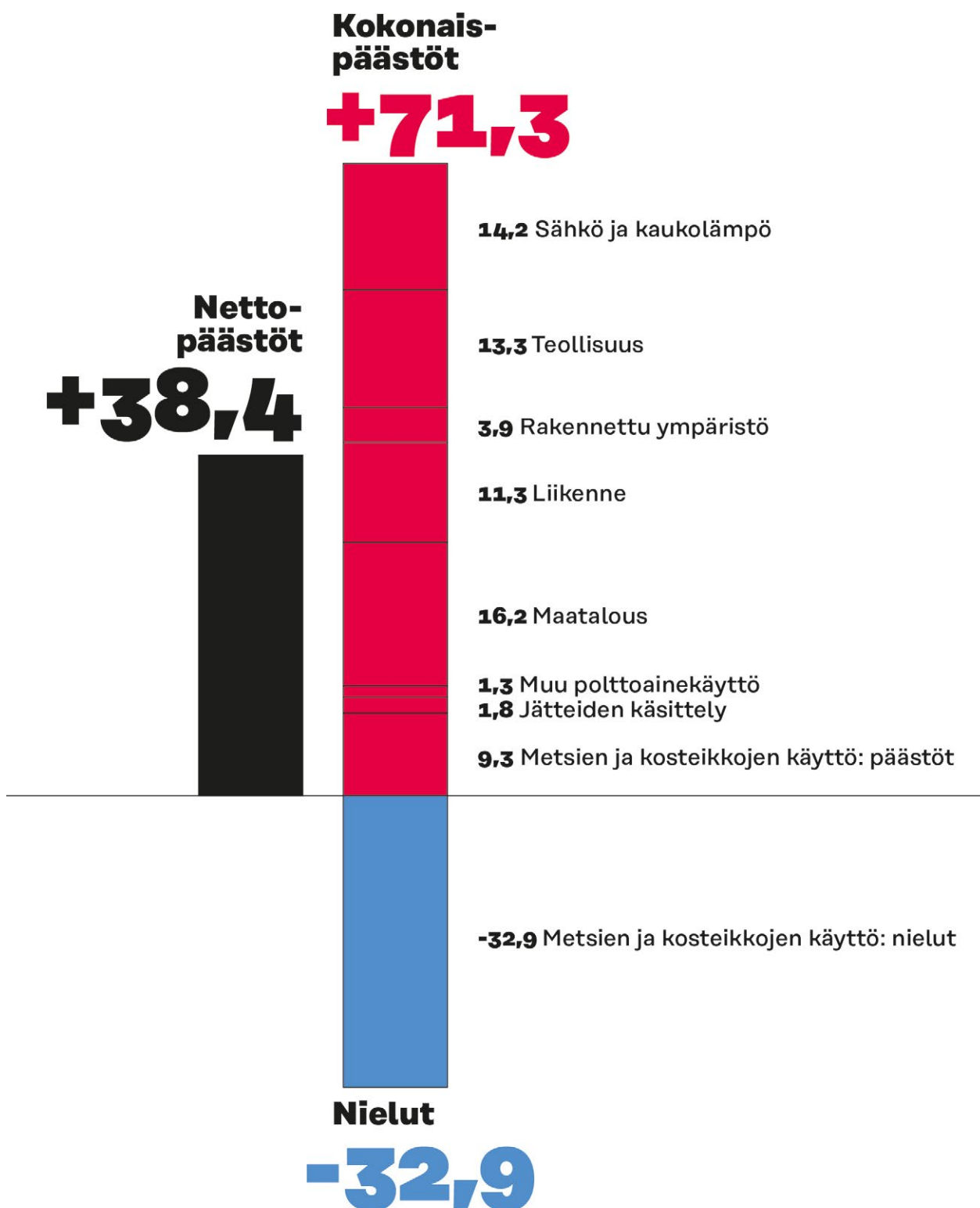
2 Miten tuodaan Suomi kohti 1,5 asteen tavoitteen mukaista polkua?

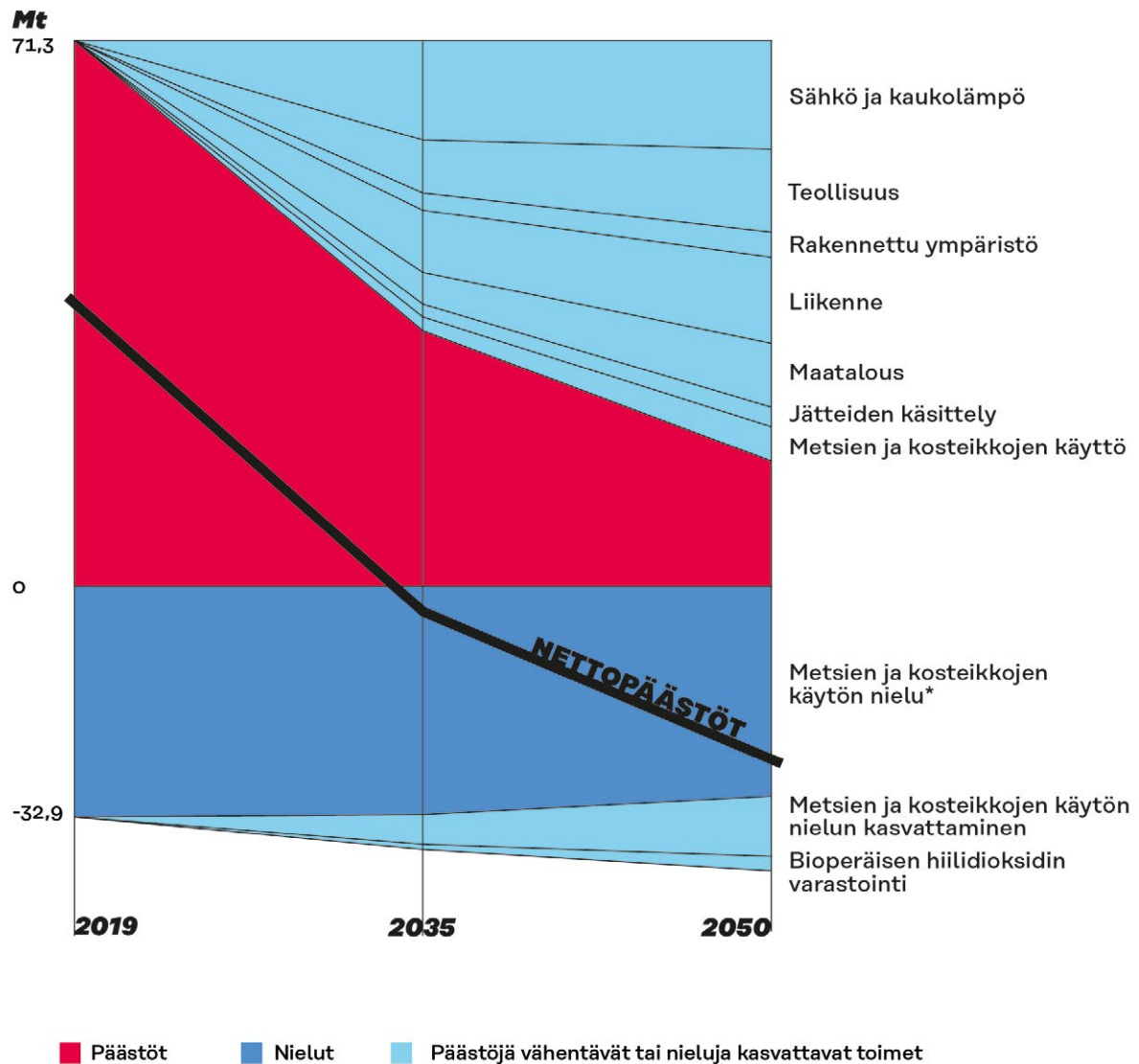
Tässä osiossa käydään läpi, miten päästövoitteet voidaan asettaa oikeudenmukaisesti, esitellään päästöjen lähtötilanne ja vedetään yhteen piirtynyt kokonaiskuva päästötavoit-

teiden saavuttamiseksi tarvittavista ratkaisuista, ja niiden merkittävimmistä esteistä ja keinoista ylittää niitä.

Tilanne 2019

Kuva 1. Suomen ilmastopäästöt 2019 (Mt)

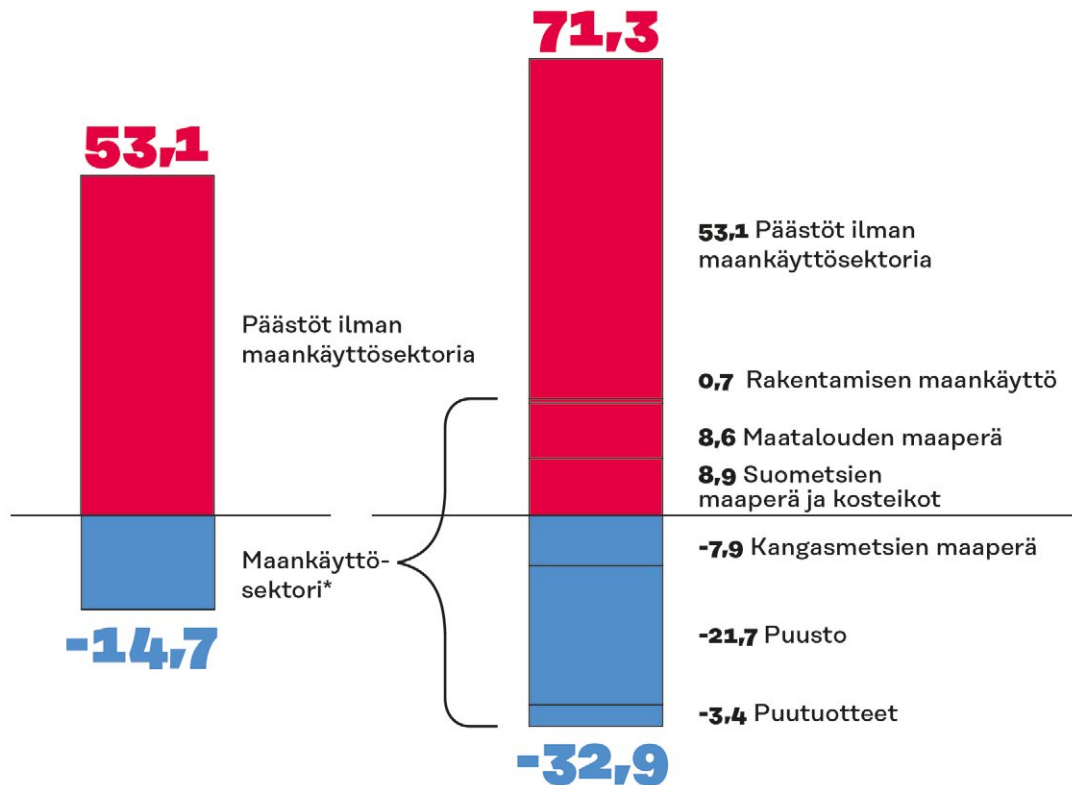


Kuva 2. Päästövähennysten mahdollinen jakautuminen sektoreiden välillä

*Nielun tulevaan kehitykseen liittyy paljon epävarmuutta. Nieluun vaikuttavat puuston toteutunut kasvu, johon voivat vaikuttaa esimerkiksi metsätuhot, sekä hakkuut, jotka määrää teollisuuden puun kysyntä.

Kuva 3. Eivätkö päästöt olekaan 53 Mt?

Miten päästöjen esitystapa suhtautuu kasvihuonekaasuinventaarioon (2019, Mt)



*maankäyttösektori=maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous

2.1 Suomen oikeudenmukaiset päästötavoitteet

Ilmaston kuumenemisen rajoittaminen 1,5 asteeseen tarkoittaa, että ilmakehään voidaan päästää enää tietty määrä sitä lämmittäviä kasvihuonekaasuja. Tätä kutsutaan hiili- tai päästöbudjetiksi. Hallitustenvälinen ilmasto-paneeli IPCC arvioi, että globaali hiilibudjetti, jolla ilmaston kuumeneminen voidaan 67 prosentin todennäköisyydellä rajata 1,5 asteeseen, on suuruudeltaan 400 Gt alkaen vuoden 2020 alusta. Vertailun vuoksi vuositaiset globaalit hiilidioksidipäästöt vuonna 2015 olivat 40 Gt. (IPCC 2021.)

Tämä budjetti voidaan jakaa maailman maiden kesken erilaisilla periaatteilla. Suomen Ilmastopaneeli on päättänyt maksukykyperiaatteeseen, jossa jäljellä oleva hiilibudjetti jaetaan maapallon asukkaiden kesken painottaen asuinvaltion bruttokansantuotella. Näin toteutetaan kansainvälisissä ilmastopimoksissa sovittua periaatetta siitä, että rikkaat kantavat taakasta suuremman osan kuin köyhät. Tällä tavalla saadaan Suomen oikeudenmukaiseksi päästöbudjetiksi 79 Mt vuosille 2020–2050.⁴⁹ (Suomen ilmastopaneeli 2021.)

Ilmastopaneelin laskelmassa oletetaan, että maankäyttösektorin nielun voidaan katsoa hyvittävän päästöjä suorassa suh-

⁴⁹ Ilmastopaneelin laskelma perustuu IPCC:n aiemmin arvioimaan hiilibudjettiin, joka oli 420 Gt vuoden 2018 alusta (IPCC 2018). Suomelle johdetut tavoitteet eivät kuitenkaan käytännössä muutu hiilibudjettiärvion päivittämisen myötä.

teessa. Tällä oletuksella päästöbudjetissa pysytään, kun päästöjä vähennetään ja nielua kasvatetaan kutakuinkin tasaisesti niin, että hiilineutraalius saavutetaan vuonna 2035 ja sen jälkeen nettopäästöt ovat enenevästi negatiiviset, vuodesta 2045 eteenpäin noin –17 Mt vuodessa. ([Suomen ilmastopaneeli 2021.](#))

Tavallisesti päästöjä lasketaan tuotanto- eli alueperusteisesti, jolloin laskennassa huomioidaan Suomen maantieteellisten rajojen sisällä syntyvät päästöt. Tämä on virallisesti sovittu laskentatapa, ja sitä on käytetty Suomen päästötavoitteita asetettaessa. Myös tässä selvityksessä päästöjä tarkastellaan tuotantoperusteisesti. Toinen, täydentävä tapa tarkastella päästöjä on kulutusperusteinen laskenta, jolloin päästöjen fyysistä syntypaikkaa ei huomioida, vaan maan sisällä tapahtuvan kulutuksen aiheuttamat päästöt lasketaan tuotantoketju huomioiden. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että maassa tuotetuista päästöistä vähennetään vientituotteiden ja niihin lisätään tuontituotteiden päästöt. Kulutusperusteista tarkastelutapaa ja Suomen kulutusperäisiä päästöjä käsitellään tarkemmin laatikossa [kulutusperäiset päästöt ovat vaihtoehtoinen tapa tarkastella päästöjä](#).

Tässä selvityksessä otetaan lähtökohdaksi Ilmastopaneelin näkemys Suomen oikeudenmukaisista 1,5 asteen tavoitteen kanssa linjassa olevista päästötavoitteista. Laatikossa [1,5 asteen mukainen ilmastopolitiikka](#) keskustellaan päädyttyyn hiilibudjettiin ja päästötavoitteisiin sisältyvistä haasteista ja epävarmuuksista.

2.2 Päästöjen lähtötilanne

Suomen päästötilanne vuonna 2019 on esitetty kuvassa 1. Maatalous muodosti päästöistä liki neljänneksen, sähkön ja kaukolämmön tuotanto sekä teollisuus kumpikin viidenneksen ja kotimaan liikenne kuudesosan. Rakennetun ympäristön,

jätteiden käsittelyn ja muun polttoainekäytön suorat päästöt muodostivat yhteensä 10 prosenttia. Metsien ja kosteikkojen käyttö, eli metsätalous ja turvetuotanto, tuottivat päästöistä kahdeksasosan. Samalla metsät kuitenkin muodostivat nielun, joka kumosi laskennallisesti liki puolet Suomen kokonaispäästöistä.

Tässä selvityksessä päästöjen esitystapa poikkeaa hieman totutusta, sillä maankäytön päästöt on jaettu niitä aiheuttaville sektoreille (ks. kuva 3).

Kokonaisuudessaan energiankäyttö muodosti kokonaispäästöistä 55, maankäyttö 28 ja teollisuuden prosessipäästöt 8 prosenttia. Maankäytön päästöistä turvemaiden käyttö muodosti 90 prosenttia. Päästöjen tarkastelu sektoreittain ei ole aivan yksinkertaista, sillä sektorit ja niillä tehtävät ratkaisut vaikuttavat myös toisiinsa. Esimerkiksi teollisuus ja rakennukset käyttävät sähköä ja kaukolämpöä, rakennettu ympäristö luo puitteet liikkumiselle ja teollisuuden tuotesuunnittelu vaikuttaa syntyviin jätteisiin. Niinpä sektorikohtaisissa luvuissa on joissain tapauksissa esitetty myös muita päästöjä, joihin sektorin toimilla voidaan vaikuttaa.

Kansainvälisen lento- ja meriliikenteen päästöjä ei lueta Suomen tai minkään muunkaan valtion virallisiin päästöihin. Suomesta lähtevän kansainvälisen liikenteen päästöt kuitenkin vastaavat kahdeksasosaa vuoden 2019 kokonaispäästöistä. Kansainvälisen liikenteen päästöjä tarkastellaan tarkemmin osiossa [liikenne](#).

2.3 Ratkaisut tavoitteiden saavuttamiseksi

Tarvittaviin päästövähennyksiin ei ole vain yhtä polkua, mutta tavoitteiden saavuttaminen edellyttää mittavia toimia kaikilla sektoreilla. Seuraavaksi kuvataan lyhyesti tässä selvityksessä hahmotettu ratkaisujen kokonaiskuva – tarkempi kuvaus ratkaisuista löytyy kunkin sektorin omasta luvusta.

INFOBOKSI

1,5 asteen tavoitteen mukainen ilmastopolitiikka

Ei ole aivan selvää, että tämän selvityksen pohjaksi otetut Ilmastopaneelin suosittelemat ilmastotavoitteet (*Suomen ilmastopaneeli 2021*) todella olisivat 1,5 asteen tavoitteen mukaisia. Tärkeitä epävarmuuksia on kolmenlaisia: mikä globaali hiilibudjetti todella on, miten se jaetaan oikeudenmukaisesti ja miten Suomen metsänielu tulisi huomioida päästötavoitteissa.

IPCC (2021) arvioi, että 400 gigatonnin hiilibudjetti ihmistoiminnan päästöille vuoden 2020 alusta rajoittaa kuumenemisen 67 prosentin todennäköisyydellä alle 1,5 asteeseen. Toisin sanoen tällöin on 33 prosentin mahdollisuus, että budjetti on arvioitu liian suureksi – mikäli 1,5 asteen tavoitteen saavuttamisen todennäköisyydeksi halutaan 83 prosenttia, budjetti on enää 300 Gt. Lisäksi budjettia määritettäessä ei ole otettu huomioon kaikkea. Epävarmuuksia liittyy ilmaston reaktioon hiilineutraaliuden saavuttamisen jälkeen (± 420 Gt) sekä viime aikoina toteutuneisiin päästöihin (± 20 Gt), ja lisäksi budjetti huomioi vain osittain epävarmuudet liittyen tähän asti toteutuneeseen kuumenemiseen (± 550 Gt) sekä muiden kasvihuonekaasujen päästöihin ja ilmaston reaktioon niihin (± 220 Gt). Kaiken kaikkiaan IPCC:n mukaan on epätodennäköistä, että 1,5 asteen kuumeneminen olisi jo ylitetty, mutta mitä nopeammin päästöt saadaan laskuun, sitä paremmat mahdollisuudet tavoitteessa pysymiseen on.

Oikeudenmukaisuuskriteerin valinta budjetin jakamiseksi maailman maille ei ole itsestään selvä. Ollikainen ym. (2019) tarkastelivat maksukyvyn lisäksi myös kahta muuta mahdollista oikeudenmukaisuuskriteeriä. Toinen on tasajaon periaate, jossa jäljellä oleva hiilibudjetti jaetaan tasan kaikille maailman asukkaille. Tämä sallisi Suomelle löysemät tavoitteet. Toinen on historiallisen vastuun periaate, jossa huomioidaan, kuinka paljon kasvihuonekaasuja maa on jo aiemmin päästänyt ilmakehään. Historiallisen vastuun mukaisesti katsottuna Suomen tavoitteita pitäisi kiristää – itse asiassa Suomen budjetti on jo miinuksella, eli velan puolella. Velka saataisiin kuitattua, jos Suomi saavuttaisi hiilineutraaliuden jo 2031, ja olisi vuoteen 2050 mennessä vuosittain hiilnegatiivinen 50 Mt:n edestä. Rocha ym. (2016) tarkastelivat myös globaalit kokonaiskustannukset minimoivaa lähestymistapaa, ja totesivat Suomen hiilibudjetin negatiiviseksi vuosille 2010–2100.

Viimeisenä on kysymys metsänielusta. Maiden päästöinventaariorissa ja Suomen ilmastotavoitteissa koko metsänielun lasketaan hyvittävän päästöjä – toisin sanoen inventaarioon sisältyvä talousmetsän nielu katsotaan kokonaisuudessaan ihmisen aikaansaamaksi. Ilmastomallit, joiden tuloksista aiemmin keskusteltu globaali hiilibudjetti on määritetty, taas katsovat tämän nielun osittain luonnolliseksi: ilmaston kuumenemisen myötä kiihtyvä metsän kasvu on malleissa jo huomioitu jäljellä olevaa ihmisperäisten päästöjen budjettia laskettaessa. Lopputuloksena on, että metsänielun sellaisenaan hyväksilukeva ilmastotavoite on riittämätön – ja koska Suomen nielu suhteessa päästöihin on suuri, tämän vaikutus tavoitteisiin on suuri. Kääntäen voidaan sanoa, että suhteessa tapaan jolla maat laskevat päästöjään ja nielujaan, globaali hiilibudjetti on laskettu liian suureksi. Grassi ym. (2021) arvioivat, että mikäli nielu lasketaan kuten ne maiden päästöinventaariorissa tehdään, globaali hiilibudjetti kutistuu 120–192 Gt.

Kaiken kaikkiaan on mahdollista ja jopa todennäköistä, että Suomen tavoitteiden riittävyttä joudutaan tulevaisuudessa tarkastelemaan uudelleen, eikä päästövähenyksissä tule viivytellä. Monet tässä selvityksessä tunnistetut ratkaisut on kuitenkin mahdollista ottaa käyttöön tässä esitettyä nopeammin, ja teknologian ja ymmärryksen kehitys tuo saataville uusiakin ratkaisuja.

Ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan karkeasti kolmenlaisia ratkaisuja: tehokkuuden ja tuottavuuden kasvattamista, päästöjä aiheuttavien toimintojen korvaamista vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla sekä nielujen vahvistamista.

Tehokkuus ja tuottavuus ovat avainasemassa päästöjen kustannustehokkaaksi vähentämiseksi kaikilla sektoreilla. Kiertotaloudella tehostetaan materiaalien käyttöä, mikä vähentää tuotanto- ja jätteenkäsittelyprosessien päästöjä. Teollisuuden, rakennus-

ten ja liikenteen energiatehokkuuden parantaminen leikkaa päästöjä tuottavan energian tarvetta, helpottaa puhtaiden energiaratkaisujen soveltamista ja laskee energiajärjestelmän kustannuksia. Siirtyminen kohti kasvis- ja kalapainotteista ruokavaliota sekä satotajien nosto vapauttavat maataloudessa ruuantuotannolta tilaa päästövähennystoimille, esimerkiksi metsittämiselle.

Tehostamisen jälkeen on korvattava päästöjä aiheuttavat polttoaineet, prosessit ja raaka-aineet vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla. Sähköistäminen on tärkein ratkaisu niin lämmityksen, liikenteen kuin teollisuuden puhdistamisessa. Tarvittava sähkö voidaan tuottaa puhtaasti, pääasiassa tuulivoimalla. Kulutuksen joustavuus ja energian varastointi mahdollistavat sääriippuvaisen tuotannon lisäämisen ja parantavat järjestelmän kustannustehokkuutta. Kestävästi tuotettua biomassaa on saatavilla rajallisesti, mutta sillä voidaan korvata fossiiliperäisiä raaka-aineita ja tarjota joustavaa energiantuotantoa ja polttoaineita vaikeasti sähköistettäviin kohteisiin. Biomassan käytölle vaihtoehtona on usein epäsuora sähköistäminen, jossa sähkö muunnetaan vedyksi ja joissain tapauksissa edelleen synteettiseksi polttoaineiksi.

Turvemailla on siirryttävä vähäpäästöisempiin maankäyttömuotoihin. Heikkotuototisia suopeltoja ja -metsiä voidaan ennallistaa soiksi. Myös pelkkä turvepellon jättäminen maatalouskäytön ulkopuolelle auttaa vähentämään päästöjä. Metsä- ja maatalouskäyttöön jäävillä alueilla vedenpintaa voidaan pitää korkealla ja päästöjä vähentää metsien jatkuvapeitteisen kasvatuksen, kosteikkoviljelyn sekä monivuotisten kasvien ja säätösalaajituksen avulla.

Päästövähennysten lisäksi nielua pitää kasvattaa. Nielun vahvistamiseksi on tärkeää edistää metsien kasvua ja torjua metsätuhoja vahvistamalla monimuotoisuutta⁵⁰. Myös

metsien käsittelyä ja kivennäismaiden viljelykäytäntöjä pitää muuttaa sitomaan enemmän hiiltä. Tekniset nielut, kuten bioperäisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi, täydentävät selvästi kookkaampaa metsänielua.

Ratkaisujen kypsyys vaihtelee, ja tulevan kehityksen myötä näkemys ratkaisujen potentiaalista ja roolista tulee todennäköisesti jossain määrin muuttumaan. Selvää kuitenkin on, että tarvittavat päästövähennykset ovat saavutettavissa jo nyt nähtävissä olevilla ratkaisuilla.

2.4 Päästövähennysten jakautuminen sektoreittain

Kuvassa 2 on esitetty tässä selvityksessä hahmotettu, pääasiassa aiempaan kirjallisuuteen perustuva arvio eri ratkaisujen mahdollisesta panoksesta päästöjen vähentämiseen sektoreittain. Kunkin sektorin päästöjä vähentäviä toimia ei ole oletettu tehtäväksi vain sektorin sisällä, vaan sektorit vaikuttavat myös toisiinsa – esimerkiksi rakennusten ja teollisuuden energiatehokkuuden kasvun ja älykkään energiankäytön on oletettu vähentävän sähkön ja kaukolämmön tuotannon päästöjä. Käytetyt oletukset löytyvät liitteestä [laskelmien oletukset](#).

Merkittävimmät sektorit päästövähennysten kannalta ovat sähkö ja kaukolämpö, teollisuus, liikenne ja maatalous. Eri sektoreilla päästöjä on mahdollista vähentää eri tahtiin. Nopeimmin päästöjä voidaan vähentää sähkön ja kaukolämmön tuotannossa, jossa päästöjen on vuoden 2019 tasoon verrattuna arvioitu voivan laskea 90 prosenttia vuoteen 2035 mennessä ja painuvan lähelle nollaa 2050 mennessä. Kotimaan liikenteessä päästöjä arvioitiin voitavan vähentää noin 70 prosenttia vuoteen 2035

⁵⁰ Monimuotoisempi metsäekosysteemi lisää kasvua ja on kestävämpi sekä sään ääri-ilmiöitä että hyönteistuhon vastaan.

mennessä, ja vuodesta 2045 eteenpäin liikenne voi sektorille asetetun tavoitteen mukaisesti olla päästötöntä. Teollisuudessa päästöjä arvioitiin voitavan vähentää noin 50 prosenttia vuoteen 2035 ja 85 prosenttia

vuoteen 2050 mennessä. Maataloudessa päästöjen vähentäminen on haastavinta, ja siellä päästöjä arvioitiin voitavan vähentää noin 25 prosenttia vuoteen 2035 ja 50 prosenttia vuoteen 2050 mennessä.

INFOBOKSI

Kulutusperäiset päästöt ovat vaihtoehtoinen tapa tarkastella päästöjä

Globaaleilla markkinoilla hyödykkeitä kulutetaan niiden tuotantoalueiden ulkopuolella. Koska kysyntä ohjaa hyödykkeiden tuotantoa, on aiheutuvia päästöjä syytä tarkastella myös kulutuksen mukaan. Kulutusperäiset päästöt kuvaavat tietyssä maassa käytettyjen tavaroiden ja palveluiden sekä tehtyjen investointien⁵¹ elinkaarisia ympäristövaikutuksia. Maan loppukäyttö saadaan, kun maan tuotannosta vähennetään vienti ja siihen lisätään tuonti.

Suomen kulutusperäiset päästöt olivat 73,4 Mt vuonna 2015 (Nissinen & Savolainen 2019). Tämä on noin kolmanneksen suurempi kuin Suomen virallinen, alueperäisesti tuotettu päästölukema ilman maankäyttösektoria. Tuonnin osuus elinkaarisista päästöistä oli hieman yli puolet. Kotitalouksien kulutus aiheutti valtaosan, 48,6 Mt, kulutusperäisistä päästöistä. Investointien päästöt olivat 14,2 Mt ja julkisen kulutuksen 9,1 Mt. Kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjäljestä liikkuminen muodosti 30 prosenttia, asuminen 29 prosenttia, ruoka 19 prosenttia ja muut tavarat ja palvelut 22 prosenttia.

Kulutusperäiset päästöt eivät Suomessa ole vähentyneet samalla tavoin kuin alueperäiset. Kotitalouksien kulutuksen päästöt nousivat 12 prosenttia vuosina 2000–2016, sillä teknologian kehitys ja kulutusrakenteen muutos eivät riittäneet kompensoimaan kulutuksen kasvua (Nissinen & Savolainen 2019). Suomalaisten hiilijalanjäljen pitäisi kuitenkin laskea yli 90 prosenttia vuoteen 2050 mennessä, jotta päästöt olisivat linjassa Pariisin sopimuksen kanssa (Lettenmeier ym. 2019).

Koska osa kotimaassa kulutetuista asioista myös tuotetaan kotimaassa, kotimaisen tuotannon päästöihin puuttuminen vähentää myös osaa kulutusperusteisista päästöistä. Tuotujen päästöjen vähentäminen edellyttää sen sijaan keinoja, joilla ohjataan kotitalouksia ja julkista sektoria vähentämään kulutusta ja valitsemaan pienen hiili- ja materiaalijalanjäljen hyödykkeitä, kuten kävelyä ja pyöräilyä sekä joukkoliikennettä ja kasvispainotteisempaa ruokaa⁵². Tässä voidaan hyödyntää sääntelyä, taloudellisia ohjauskeinoja, tuoppausta⁵³, yhteistyötä ja informaatio-ohjausta (Linnanen ym. 2020).

Ruotsissa Göteborg on ollut edelläkävijä kulutusperäisten päästöjen huomioimisessa. Kaupungin ilmasto-ohjelmassa asetettiin vuonna 2014 tavoitteeksi kaupunkilaisten hiilijalanjäljen pienentäminen 3,5 tonniin vuoteen 2035 mennessä. Ohjelmassa on tarkempia tavoitteita eri osa-alueille, kuten lentämiseen ja ruokaan liittyen, ja toimenpiteet keskittyvät koulutukseen ja viestintään. Ruotsissa selvitetään kulutusperusteisten päästöjen tavoitteen asettamista parhaillaan myös valtiotasolla (Naturvårdsverket). Suomessa kulutusperäiset päästöt on mainittu keskeisissä ilmastostrategioissa, mutta niille ei ole asetettu tavoitteita, ja toimenpiteet päästöjen vähentämiseksi ovat vielä pitkälti toteuttamatta.

51 Investoinneilla tarkoitetaan aineellista pääomaa, kuten tuotantolaitoksia, kasvattaneita panostuksia.

52 Kulutamme myös ulkomailla tuotettua ruokaa, ja ajoneuvojen valmistuksen päästöt tapahtuvat yleensä ulkomailla. Mainitut valinnat toki vähentävät päästöjä myös kotimaassa.

53 Tuoppauksella tarkoitetaan ihmisten ohjaamista tekemään parempia valintoja, esimerkiksi ilmaston suhteen, muokkaamalla tilanteita ja ympäristöjä, joissa valinnat tehdään.

Metsien ja kosteikkojen käytön päästöjä arvioitiin voitavan vähentää noin 20 ja sektorin nielua kasvattaa noin 10 prosenttia vuoteen 2035 mennessä. Vuoteen 2050 mennessä päästöjä arvioitiin voitavan vähentää noin 50 ja nielua kasvattaa noin 25 prosenttia. Isompia kokonaisuuksia tukevat myös jätteiden käsittelyn päästöjen vähentäminen sekä negatiivisten päästöjen tuottaminen bioperäisen hiilidioksidin talteenotolla ja varastoinnilla.

Lopputuloksena Suomi voisi saavuttaa hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä, ja vuoteen 2050 mennessä Suomi voisi olla hieman yli 20 Mt hiilinegatiivinen. Kokonaispäästöt voisivat laskea noin 50 prosenttia vuoteen 2035 ja 75 prosenttia vuoteen 2050 mennessä, verrattuna vuoteen 2019.⁵⁴

2.5 Ratkaisujen muut vaikutukset

Tarvittava siirtymä on merkittävä muutenkin kuin päästöjen kannalta. Erityisesti erilaiset tehokkuutta ja tuottavuutta kasvattavat ratkaisut säästävät päästöjen lisäksi luonnonvaroja, mikä vähentää myös luonnolle aiheutettua painetta. Monet ratkaisut maataloudessa sekä metsien ja kosteikkojen käytössä torjuvat luontokatoa ilmastokriisin hillinnän lisäksi. (Tarkemmin ks. [maankäyttösektorin ilmastoratkaisujen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen](#).)

Suuri osa tarvittavista ratkaisuista, erityisesti erilaiset teknologiavaihdokset, edellyttävät merkittäviä investointeja. Investoinnit tuovat myös työtä ja voivat tukea kestävästä elpymisestä koronakriisistä ja talouden kestävästä kasvua pidemmälläkin aikavälillä. Kaikki vaadittavat investoinnit eivät kuitenkaan ole lisäisiä, vaan suurelta osin kyse on tarvittavien korvausinvestointien tekemisestä fiksummin.

Vaikka ratkaisut ovat tiedossa, monet niistä eivät vielä ole täysin kypsiä, ja edelläkävijyys antaa mahdollisuuden kehittää ratkaisuja kasvaville maailmanmarkkinoille. Näin voidaan luoda vientiä ja työpaikkoja, ja Suomella voi olla kokoaan suurempi rooli ilmastokriisin ratkaisussa.

2.6 Suurimmat esteet ja tarvittavat korjausliikkeet

Ratkaisujen käyttöönotolle hahmotettiin seitsemän poikkileikkaavaa estettä.

1. Positiivisista visioista ja johtajuudesta on puutetta niin koko yhteiskunnan tasolla, kunnissa kuin yrityksissä. Visioita tarvitaan luomaan suuntaa ja innostamaan toimintaan. Valtion tulisi myös asettaa tarvittavat pitkän aikavälin tavoitteet, luoda selkeä kuva tulevasta muutoksesta ja valmistella ohjauskeinot hyvissä ajoin.

2. Taloudelliset kannustimet puuttuvat monelta tarvittavalta ratkaisulta. Tarvitaan kannustimet luonnonvarojen käytön vähentämiselle, fossiilisten raaka-ainesten korvaamiselle, maatalouden ilmastotoimille, negatiivisille päästöille sekä kestäville kulutus- ja liikkumisvalinnoille.

3. Nykyiset tuet ohjaavat liian suureen puun käyttöön ilmaston kannalta tehottomissa kohteissa. Tarvitaan ohjausta, joka kohdentaa rajalliset kestävät bioresurssit ilmaston kannalta parhaalla tavalla. Kannustimia tarvitaan peruslämmöntuotannon sijaan puun käytölle fossiilisten raaka-ainesten korvaajana ja hiilinieluna.

4. Nykyinen infrastruktuuri ei anna riittävää pohjaa. Kustannustehokas

54 On huomioitava, että näitä kokonaispäästölukuja ei voida suoraan verrata Suomen päästövähennystavoitteisiin tai useimpiin muussa kirjallisuudessa esiintyviin päästölukuihin, sillä tässä kokonaispäästöt sisältävät maankäytön päästöt.

siirtyä edellyttää resurssitehokasta ja kestävästä liikkumisen mahdollistavaa yhdyskuntarakennetta, säästeliääseen ja älykkäaseen energiankäyttöön kykeneviä rakennuksia, riittävää jakeluverkkoa liikenteen sähkölle ja uusille polttoaineille sekä infrastruktuuria vedyn ja talteen otetun hiilidioksidin siirrolle.

5. Uusien ratkaisujen riskiä ei ole jaettu riittävästi. Tarvitaan vahvempaa tukea uusien ratkaisujen tuotekehitykseen, demonstrointiin ja kaupallistamiseen, jotta niiden käyttöönotto nopeutuu.

6. Tietoa ja osaamista puuttuu.

Tarvitaan ymmärrystä ilmastokriisin vakavuudesta ja ilmastotoimien kiireellisyydestä, ja siirtymän vaatimaa uutta osaamista on kehitettävä laajasti. Ilmasto-osaaminen tulisi integroida kaikille koulutusasteille. Panostuksia tarvitaan niin huippututkimukseen ja ratkaisujen pilotointiin kuin rakentamisen sekä maa- ja metsätalouden ammatti-laisten täydennyskoulutukseen.

7. Hallinnolliset esteet. Ilmastoratkaisujen tieltä pitää raivata luvitukseen liittyviä ja muita hallinnollisia esteitä. Tuulivoimarakentamista ja aluevalvontaa pitää yhteensovittaa sekä voimaloiden ja sähköverkkojen luvitusta sujuvoittaa. Kaavoitusta pitää joustavoittaa sallimaan rakennetun ympäristön kehittäminen nopeasti, ja kierrätysmateriaalien hyödyntämiselle on luotava selkeät pelisäännöt. Ydinvoimalainsäädäntö on uudistettava helpottamaan pienreaktoreiden käyttöönottoa. Lisäksi ilmastotoimien vaatimia muutoksia parhaiden politiikkaratkaisujen analysointiin ja käyttöönottoon laaja-alaisesti kaikilla hallinnon tasoilla tulisi valtavirtaistaa.

Valtiolla on ratkaiseva rooli sääntelyn ja kannusteiden asettajana, hallinnollisten esteiden raivaajana ja Suomen edustajana EU-päätöksenteossa. Kunnat ovat tärkeitä käytännön toteuttajia: niiden päätökset pitkälti määrittävät yhdyskuntarakenteen ja

lähiliikenteen infrastruktuurin, ja ne voivat ohjata omistamiaan energiayhtiöitä kohti hiilineutraaliutta. Kuntien on myös mahdollista toimia valtiota ketterämmin, ja kiristää esimerkiksi oman kaavoituksensa energiatehokkuusvaatimuksia valtiotason sääntelyä nopeammin.

Yritykset puolestaan kehittävät ratkaisut ja pääosin toteuttavat käytännön investoinnit. Kuluttajat taas lopulta päättävät, millaisille tuotteille ja palveluille on kysyntää.

Osa esitetystä korjausliikkeistä on mahdollista ja järkevää tehdä nopeasti, jos poliittinen tahto on olemassa. Näitä voivat olla esimerkiksi kuntien omat päätökset, valtiolliset lisäpanostukset kuten T&K-tukien nosto, jo valmistellut toimet kuten lämpöpumppujen sähköveron lasku, ja selvästi haitallisten tukien, kuten suometsien kunnostusojitusten tuen, poisto. Osa toimista, kuten uuden sääntelyn ja kannustimien kehittäminen, voi vaatia perusteellista valmistelua. Monessa tapauksessa vaikutukset ovat kuitenkin hitaita, joten työ olisi tärkeää aloittaa välittömästi.

Tarkemmin esteitä ja mahdollisia korjausliikkeitä esitellään sektorikohtaisesti seuraavissa luvuissa.

2.7 Miten siirtymästä tehdään reilu?

Kaikessa päätöksenteossa on varmistettava, että ihmiset pysyvät muutoksessa mukana. Tähän voidaan hahmottaa kolme askelta.

Ensimmäiseksi on varmistettava, että muutos ei pääse yllättämään. Oikeudenmukaisen siirtymän edellytys on, että toimet ovat hyvin ennakoitavissa. Siksi toimintaa ohjaamaan on tärkeää selkeyttää pitkän aikavälin tavoite ja näkemys siirtymästä sitä kohti. Samalla pitää estää investoinnit, jotka voisivat lukita pitkäksi aikaa siirtymää mutkistaviin ratkaisuihin.

Toiseksi on pyrittävä minimoimaan siirtymän kustannuksia. Kustannustehokkaiden ratkaisujen ja ohjauskeinojen valinta

mahdollistaa yhteisten rahojen järkevän käytön ja mahdollisimman pienen kokonaisrasituksen ihmisille, yrityksille ja yhteiskunnalle.

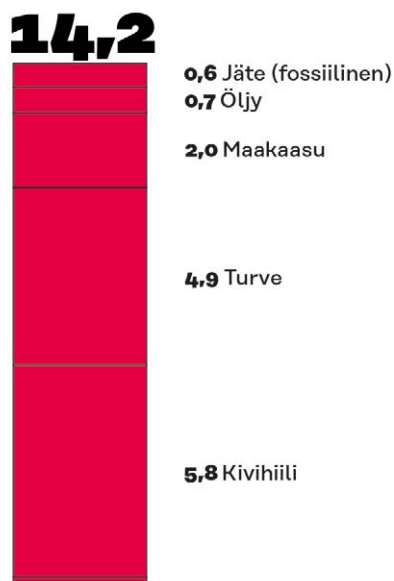
Kolmanneksi on tarkasteltava rasituksen jakautumista ja varmistettava, ettei se ole kenellekään liian suuri. Siirtymässä katoaa väistämättä vanhoja työpaikkoja, mutta

samalla syntyy uusia. Päätösten vaikutukset eri ihmisryhmille ja alueille on selvitettävä ja mahdolliset kohtuuttomat haitat hyvitetävä. Ihmisille on varmistettava edellytykset tuoda näkemyksensä esiin ja osallistua heitä koskevaan päätöksentekoon. Ihmisiä on tuettava osaamisen kehittämisessä ja uuden toimeentulon hakemisessa.

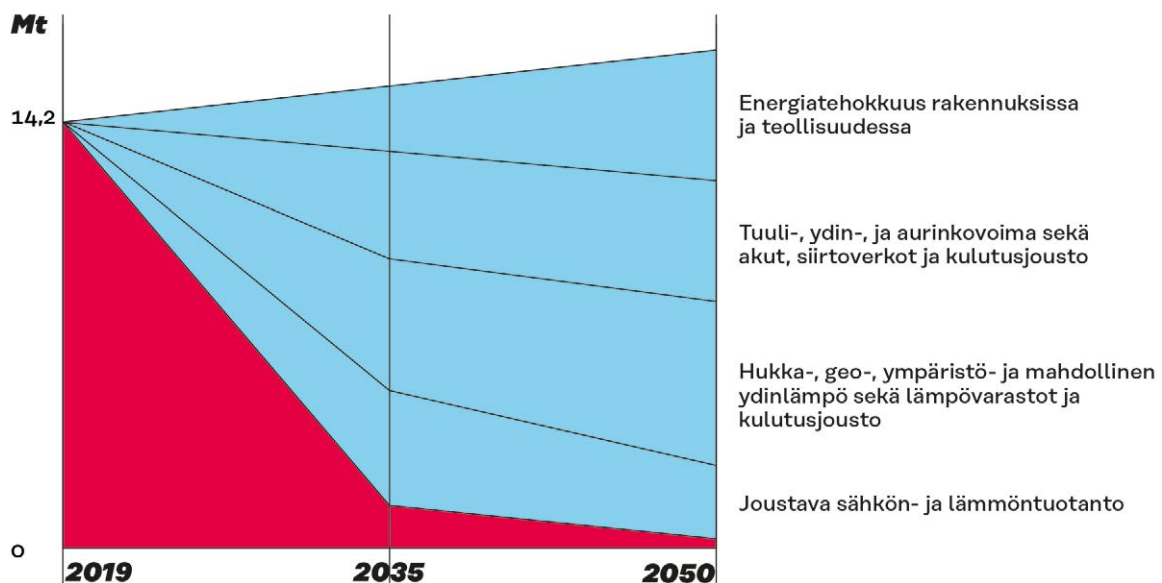
3 Sähkö ja kaukolämpö



Kuva 4. Sähkön ja kaukolämmön päästöt 2019 (Mt)



Kuva 5. Päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä



Kuvassa ratkaisujen päästövähennyspotentiaali on esitetty suhteessa nykyiseen päästöintensiteettiin. Lisätietoa laskelmista on liitteessä B.

3.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet

Vuonna 2019 sähkön ja kaukolämmön tuotanto aiheutti 14,2 Mt päästöjä, eli noin viidenneksen Suomen päästöistä (ks. kuva 4). Sähkön ja kaukolämmön päästöistä 90 prosenttia syntyi lämmön ja sähkön yhteistuotannossa, jota pääasiassa ajaa kaukolämmön tarve, 9 prosenttia lämmön erillistuotannossa ja vain noin yksi prosentti sähkön erillistuotannossa. Polttoaineittain tarkasteltuna 75 prosenttia päästöistä syntyi kivihii- len ja turpeen käytöstä. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt käsitellään osiossa [rakennettu ympäristö](#).

Sähkön ja kaukolämmön päästöjen vähentäminen on moniin muihin sektoreihin verrattuna suhteellisen yksinkertaista ja edullista, sillä puhtaat teknologiat ovat monin paikoin, etenkin sähköntuotannossa, jo fossiilisten polttoaineiden käyttöä edullisempia. Energiateollisuuden tiekartan vähähiiliskenaariossa sähköntuotannon päästöt laskevat nykytasosta 85 prosenttia ja kaukolämmön päästöt 90 prosenttia vuoteen 2035 mennessä ([AFRY 2020](#), [Energiateollisuus](#)). Vuoteen 2050 mennessä jäljellä on enää pieni määrä jätteenpolton päästöjä, ja sektori on liki päästötön.

Energiateollisuutta on ohjattu päästövähennyksiin jo pitkään. Päästöt ovatkin laskeneet alle puoleen huippuvuoteen 2003 verrattuna, ja vuonna 2019 ne olivat 14 prosenttia alhaisemmat kuin vuonna 1990⁵⁵ ([Tilastokeskus 2021a](#)). Pääasiallinen ohjauskeino sähkön ja kaukolämmön päästöjen vähentämiseksi on EU:n päästökauppa, jossa teollisuus- ja energiatuotantolaitokset sekä Euroopan sisäinen lentoliikenne käyvät kauppaa kutistuvasta määrästä päästöi- keuksia. Heinäkuussa 2021 yhden hiilidioksiditonin päästöoikeuden hinta oli 50–60

euroa. EU-komissio on esittänyt, että päästö- kattoa ja sen kutistumistahtia kiristetään entisestään ([Euroopan komissio 14.7.2021](#)).

Suomessa kivihiilen käyttö energiantuo- tannossa on päätetty kieltää vuodesta 2029 eteenpäin. Päästökaupan lisäksi lämmöntuo- tannon polttoaineita verotetaan energia- ja hiilisisällön mukaan. Poikkeuksiakin on – turpeella on oma, huomattavasti alhaisempi veronsa, ja jätteenpolto on verotonta, eikä kuulu päästökaupan piiriin. Lisäksi yhteis- tuotannolla on pieni verotuki lämmön erillistuotantoon verrattuna. Uusiutuvan energian lisäämistä tuetaan biomassan polton verottomuudella sekä uuden teknologian investointituilla⁵⁶. Kaukolämpöä tuottavien lämpöpumppujen käyttämän sähkön verotus on päätetty laskea teollisuuden huomattavasti alhaisempaan sähköveroluokkaan.

3.2 Ratkaisut ja niiden tilanne

Sähkön ja kaukolämmön päästövähennysten mahdollinen jakautuminen eri ratkaisuille on esitetty kuvassa 5. Sähkön ja kaukoläm- mön pääasiallisia kuluttajia ovat teollisuus ja rakennukset, ja niiden energiatehokkuustoi- milla voidaan vähentää energian kysyntää – energia, jota ei koskaan tarvitse tuottaa, ei tuota myöskään päästöjä tai vie luonnolta pinta-alaa. Näitä ratkaisuja käsitellään tarkemmin luvuissa [Teollisuus](#) ja [Rakennettu ympäristö](#). Tuuli- ydin- ja aurinkovoima vastaavat kasvavaan puhtaaseen sähkön kysyntään, ja polttoon perustumattomat lämmöntuotantomuodot tarjoavat kestäväää kaukolämpöä. Kulutusjoustop, energian varastoinnin ja siirtoverkkojen avulla nämä voivat kattaa suuren osan energian kysyn- nästä, mutta päästötöntä joustavaa sähkön-

55 Tilastokeskuksen kasvihuonekaasuinventaariossa ja tässä vertailussa energiateollisuuden päästöt sisältävät myös öljynjalostuksen ja muun polttoainetuotannon päästöt, jotka olivat vuonna 2019 noin 2 Mt – muuten ne on tässä raportissa allokoitu teollisuudelle.

56 Ks. energiatuki ([Business Finland](#)) ja Suomen kestävä kasvun ohjelma ([Valtioneuvosto 2021d](#)).

ja lämmöntuotantoa tarvitaan edelleen. Seuraavaksi esitellään ratkaisut tarkemmin.

Tuuli-, ydin- ja aurinkovoima

Uutta puhdasta sähköntuotantoa tarvitaan energiaksi fossiilisten polttoaineiden tilalle teollisuuteen, lämmitykseen ja liikenteeseen – Lund ym. (2021) arvioivat, että sähkön kysyntä voi yli kaksinkertaistua vuoteen 2050 mennessä. Puhdasta sähköä tarvitaan myös korvaamaan nykyisin fossiilisilla polttoaineella ja turpeella tuotettu sähkö. Lisää sähköä voidaan tuottaa päästöttömästi maa- ja merituulivoimalla, aurinkovoimalla ja ydinvoimalla.

Teknisesti puhtaan sähköntuotannon potentiaali Suomessa on valtava, eikä muodosta pullonkaulaa päästöjen vähentämiselle. Fingridin verkkovision (2021a) skenaarioissa maatuulivoimalla tuotetaan jopa 160 TWh, merituulivoimalla 108 TWh ja aurinkovoimalla 13 TWh sähköä vuonna 2045, kun Suomen koko sähkönkulutus vuonna 2019 oli 86 TWh.

Vuoden 2021 alussa tuulivoimahankkeita oli suunnitteilla 21 GW:n eli 60 TWh:n⁵⁷ edestä, josta 2,8 GW oli merituulivoimaa (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021). Maatuulivoiman rakentaminen etenee ilman tukia, mutta pitkät kaavoitus- ja luvitusprosessit hidastavat hankkeiden toteuttamista. Tuulivoiman rakentaminen myös keskittyy maan länsi- ja pohjoisosiin, sillä Puolustusvoimien aluevalvonta rajoittaa rakentamista erityisesti Itä-Suomessa, Suomenlahdella ja osissa Lappia. Keskittyminen aiheuttaa haasteita siirtoverkoille ja sähkön tuotantoprofiilille.

Vaikka merituulivoimahankkeita on suunnitteilla, niiden ei odoteta ainakaan lähivuosina etenevän ilman yhteiskunnan tukea. Aurinkovoiman suhteellinen kasvu kiinteistöissä on nopeaa ja ensimmäisiä

suuren mittakaavan hankkeita on suunnitella. Uusia ydinvoimaloita ei käynnissä olevien Olkiluoto 3- ja Hanhikivi 1 -hankkeiden lisäksi ole Suomessa suunnitteilla. Olkiluodon kahdelle ensimmäiselle reaktorrille on myönnetty jatkoluvat vuoteen 2038, ja Loviisan reaktoreiden jatkon luvitusprosessi on aloitettu.

Hukkalämpöjen hyödyntäminen

Lämpöpumppujen tekninen kehitys on mahdollistanut matalan lämpötilan hukkalämpöjen hyödyntämisen kaukolämmössä. Merkittäviä määriä hukkalämpöä on saatavilla konesaleista, teollisuuden prosesseista, puhdistetusta jätevedestä ja joistain suurista kiinteistöistä. Samassa prosessissa voidaan lämmön lisäksi tuottaa kaukojäähdytystä.

Lämmönlähteiden saatavuus vaihtelee alueittain, mutta kokonaisuutena potentiaali on suuri –kaukolämmöksi vielä hyödynnettävissä olevaa ylijäämälämpöä arvioidaan olevan 35 TWh (Valtioneuvosto 2021d), kun kokonaisuutena kaukolämpöä tuotettiin 37 TWh vuonna 2019 (Energiateollisuus 2020). Energiateollisuuden tiekartan vähähiiliske-naariossa hukkalämmöllä tuotetaan 11 TWh kaukolämpöä vuonna 2035 (AFRY 2020).

Lämpöpumpuilla tuotettiin 1,2 TWh kaukolämpöä vuonna 2019 (Energiateollisuus 2020), mutta määrä ei ole käytännössä kasvanut vuodesta 2015. Huomioiden myös lämmönvaihdimilla pääasiassa voimalaitosten savukaasuista talteenotettu lämpö, ylijäämälämpöä hyödynnettiin kaukolämmöksi 3,8 TWh vuonna 2019 (Energiateollisuus 2021). Monet energiayhtiöt selvittävät hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuuksia. Lämpöpumppeihin perustuvien ratkaisujen taloudellisuutta parantaa merkittävästi päätös siirtää kaukolämpöä tuottavat lämpöpumput teollisuuden sähköveroluokkaan.

⁵⁷ Vuonna 2019 tuulivoiman toteutunut keskimääräinen kapasiteettikerroin oli 33 prosenttia (Suomen Tuulivoimayhdistys). Tällä kapasiteettikertoimella 21 GW tuulikapasiteettia tuottaisi vuodessa 60 TWh sähköä.

Geoterminen energia ja muu ympäristölämpö

Lämpöpumppujen avulla lämpöä voidaan kerätä myös maaperästä, vesistöistä ja ulkoilmasta, kuten kiinteistötasolla on tehty jo pitkään. Erityisesti maaperä tarjoaa energiaa tasaisesti ympäri vuoden. Syvemmälle poratessa maaperän lämpötila nousee ja tehontuotto pinta-alayksikköä kohden kasvaa, jolloin energiaa saadaan riittävästi myös tiiviiseen kaupunkirakenteeseen. 1–3 kilometrin syvyisillä kaivoilla voidaan lämpöpumppuihin yhdistettynä tuottaa kaukolämpöä, ja 5–7 kilometrin syvyydestä saadaan jo suoraan kaukolämmöksi soveltuvia lämpötiloja. Ympäristölämmöt soveltuvat erityisen hyvin alueellisiin matalalämpöverkkoihin, joita voidaan perustaa ainakin uusille rakennettaville alueille.

Ympäristölämpöjen potentiaalia ei ole vielä kattavasti selvitetty, mutta sen uskotaan olevan erittäin suuri. Energiateollisuuden tiekartan vähähiiliskenaariossa geotermistä kaukolämpöä tuotetaan 4 TWh vuonna 2035 ja 8 TWh vuonna 2050 (AFRY 2020).

Tällä hetkellä geotermisen energian teknologioita sekä teollisen kokoluokan ilmalämpöpumppuja pilotoidaan. St1:n syvä geoterminen pilottilaitos Espoossa on tarkoitus ottaa käyttöön vuonna 2022 (St1 24.6.2021), Qheatin ensimmäiset geolämpökaivot ovat valmistuneet Espooseen ja Vantaalle (Talouselämä 27.2.2021), Tampereella selvitetään Suomen olosuhteisiin sopivaa geolämmön poraustekniikkaa (Aamulehti 16.6.2021), ja Calefan ulkoilman energiaa hyödyntävä lämpöpumppulaitos valmistuu Turun Runosmäen aluelämpöverkkoon vuonna 2022 (Calefa 29.3.2021). Helen selvittää merivesilämpöpumppujen hyödyntämistä Helsingissä (Helen 28.12.2020).

Pienet ydinlämpölaitokset

Ydinreaktoreilla voidaan tuottaa sähkönlisäksi myös kaukolämpöä tai teollisuushöyryä yhteis- tai erillistuotantona. Tulevaisuu-

dessä pienet ydinvoimalat voivatkin soveltua erityisesti suurehkojen kaukolämpöverkkojen peruslämmöntuotantoon – hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen ne kuitenkin tuskin ehtivät avuksi.

Maailmalla on kehitteillä useita sähköä ja lämpöä tuottavia pienreaktorimalleja, ja Suomessa VTT kehittää kaukolämmön tuotantoon räätälöityä pienreaktoria (VTT 25.2.2020), jonka demonstraatioon tähdätään 2030-luvun alussa. Hanke valottaa myös voimaloiden kustannuksia ja sitä, kuinka pienissä lämpöverkoissa hyödyntäminen voi onnistua. Elokuussa 2020 käynnistynyt EcoSMR-hanke kokoaa suomalaisia toimijoita kehittämään liiketoimintaa pienreaktorien ympärille (VTT 23.9.2020). Nykyinen ydinvoimalaitosten lupamenettely, turvallisuusvaatimukset ja ydinjätehuollon vastuut on kuitenkin luotu suurille sähköntuotantoreaktoreille, ja ne soveltuvat huonosti pienille reaktoreille.

Joustava kulutus

Sähkön ja lämmön joustava kulutus eli kysyntäjousto tarkoittaa kulutuksen hetkelistä vähentämistä tai siirtoa toiseen ajanhetkeen sen mukaan, millä hinnalla energiaa on tarjolla. Tämä mahdollistaa sään mukaan vaihtelevan uusiutuvan energian ja heikosti joustavan ydinvoiman sekä sähköllä toimivien lämpöpumppujen hyödyntämisen suurempaan osaan kulutuksesta, pienentää kalliin ja päästöintensiivisen huipputehon tarvetta sekä auttaa välttämään energian siirron pullonkauloja. Tämä parantaa järjestelmän kustannustehokkuutta ja toimitusvarmuutta.

Merkittävää sähkön kysynnän joustopotentiaalia on teollisuudessa, tulevaisuudessa erityisesti joissakin sähköistyvissä lämmitysprosesseissa ja vedyn tuotannossa (ks. myös vihreä vety teollisuudessa), kaukolämmön lämpöpumpuissa, rakennusten sähköä hyödyntävässä lämmityksessä sekä sähköautojen latauksessa. Rakennusten älykästä energiakäyttöä eli joustavaa kulutusta käsi-

tellään tarkemmin osiossa rakennettu ympäristö.

Joustoa tarvitaan kaikilla aikaskaaloilla, ja eri sovellukset pystyvät tarjoamaan eri mittaista joustoa. Jotkut teollisuuden prosessit voidaan pysäyttää muutamaksi päiväksi, kun rakennukset voivat siirtää kulutustaan vain joitakin tunteja. Kulutusjousta hyödynnetään jo tunnin sisäiseen sähkön tuotannon ja kysynnän tasapainottamiseen kantaverkkoyhtiö Fingridin ylläpitämällä reservimarkkinoilla.

Kulutusjouston merkitystä havainnollistaa Forsmanin ym. (2021) arvio, että ilman teollisuuden vedyn tuotannon kulutusjousta sähkön keskihinta nousisi jopa 7 €/MWh eli yli 10 prosenttia vuonna 2040. Vedyn tuotanto joustavasti vaatii investointeja vedyn varastointiin sekä suurempaan elektrolyserikapasiteettiin, mutta olisi analyysin mukaan kannattavaa. Joustavuuden kannattavuutta parantaisi entisestään vedyn kansainvälinen siirtoinfrastruktuuri ja sen mahdollistama tuotannon hajauttaminen ja pääsy halvempaan varastointiin – Suomessa kun ei ole vedyn varastointiin soveltuvia geologisia muodostelmia kuten suolaluolia, toisin kuin esimerkiksi Saksassa, Puolassa ja Norjassa.

Energian varastointi: akut, lämpövarastot ja vety

Joustavan kulutuksen tavoin energian varastointi auttaa tyydyttämään suuremman osuuden kysynnästä vaihtelevalla uusiutuvalla energialla ja ydinvoimalla, välttämään huipputeholaitosten käynnistämistä sekä parantamaan toimitusvarmuutta.

Akut soveltuvat lähinnä päivän sisäiseen sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseen ja erityisesti hyvin nopeaan joustoon. Niillä voidaan myös lievittää verkon paikallisia pullonkauloja ja parantaa sähkönjakelun säävarmuutta. Sähköllä tuotettua vetyä ja lämpövarastoja voidaan varaston koosta riippuen hyödyntää tuntien, päivien tai viikkojen väliseen energian varastointiin.

Lämmön kausivarastolla voidaan siirtää kesällä kerättyä lämpöä käytettäväksi syksyllä tai talvella. Lämmön varastointi mahdollistaa myös sähkön joustavamman kulutuksen kaukolämmön tuotannossa.

Varastojen potentiaalia Suomessa ei ole laajasti selvitetty. Forsman ym. (2021) olettavat akkukapasiteettia rakennettavan 1 GW vuoteen 2040 mennessä ja lämpövarastojen yleistyvän kaukolämpöverkoissa.

Kaukolämpöverkoissa pieniä lämpövarastoja on ollut käytössä jo pitkään, ja varastoihin kohdistuu paljon kiinnostusta. Ensimmäisiä suuria lämpövarastoja on otettu käyttöön Vaasassa (Yle 29.9.2020) ja Helsingissä (Helen 11.3.2021), ja lämmön kausivarastoja aletaan rakentaa Helsinkiin (Helen 18.3.2021) ja Vantaalle (Yle 22.9.2020). Lappeenrannassa pilotoidaan suolaan perustuvaa lämpöakkua (Lappeenrannan Energia 23.6.2021). Suomeen on rakennettu muutamia akkuja toimimaan reservimarkkinoilla, ja Fortum tarjoaa akuista toimitusvarmuuspalveluita myös sähköverkkoyhtiöille (Elenia 29.5.2018, Caruna 28.8.2020).

Sähkövarastojen rakentaminen pelkän sähkön vaihtelevan markkinahinnan varaan ei välttämättä ole kannattavaa (Forsman ym. 2021). Akut voivat kuitenkin tulevaisuudessaakin saada tuloja myös reservimarkkinoilta sekä paikallisverkkoyhtiöiltä. Vedyn käyttö energian varastointiin ei välttämättä tule kannattavaksi nykyisillä markkinamekanismeilla.

Joustava sähkön- ja lämmöntuotanto: vesivoima, biomassa ja puhtaat kaasut

Toimitusvarma energiajärjestelmä tarvitsee myös joustavaa sähkön- ja lämmöntuotantoa, vaikka kysyntäjousto ja energian varastointi olisivatkin laajamittaisesti käytössä. Aina ei tuule. Erityisesti kaukolämmön tarve vaihtelee merkittävästi vuodenajan ja sääolosuhteiden mukaan, eikä investointivaltaisia lämpöpumppuja, geolämpölaitoksia tai

ydinreaktoreita ole taloudellista mitoittaa harvemmin tarvittavan huipputehon mukaan.

Sähköntuotannossa vesivoima on tärkeä jouston lähde kaikilla aikajäniteillä. Vesivoimaa ei voi Suomeen juuri rakentaa lisää, mutta sen nykyisen säätökyvyn säilyttäminen on energijärjestelmän kannalta tärkeää. Vesivoima kuitenkin vaikuttaa jokiluontoon, ja haitallisia vaikutuksia on syytä lieventää. Ilmastonmuutos voi vaikuttaa vesivoiman hyödynnettävyyteen, kun sekä kuivat että sateiset kaudet lisääntyvät.

Lisäksi sekä sähkön- että lämmöntuotantoon tarvitaan joustavaa lämpövoimaa, jonka tuottamiseen voidaan käyttää metsäteollisuuden ja -talouden sivuvirtana syntyvää biomassaa. Kestävää biomassaa on kuitenkin tarjolla vain rajallinen määrä, eikä sitä tulisi ohjata sellaiseen tuotantoon, joka voidaan kattaa polttoon perustumattomilla ratkaisuilla. Toistaiseksi fossiilisia polttoaineita ja turvetta on korvattu lähinnä biomassalla, ja [AFRY \(2021\)](#) ennakoi energiantuotannon kiinteiden puupolttoaineiden käytön edelleen kasvavan 30–40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä turpeen ja kivihiilen käytön vähentämisen takia.

Harvoin tarvittavan huipputehon tuotannossa maakaasun odotetaan pitävän pintansa vielä ainakin 2030-luvulle, mutta ennen pitkää maakaasu voidaan korvata vedyllä, synteettisellä kaasulla tai biokaasulla. Uuden kaasuun perustuvan sähkön-tuotantokapasiteetin rakentaminen ei kuitenkaan ole välttämättä markkinaehtoisesti kannattavaa lyhyiden käyttöaikojen takia. Kaukolämmön huipputehossa myös sähkökattilat voivat tulla kyseeseen, mutta lämmön huippukulutuksen aikaan sähkönkin saatavuus saattaa olla koetuksella, eikä sähkökattiloiden sähköverotusta ole suunniteltu kevennettävän lämpöpumppujen tapaan.

Energian siirtoverkkojen kehittäminen

Tulevaisuudessa sähkön tuotanto ja kulutus kasvavat, ja sähkön uutta tuotantokapasiteettia rakentuu nykyistä kauemmas kulutuskeskittymistä. Siispä myös sähkön siirron tarve kasvaa – erityisesti pohjoisesta etelään sekä sähköistyviin kaupunkeihin ja teollisuuslaitoksiin. Siirtoyhteydet myös mahdollistavat tuotannon ja kulutuksen optimoinnin suuremmalla alueella. Mitä paremmat siirtoyhteydet on käytössä, sitä helpompaa on integroida uusiutuva sähköntuotanto järjestelmään ja sitä pienempiä ovat hinnan vaihtelut. Tämä puoltaa myös kansainvälisten siirtoyhteyksien vahvistamista.

Kantaverkkoyhtiö Fingrid suunnittelee kantaverkon kehittämisen aina seuraaville 10 vuodelle. Uutta siirtokapasiteettia pohjoisesta etelään rakennetaan lähivuosina, ja uusi yhteys Ruotsiin valmistuu näillä näkymin vuonna 2025. Suomen sisäisen siirtokapasiteetin vahvistustarpeen ennakoidaan jatkuvan 2030-luvulla, ja lisää rajasiirtoyhteyksiä Ruotsiin ja Viroon suunnitellaan. ([Fingrid 2021b](#)) Kantaverkon suunnittelu-, luovutus- ja rakentamisprosessit ovat kuitenkin pitkiä verrattuna energiantuotannon ja teollisuuden laitosten rakentamiseen, mikä tekee verkkoinvestointien oikea-aikaisesta toteuttamisesta haastavaa.

Tulevaisuudessa tarvetta on todennäköisesti myös vedyn siirrolle. Kuten sähkön tapauksessa, siirtoverkko mahdollistaisi tuotannon, varastoinnin ja kulutuksen optimoinnin laajemmalla alueella. Siten Eurooppaan yhteydessä oleva vedyn siirtoverkko mahdollistaisi toisaalta vedyn kustannustehokkaamman hankinnan suomalaiselle teollisuudelle ja energiantuotannolle ja toisaalta vedyn viennin Eurooppaan. Suomen kaasun siirtoverkkoyhtiö Gasgrid Finland on ollut mukana visioimassa vedylle siirtoinfrastruktuuria, joka yhdistäisi myös Suomen tärkeimmät tuulivoima-alueet ja rannikon teollisuuskeskittymät Eurooppaan vuoteen 2035 mennessä ([Gas for Climate 2021](#)).

Sähkön paikallisissa jakeluverkoissa sähköistyminen ei aiheuta mittavia vahvistustarpeita, sillä Suomen jakeluverkot on mitoitettu sähkölämmitykselle ja siten ne ovat valmiiksi vahvoja (Forsman ym. 2021). Jakeluverkkojen päivitystarpeet voidaan pitkälti hoitaa osana muutenkin tarvittavia korjaus- ja toimitusvarmuusinvestointeja. Älykäs energiankäyttö rakennuksissa auttaa

välttämään sähkön kysyntäpiikkejä paikallisverkoissa.

Myös kaukolämpöverkot voivat vaatia laajentamista erityisesti ylijäämälämpöjen hyödyntämiseksi. Esimerkiksi pääkaupunkiseudun energiayhtiöt ovat selvittäneet Porvoon Kilpilahden öljynjalostamon hukkalämmön siirtoa pääkaupunkiseudulle kaukolämmöksi (Helen 17.1.2020).

3.3 Esteet ja korjausliikkeet

Puolustusvoimien aluevalvonnan asettamat rajoitukset tuulivoimarakentamiselle

ESTE Tuulivoima häiritsee tutkia, joten toistaiseksi Puolustusvoimat ei pääasiassa ole puoltanut rakentamista Itä- tai Kaakkois-Suomeen, osiin Lappia tai Suomenlahdelle. Tämä johtaa tuotannon keskittymiseen vain osiin Suomea, mikä aiheuttaa haasteita sekä tarvittavien siirtolinjojen kapasiteetille että sähkön tuotantoprofilille ja siten säätövoiman tarpeelle. Keskittyvä tuulivoima myös niin sanotusti kannibalisoii sähköstä saamaansa hintaa⁵⁸, mikä pidemmällä aikavälillä heikentää kannustimia investoida siihen. Tasaisemmin eri alueilla sijaitseva tuotanto johtaisi kokonaisuudessaan kustannustehokkaampaan järjestelmään.

KORJAUSLIIKE Etsitään valtion ja tuulivoimatoimijoiden yhteistyöllä tutkakykyiseen ratkaisumalli, vähintään alueilla, joilla tuulivoiman rakentaminen parantaisi merkittävästi energiajärjestelmän kustannustehokkuutta tasapainottamalla sähköntuotantoa ja mahdollistamalla sähkön siirtoverkon paremman hyödyntämisen, ja ylläpitäisi kannusteita investoida tuulivoimaan. Lisätään Puolustusvoimien lausuntoprosessin

vuorovaikutteisuutta kertomalla hakijalle, millä muutoksilla hanke olisi hyväksyttävissä.

Tuulivoiman ja sähkön-siirto-verkkojen hitaat ja jäykät kaavoitus- ja luvitusprosessit

ESTE Tuulivoimahankkeista pääsääntöisesti valitetaan ja ne käyvät läpi hallinto-oikeusprosessin. Käsittelyprosessit ovat venyneet niin pitkiksi, että kaavoituksen jäykkyys muodostuu ongelmaksi. Teknologian kehittymisen myötä voimalakoot kasvavat, mikä usein johtaa tarpeeseen hieman muuttaa voimaloiden paikkoja alkuperäisistä suunnitelmista – tällöin on myönnettävä poikkeus kaavaan, tai aloitettava luvitus alusta. Myös sähköverkkojen luvitus on hidasta, mikä tekee verkkoinvestointien oikea-aikaisesta toteuttamisesta hankalaa tai voi jopa hidastaa teollisuuden sähköistymisinvestointeja.

KORJAUSLIIKE Lisätään resursseja hallinto-oikeuksiin. Tehdään selkeät pelisäännöt kaavapoikkeamien myöntämiseen. Joustavoitetaan kaavoitusta jättämällä voimaloiden tarkat paikat kiinnittämättä tuulivoimayleiskaavassa tai merituulivoiman tapauksessa vesiluvassa. Merituulivoiman osalta puretaan päällekkäisiä prosesseja poistamalla vaatimuksista rakennuslupa ja maakuntakaava, jolloin jäljelle jää kunnan tuulivoimayleiskaava ja vesilupa. Sujuvoite-

⁵⁸ Kun edullista sähkön tuotantoa on sen hetkiseen kulutukseen nähden tarjolla paljon, sähkön hinta laskee. Yhtä aikaa tuottava suuri tuulivoimakapasiteetti laskee hintaa silloin, kun tuulivoiman tuotantoa on, jolloin tuulivoimatuottaja saa sähkölleen keskimääräistä sähkön markkinahintaa heikomman hinnan.

taan siirtoverkkojen luvitusta esimerkiksi yhden luukun lupakäytännöllä, ennakkoneuvonnalla, hoitamalla lupaprosessien osia rinnakkain ja luvittamalla kerralla rinnakkaisia siirtolinjoja.

Biomassan ohjautuminen lämmön peruskuorman tuotantoon

ESTE Biomassan energiakäyttöä tuetaan sen verottomuudella, joten biomassan poltto on usein kannattavampaa kuin esimerkiksi hukkalämpöjen hyödyntäminen. Biomassaa polttavat laitokset voivat saada myös investointitukia. Biomassan energiakäyttö onkin ollut kasvussa, ja uusiin biomassaa polttaviin lämpölaitoksiin investoidaan aktiivisesti. Kestävää kotimaista biomassaa ei kuitenkaan riitä korvaamaan kaikkea fossiilisilla polttoaineilla tai turpeella tuotettua kaukolämpöä. Lisäksi biomassaa tulisi ohjata erityisesti sellaisiin käyttökohteisiin, joissa muita päästövähennysratkaisuja ei ole.

KORJAUSLIIKE Varmistetaan, että polttoon perustumattomat ratkaisut ovat lähtökohtaisesti kannattavampi vaihtoehto kuin biomassan poltto esimerkiksi ohjaamalla verotusta tähän suuntaan. Voidaan selvittää esimerkiksi energiansisältöveron käyttöönottoa ja kaiken kaukolämmön tuotannon sähköverotuksen siirtoa teollisuuden veroluokkaan⁵⁹. Luodaan energiaverotuksesta pitkän aikavälin näkymä ohjaamaan investointeja. Ei kannusteta investoimaan biomassaa polttaviin laitoksiin esimerkiksi investointituilla. Kehitetään biomassan varastointiratkaisuja, jotta se soveltuisi paremmin huippukuormien tuotantoon.

Polttoon perustumattomien kaukolämpöratkaisujen hidas kaupallistaminen ja käyttöönotto

ESTE Polttoon perustumattomia kaukolämpöratkaisuja on olemassa, mutta monet näistä eivät kuitenkaan ole vielä teknologisesti kypsiä ja kaupallisesti saatavilla. Ratkaisujen nopea kehittyminen ja käyttöönotto edellyttävät kohtuullista varmuutta niiden kysynnästä ja taloudellista riskinjakoa. Lisäksi ratkaisujen käyttöönotto voi vaatia uudenlaista osaamista tai uudenlaisia toimintamalleja ja kumppanuuksia.

KORJAUSLIIKE Varmistetaan riittävä tuen taso uusien kaukolämpöteknologioiden demonstraatioille ja käyttöönotolle. Voidaan harkita esimerkiksi valtion koordinoimaa pilotointiohjelmaa tai tarjouskilpailumuo- toisesti jaettua tukea. Selvitetään kattavasti ratkaisujen potentiaalia uusimman tiedon pohjalta ja pyritään tutkimushankkeissa teknologianeutraaliuteen. Osoitetaan poliittinen tuki uusille lupaaville ratkaisuille nostamalla ne esiin kansallisissa strategioissa ja asettamalla niiden käyttöönotolle tavoitteita. Uudistetaan ydinvoimalainsäädäntö helpottamaan pienten reaktoreiden käyttöönottoa.

Markkinaehtoinen kehitys ei välttämättä johda kustannustehokkaaseen ja toimitusvarmaan sähkön-tuotantojärjestelmään

ESTE Sähkömarkkinoilla tuottaja saa pääasiassa tuloja vain myymästään energiasta, eikä esimerkiksi sähkön siirron kustannusten pienentämisestä tai sähkön laadun tai energian toimitusvarmuuden ylläpidosta

⁵⁹ Toistaiseksi teollisuuden veroluokkaan on suunniteltu siirrettävän vain kaukolämpöä tuottavat lämpöpumput ja konesalit. Sähköstä voidaan tuottaa lämpöä muillakin teknologioilla, kuten sähkökattiloilla ja sähköllä ladattavilla lämpöakuilla. Lisäksi polttoon perustumattomien teknologioiden käyttöönotto on kannattavampaa, mikäli kaukolämpöverkon lämpötila on matalampi, mutta se vaatii sähköä käyttävän pumppauksen lisäämistä saman lämpö määrän siirtämiseksi.

palkita⁶⁰. Toisaalta voimat ovat myös suuria investointeja, joiden kannattavuus riippuu tulevaisuudessa toteutuvista sähkön-hinnoista. Epävarmuus vaikuttaa myös rahoituksen hintaan ja saatavuuteen. Uusien teknologioiden käyttöönotto sisältää lisäksi tavallista korkeampia kustannuksia ja riskejä. Haasteena voi tulevaisuudessa olla esimerkiksi tuulivoiman kustannustehoton keskittyminen tiettyihin osiin maata, toimitusvarmuuden heikkeneminen joustavan tuotannon ja varastojen kannattavuushaasteiden takia, tai merituulivoiman tai vedyn tuotannon ja siirron synergioiden hyödyntämättä jääminen.

KORJAUSLIIKE Seurataan tiiviisti energiajärjestelmän kehitystä ja arvioidaan kokonaistaloudellisuutta ja toimitusvar-

muuden näkymiä. Mikäli markkinaehtois- sen kehityksen ei katsota johtavan koko järjestelmän kannalta kustannustehokkaan ja toimitusvarmaan rakenteeseen, kehitetään kannusteita. Käytännössä tämä voi tarkoittaa esimerkiksi tukia joillekin tuulivoiman alueille, kapasiteettimaksuja joustavalle tuotannolle ja varastoille, tai demonstraatiotukia tai riskinjakoinstrumentteja merituulivoiman tueksi. Suunnitellaan sähkönsiirto- ja vetyinfrastruktuuria kokonaisuutena, jotta energian siirto on kustannustehokasta.

60 Poikkeuksena reservimarkkinat.

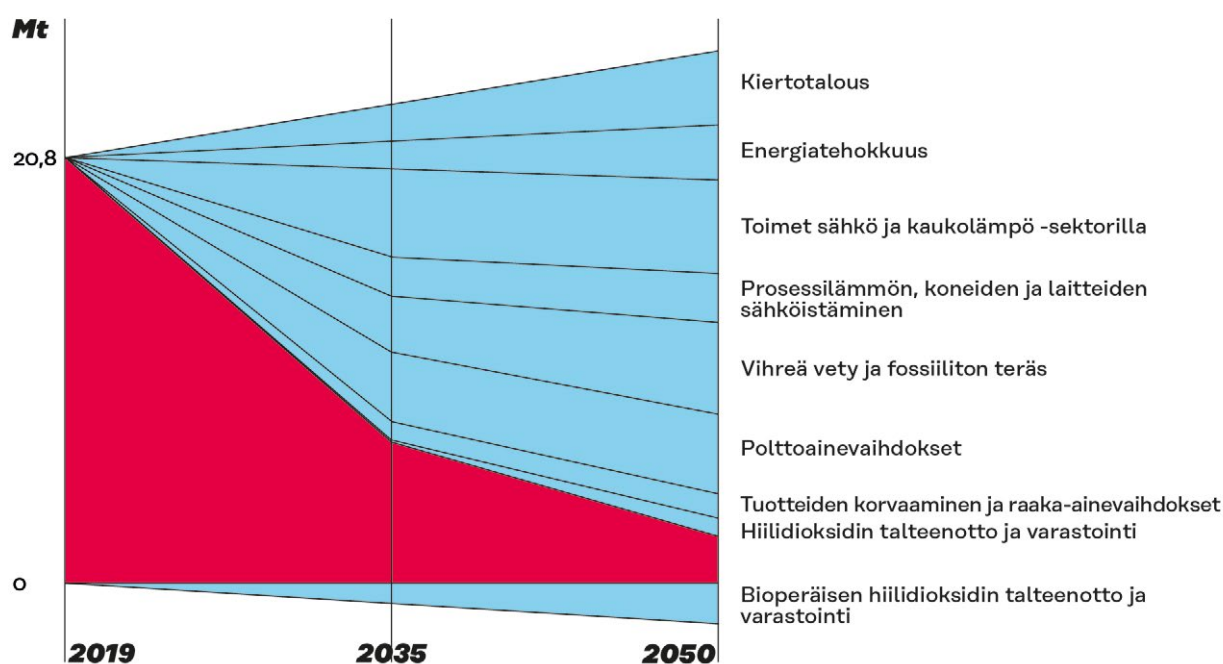
4 Teollisuus



Kuva 6. Teollisuuden päästöt 2019 (Mt)



Kuva 7. Päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä



Kuvassa ratkaisujen päästövähennyspotentiaali on esitetty suhteessa nykyiseen päästöintensiteettiin. Lisätietoa laskelmista on liitteessä B.

4.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet

Teollisuuden suorat päästöt olivat vuonna 2019 noin 13,3 Mt⁶¹, eli noin viidenneksen Suomen päästöistä (ks. kuva 6). Suurin osa päästöistä tulee energiankäytöstä (7,8 Mt), eli teollisuuden omasta sähkön ja lämmön tuotannosta sekä työkoneista. Päästöjä tulee myös valmistusprosesseista (4,4 Mt), eniten teräksen (1,8 Mt), vedyn (1,0 Mt) ja sementin (0,6 Mt) tuotannosta. Teollisuuden päästöihin lasketaan myös fluorattujen kasvi-huonekaasujen eli F-kaasujen käytön päästöt muun muassa kylmä- ja ilmastointilaitteissa (1,2 Mt), vaikka laitteita käytetään muillakin sektoreilla. (Tilastokeskus 2021f.) Epäsuorasti teollisuustuotanto myös tuottaa muilla sektoreilla laskettavia päästöjä ostetun energian tuotannossa (arviolta 7,5 Mt), kuljetuksissa ja jätteiden käsittelyssä, sekä välituotteiden kautta päästöjä Suomen ulkopuolella.

Teollisuuden päästöjä pidetään teknis-taloudellisesti verrattain haastavina vähentää, ja siksi niitä oletetaan vähennettävän hitaammin kuin monia muita – Koljosen ym. (2020) skenaarioissa ja Ilmastopaneelin päästövähennyspolussa (Seppälä ym. 2019b) noin 40–50 prosenttia vuoteen 2035 mennessä ja 80–90 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Jäljelle jäävät päästöt hyvitetään negatiivisilla päästöillä, eli poistamalla hiiltä pysyvästi ilmakehästä.

Vaadittavat päästövähennykset tarkoittavat, että fossiilisten polttoaineiden käyttö pitää suunnitellun puolittaa vuoteen 2035 mennessä ja niistä pitää käytännössä luopua vuoteen 2050 mennessä. Myös prosessipäästöjä ja F-kaasujen vuotoja on vähennettävä noin 40 prosenttia vuoteen 2035 ja 70 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Toimialojen itse tuottamien vähähiilisyystiekarttojen mukaan tarvittavat päästövähennykset on

mahdollista saavuttaa (Paloneva & Takamäki 2020).

Teollisuuden energiantuotannon päästöt ovat jo vähentyneet noin puoleen 1990-luvun alusta, pääasiassa koska metsäteollisuus on korvannut fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla. Teollisuuden prosessipäästöt ovat 1990-luvun alkuun verrattuna laskeneet noin viidenneksellä, mutta F-kaasujen päästöjen kasvu on kumonnut prosessipäästöissä saavutetun päästövähennyksen. (Tilastokeskus 2020h.)

Kuten sähkön ja kaukolämmön tuotannossa, tärkein käytössä oleva ohjauskeino teollisuuden päästöjen vähentämiseksi on EU:n päästökauppa, jossa teollisuus käy kauppaa rajallisesta ja vuosittain pienenevästä määrästä päästöoikeuksia. Lämmön tuotannon ja työkoneiden polttoaineilla on lisäksi kansalliset verot. F-kaasujen päästöjä EU pyrkii vähentämään erillisellä asetuksella, jolla on rajattu niiden tuontia markkinoille. Sähköistymisen kannusteita lisättiin Suomessa vuoden 2021 alusta laskemalla teollisuuden sähköverotus EU:n sallimalle minimitasolle. Lisäksi hallitus on päättänyt ottaa käyttöön uuden energiantensiivisten yritysten sähköistämistuen korvaamaan käytöstä poistuvaa päästökaupan epäsuorien kustannusten kompensatiota sähkön hinnassa.

Valtio tarjoaa myös tutkimus- kehitys- ja innovaatorahoitusta, tukee investointeja päästöjä vähentäviin energiaratkaisuihin energiatuella (Business Finland), ja valtion tuore Ilmastorahasto edistää suuren koko-luokan ilmastoinvestointeja. Yrityksiä ja yhteisöjä kannustetaan energiatehokkuustoi-miin vapaaehtoisilla energiatehokkuussopi-muksilla, joihin liittyneet saavat tavan-omaista suurempaa tukea energiatehokkuus-toimille. EU:n elpymis- ja palautumistukivälineestä saatavista varoista suunnitellaan kohdennettavan vuosina

61 Sisältää kasvihuonekaasuinventaarion luokat teollisuus ja rakentaminen (pl. rakennustyömaat, joiden arvioidut päästöt siirretty rakennettuun ympäristöön), öljynjalostus, kiinteiden polttoaineiden tuotanto sekä teollisuusprosessit ja tuotteiden käyttö.

2021–2023 yhteensä 326 miljoonaa euroa teollisuuden päästövähennysratkaisuihin, erityisesti vetyyn ja hiilidioksidin talteenot-

toon, teollisten prosessien sähköistämiseen ja kiertotalouden edistämiseen (Valtioneuvosto 2021d).

INFOBOKSI

Negatiivisten päästöjen tekniikat

IPCC:n 1,5 asteen erikoisraportissa negatiivisten päästöjen kumulatiiviseksi tarpeeksi arvioitiin globaalisti skenaariosta riippuen noin 100–1000 Gt vuoteen 2100 mennessä. Vuonna 2018 globaalit päästöt olivat arviolta 42 Gt. (IPCC 2018.)

BECCSin lisäksi negatiivisten päästöjen tuottamiseen, eli hiilidioksidin pysyvään poistamiseen ilmakehästä, on muitakin tekniikoita. Hiilen sidontaa luonnollisilla prosesseilla kasvillisuuteen ja maaperään käsitellään osioissa maatalous sekä metsien ja kosteikkojen käyttö.

Eri tekniikoilla on erilainen kypsyyssaste ja hiilensidontapotentiaali. Tekniikoiden käytöllä voi olla myös positiivisia tai negatiivisia sivuvaikutuksia ympäristölle ja ihmisille – esimerkiksi biomassan laajamittainen kasvattaminen BECCSia varten voisi uhata ruokaturvaa, puhtaan veden saatavuutta ja luonnon monimuotoisuutta (Material Economics 2021).

- **Hiilen talteenotto ilmakehästä (DACCS, direct air carbon capture and storage).** Hiilidioksidia voidaan ottaa talteen suoraan ympäröivästä ilmasta kemiallisen väliaineen avulla ja varastoida pysyvästi esimerkiksi kallioperään. Globaalisti geologisia varastoja hiilidioksidiille arvioidaan olevan riittävästi ilmastotavoitteiden saavuttamiseen. Käytännössä DACCSin potentiaalia rajoittaa kuitenkin teknologian energiantensiivisyys ja korkea hinta: DACCSin käyttökustannusten on arvioitu olevan 500–850 €/tCO₂ ensimmäisille laitoksille, ja 80–250 €/tCO₂ teknologian ja toimitusketjujen vakiinnuttua. Maailmanlaajuisesti DACCSilla arvioidaan saavutettavan vuosittain 0,5–5 Gt negatiivisia päästöjä vuoteen 2050 mennessä. (Fuss ym. 2018.) Kesäkuussa 2020 maailmassa oli 15 pientä DAC-laitosta, jotka kaappasivat hiilidioksidia vuositasona yhteensä 9 kt, eli 0,009 Mt. Yhdysvalloissa on kehitteillä laitos, joka voisi kaapata megatonnin. (IEA 2020.)
- **Biohiili (PyCCS, pyrogenic carbon capture and storage).** Biohiiltä valmistetaan hajottamalla orgaanista materiaalia hapettomassa tilassa kuivatislauksen eli pyrolyysin avulla. Biohiiltä voidaan lisätä maaperään, jossa se voi hiilen varastoinnin lisäksi parantaa maan kasvukuntoa ja veden sitomiskykyä. Biohiilen hiilensidontapotentiaali riippuu suoraan saatavilla olevan biomassan määrästä, ja realistisena vuosittaisena tavoitteena on maailman mittakaavassa pidetty noin 0,3–2 Gt vuoteen 2050 mennessä. Kustannusarviot vaihtelevat välillä 25–100 €/tCO₂. (Fuss ym. 2018.) Suomessa perustettu Puro välittää biohiilellä toteutettua hiilensidontaa hintaan 100 €/tCO₂ (Puro.earth).
- **Tehostettu rapautuminen (enhanced weathering).** Hiilidioksidia sitoutuu luonnossa kemiallisessa rapautumisprosessissa, kun kivimateriaali reagoi veden, hapen, hiilidioksidin ja muiden kemikaalien kanssa. Tehostetussa rapautumisessa murskattua kivituhetta levitetään maaperään, mikä kiihdyttää hiilensidontaa ja voi myös parantaa peltojen satotasoa ja maaperän rakennetta. Kaikkia vaikutuksia ekosysteemeihin ei kuitenkaan vielä tunneta. (Streffer ym. 2018, Jeffery ym. 2020.) Tehostetun rapautumisen vuosittaisen hiilensidontapotentiaalin on arvioitu olevan vuoteen 2050 mennessä 2–4 Gt ja hinnan 40–170 €/tCO₂. (Fuss ym. 2018.) Tehostetun rapautumisen potentiaalia on toistaiseksi tutkittu lähinnä teoreettisesti, ja ensimmäisiä kenttäkokeita tehdään muun muassa Isossa-Britanniassa ja Malesiassa (Nature 8.7.2020).
- **Merien emäksisyyden lisääminen (ocean alkalisation).** Meriveden emäksisyyden lisääminen parantaa sen luonnollista kykyä sitoa hiiltä ilmakehästä ja vähentää meren happamoitumista (Burns & Corbett 2020). Emäksisyyden lisäämiseen on useita keinoja, kuten silikaattimineraali oliviinin, kalkin tai kalsiumhydroksidin levittäminen mereen. Menetelmiä on kuitenkin tutkittu vasta vähän, joten niiden ekosysteemivaikutuksiin, hiilensidontapotentiaaliin ja kustannuksiin liittyy merkittävää epävarmuutta. Fuss ym. (2018) raportoivat arvioiden vaihtelevan suuresti, vuosittaiselle hiilensidontapotentiaalille välillä 0,1–10 Gt ja kustannuksille 12–420 €/tCO₂.

Eurooppalaisen teollisuuden kansainvälistä kustannuskilpailukykyä on tähän asti suojeltu jakamalla teollisuuden tarvitsemat päästöoikeudet ilmaiseksi. EU-komissio on esittänyt, että vuodesta 2026 käyttöön otetaan sen sijaan hiilitullit, jotka asettavat Eurooppaan tuoduille tuotteille saman hiilen hinnan kuin eurooppalaiselle tuotannolle ([Euroopan komissio 14.7.2021](#)). Ensimmäiseksi tullit otettaisiin käyttöön raudalle ja teräkselle, sementille, alumiinille, lannoitteille ja sähkölle.

4.2 Ratkaisut ja niiden tilanne

Teollisuuden päästövähennysten mahdollinen jakautuminen eri ratkaisuille on esitetty kuvassa 7. Kiertotalouden eli materiaalien käytön tehostamisen ja energiatehokkuusrannusten avulla voidaan välttää päästöjen kasvaminen tuotannon kasvusta huolimatta, ja energiasektorin toimet vähentävät ostoenergian päästöjä. Teollisuuden oman energiantuotannon ja prosessien päästöjä voidaan välttää sähköistämällä prosesseja, vaihtamalla polttoaineita ja korvaamalla tuotteita tai raaka-aineita toisilla. Päästöjä, joita ei voida muuten taloudellisesti välttää, voidaan estää karkaamasta ilmakehään hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin avulla tai niitä voidaan kompensoida tuottamalla negatiivisia päästöjä, erityisesti ottamalla talteen ja varastoimalla biopestä hiilidioksidia. Seuraavaksi esitellään ratkaisut tarkemmin.

Kiertotalous, eli materiaalitehokkuus ja materiaalien arvon säilyttävä kierto

Materiaalitehokkuutta voidaan kasvattaa suunnittelemalla materiaalit ja tuotteet kestävämmiksi, korjattaviksi ja kierrätettäviksi

sekä vähentämällä materiaalitarvetta tuotekehityksen ja valmistusprosessien kehittyneemmän suunnittelun avulla. Kestävämmästä suunnittelusta voidaan tehdä kannattavaa ja tuotteiden käyttöastetta nostaa myymällä tuotteen sijaan erilaisia palveluratkaisuja, jotka säilyttävät raaka-aineiden omistajuuden niiden tuottajalla.

Yli 80 prosenttia tuotteen hiilijalanjäljestä määrittyy sen suunnitteluvaiheessa ([Euroopan komissio 2014](#)). Materiaalitehokkuutta kasvattamalla voidaan välttää materiaalin koko elinkaaren aikana syntyviä päästöjä. Kierrättämällä materiaali tuotteen elinkaaren päässä uudelleen raaka-aineeksi voidaan korvata neitseellisten luonnonvarojen käyttöä ja vähentää päästöjä raaka-aineiden hankinnasta, elinkaaren lopusta ja usein myös tuotantoprosessista. Samalla vähennetään luonnonvarojen käyttöä ja voidaan vapauttaa luonnonvarojen hankintaan tarvittavaa maa-alaa luonnolle.

[Material Economics \(2019\)](#) arvioi, että tehostamalla materiaalien käyttöä suurissa arvoketuissa kuten rakentamisessa, liikenteessä⁶² ja pakkaauksissa, voidaan teräksen, sementin, muovin ja ammoniakkin käyttöä vähentää EU:ssa yhteensä jopa 35 prosenttia ja niiden käytön päästöjä 31 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Tarvittavasta teräksestä ja muovista jopa 70 prosenttia voitaisiin tuottaa kierrätetystä materiaalista, jos tuotesuunnittelua ja kierrätysprosesseja kehitetään – materiaalien kierto leikkaisi päästöjä 33 prosenttiyksikköä lisää. Kemian-teollisuuden vähähiilitiekartassa 41 prosenttia raaka-aineista visioidaan olevan kierrätettyä vuonna 2050, kun nykyinen osuus on kahdeksan prosenttia ([Vasara ym. 2020b](#)).

Kannusteet materiaalitehokkuuteen sekä kierrätysmateriaalien ja sivuvirtojen käyttöön ovat kuitenkin usein heikot, sillä materiaalien hinta ei heijasta niiden elinkaaren aiheutta-

62 Esimerkiksi yhteiskäyttöautoihin siirtymisen arvioitiin mahdollistavan ajoneuvojen pidemmän eliniän, paremman huollon ja käyttöasteen kasvun, jotka yhdessä vähentäisivät henkilökilometrikilokilometrikohtaista materiaalitarvetta 50–70 prosenttia.

mia hiilidioksidipäästöjä tai muita ympäristöhaittoja, ja lainsäädäntö asettaa tuotteille vain vähän kestävyysvaatimuksia. Luonnonvarojen vuosittainen kokonaiskäyttö kasvoi-kin Suomessa kolmanneksella vuosina 1990–2019 (Tilastokeskus 2020i). Yksittäiset yritykset kuitenkin kokeilevat materiaalihokkaita liiketoimintamalleja, kuten jakamisalustoja ja tuotteiden tarjoamista palveluna.

Tuore kiertotalouden strateginen ohjelma (Valtioneuvosto 2021a) asetti ensimmäistä kertaa tavoitteen luonnonvarojen kulutuksen kasvun taistamiselle⁶³ ja linjasi kehitettäväksi taloudellisia kannusteita luonnonvarojen säästeliäälle käytölle. EU-komission uudessa kiertotalouden toimintasuunnitelmassa (Euroopan komissio 2020b) esitellään lainsäädäntöaloite (*sustainable product policy legislative initiative*), joka laajentaisi ekosuunnitteludirektiiviä koskemaan energiaa käyttävien tuotteiden lisäksi monia muitakin tuoteryhmiä, kuten esimerkiksi tekstiilejä, huonekaluja ja tärkeitä välituotteita kuten terästä, sementtiä ja kemikaaleja. Toimintasuunnitelmassa esitellään myös kiertotaloutta edistäviä toimenpiteohjelmia keskeisille arvoketjuille, kuten elektroniikalle, akuille, pakkausmateriaaleille, tekstiileille ja muoveille.

Energiatehokkuus

Teollisuuden osuus energian loppukulutuksesta Suomessa on 45 prosenttia (Tilastokeskus 2020b). Energiatehokkuutta voidaan teollisuudessa kasvattaa monella tavalla, kuten ottamalla käyttöön energiatehokkaampia laitteita, optimoimalla prosesseja esimerkiksi digitalisaation ja automaation avulla tai ottamalla talteen prosessin hukkalämpö ja hyödyntämällä lämpö uudelleen prosessissa, rakennuksen lämmityksessä tai myymällä se kaukolämpöverkkoon.

Energiaintensiiviselle teollisuudelle energiansäästö on rahansäästö, ja energiatehokkuutta onkin parannettu tasaisesti.

Huippuvuodesta 2006 teollisuuden energiankäyttö on pudonnut 17 prosenttia (Tilastokeskus 2020b). Teollisuuden vähähiilitiekarttoissa energiatehokkuuden paranemisen arvioidaan jatkuvan myös perusskenaarioissa, esimerkiksi kemianteollisuudessa 0,5 prosenttia vuodessa (Vasara ym. 2020b) ja teknologiateollisuudessa toimialasta riippuen 0,2–0,5 prosenttia vuodessa (Vasara ym. 2020a). Tiekarttojen vähähiiliskenaarioissa valmistavan teknologiateollisuuden energiatehokkuus paranee vuosittain prosentin lisää ja metsäteollisuudessa energiantarve vähenee perusskenaarion päälle 10 prosenttia vuoteen 2035 mennessä (Vasara ym. 2020c).

Energiankäytöllä mitattuna yli 80 prosenttia teollisuudesta oli vuoden 2017 lopussa liittynyt vapaaehtoiseen energiatehokkuussopimukseen (Tirkkonen ym. 2019), ja Motivan näille yrityksille tekemän kyselyn perusteella yli puolet aikoo kasvattaa energiatehokkuusinvestointeja lähitulevaisuudessa (Motiva 2019). Hukkalämpöjen kasvavaa hyödyntämistä mahdollistaa lämpöpumppujen tekninen kehitys, jonka ansiosta matalalämpöisistä hukkavirroista voidaan tuottaa tehokkaasti entistä korkeampia lämpötiloja.

Prosessilämmön, koneiden ja laitteiden sähköistäminen

Polttoaineita voidaan korvata sähköä hyödyntävillä ratkaisuilla niin koneissa ja laitteissa kuin prosessilämmön tuotannossa. Sähköllä voidaan tuottaa lämpöä lämpöpumpuilla, sähkökattiloissa tai joissain sovelluksissa sähköistämällä itse lämmitysprosessi hyödyntämällä esimerkiksi induktiota, infrapuna- tai mikroaaltoteknologiaa.

Kemianteollisuuden vähähiilitiekartassa prosessilämmön sähköistämisellä on merkittävä rooli, ja sen arvioidaan vähentävän päästöjä yli 1 Mt vuoteen 2035 ja yli 1,5 Mt vuoteen 2050 mennessä (Vasara ym. 2020b). Teknologiateollisuuden tiekartan vähähiiliske-

63 Tavoitteena on, että kotimaan primääriraaka-aineiden kokonaiskulutus ei vuonna 2035 ylitä vuoden 2015 tasoa. Vientituotteiden valmistukseen käytetyt luonnonvarat eivät kuulu tavoitteen piiriin. Lisäksi tavoitellaan resurssien tuottavuuden ja materiaalien kiertotalousasteen kaksinkertaistamista vuoden 2015 tilanteesta vuoteen 2035 mennessä.

naarioissa sähköistäminen korvaa merkittävästi maakaasun ja öljyn käyttöä metallinjalostuksessa, valmistavassa teollisuudessa sekä kaivosten työkoneissa ([Vasara ym. 2020a](#)). Metsäteollisuuden vähähiiliskenaariossa sähköistamisella on pieni rooli ([Vasara ym. 2020c](#)).

Osa toiminnoista on jo sähköistetty. Kierrätysterästä valmistetaan sähkökäyttöisissä valokaariuuneissa, ja kaivoksissa laitteita vaihdetaan sähköisiin myös ilmanlaadun takia. Yleisesti ottaen on helpompaa sähköistää alhaisen lämpötilan prosesseja, ja noin 400 asteen lämpötilan tuottamiseen asti sähköisiä teknologioita on kaupallisesti saatavilla ([Roelofsen ym. 2020](#)). Yli 1000 asteen lämpötiloille, joita tarvitaan esimerkiksi sementin tuotannossa, sähköistämisteknologioita on vasta kehitteillä.

Tietyissä tapauksissa, kuten lämpöpumppuissa, sähköä käyttävät teknologiat ovat polttoaineprosesseja huomattavasti energiatehokkaampia, ja niihin vaihtaminen voi olla taloudellisesti kannattavaa matalillakin päästöoikeuksien hinnoilla. Monissa teollisuussoveluksissa sähköistäminen ei kuitenkaan tuo energiansäästöä, ja sähköistämisen toteutumisen vaatisi nykyistä selvästi matalampia sähkön hintoja tai korkeampaa hintaa päästöille.

Vihreä vety ja fossiiliton teräs

Vetyä voitaisiin tuottaa pilkkomalla vettä vedyksi ja hapeksi elektrolyysillä, eli käyttämällä sähköä. Prosessi on päästötön, jos käytetty sähkö on puhdasta, ja tällöin puhutaan vihreästä vedystä. Tällä hetkellä suurin vedyn käyttökohde on polttoaineiden jalostus, ja vetyä tuotetaan pääasiassa erottamalla vety maakaasusta, jolloin vapautuu hiilidioksidia – Suomessa vuosittain 1 Mt. Kemianteollisuuden tiekartassa vedyn tuotannossa siirrytään elektrolyysiin 2030-luvulla ([Vasara ym. 2020b](#)).

Vedyllä voidaan myös pelkistää terästä nyt käytössä olevan koksen eli hiilen sijaan. SSAB, LKAB ja Vattenfall kehittävät teknologiaa, jolla terästä valmistetaan rautamalmista fossiilittomasti korvaamalla masuuni-sulatto-yhdistelmä

vetytelkistyksellä ja valokaariuunilla. Pilottilaitos on avattu Luulajassa vuonna 2020, ja tavoite on konvertoida Suomen kaksi masuunia vuosina 2029 ja 2039 ([SSAB](#)). Ratkaisulla voidaan käytännössä poistaa Raahen terästehtaan päästöt, jotka olivat 3,3 Mt vuonna 2019 – lähes 10 prosenttia Suomen nettopäästöistä ([Energiavirasto 2020](#)).

Lisäksi puhtaalla vedyllä voidaan vähentää päästöjä muilla sektoreilla. Liikenteessä vetyä voidaan käyttää suoraan (ks. [vetyajoneuvot](#)) tai synteettisissä polttoaineissa, joissa yhdistetään vety hiileen tai tyypeen (ks. [synteettiset polttoaineet](#)). Muitakin nykyisiä öljypohjaisia kemikaaleja voidaan tuottaa synteettisesti (ks. [raaka-ainevaihdokset](#)). Samalla paljon sähköä käyttävä elektrolyysi voi tuoda joustavuutta sähkön kulutukseen (ks. [joustava kulutus](#)), ja energiasektorilla vetyä voidaan käyttää akkuja pidempiaikaiseen energian varastointiin ja sähkön tuotantoon silloin, kun sähköä ei muuten ole saatavilla tarpeeksi (ks. [energian varastointi](#)).

Vihreä vety ei vielä ole kilpailukykyistä maakaasupohjaisen kanssa. Euroopan komissio kuitenkin ennakoii, että teknisen kehityksen ja skaalan kasvun myötä elektrolyysin pääomakustannus puolittuu vuoteen 2030 mennessä ja edullisen sähkön alueilla vihreä vety voisi kilpailla fossiilisen kanssa ([Euroopan komissio 2020b](#)). SSAB:n selvityksen mukaan myös fossiilivapaa teräs tulee kilpailukykyiseksi, mikäli päästöoikeuden hinta nousee ja puhtaan sähkön hinta laskee ([SSAB](#)).

EU ja monet jäsenmaat ovat julkaisseet oman vetystrategiansa, ja rahoitusta vetyratkaisujen kehittämiseen on saatavilla hyvin – myös Suomen Kestävän kasvun ohjelmassa vetytalouden kehittämiseen on luvattu 156 miljoonaa euroa ([Valtioneuvosto 2021d](#)). Helmikuussa 2021 suomalaisyhtiöt perustivat kansallisen vetyklusterin tukemaan vedystä kiinnostuneiden yritysten yhteistyötä ([Yle 19.3.2021](#)), ja huhtikuussa julketettiin pohjoismainen BotH2nia-yhteistyöverkosto markkinoimaan Pohjoismaiden mahdollisuuksia vedyn tuotannossa myös muun Euroopan tarpeisiin ([Yle 23.4.2021](#)).

Paljon on kuitenkin vielä avoinna – vedyn siirtoinfrastruktuurista on vasta visioita⁶⁴, eikä puhtaan vedyn ja siitä valmistettujen polttoaineiden sääntelyä ole vielä olemassa.

Polttoainevaihdokset

Kaiken prosessilämmön tai laitteiden sähköistäminen ei ole mahdollista tai taloudellisesti järkevää. Tällöin päästöjä voidaan vähentää myös vaihtamalla fossiilinen polttoaine biomassaan, biokaasuun tai biodieseliin. Myös kierrätykseen kelpaamaton fossiilipohjainen jättemateriaali eli niin kutsuttu kierrätyspolttoaine on järkevää hyödyntää energiaksi siellä missä polttamiselle ei ole vaihtoehtoja, kuten näillä näkymin sementin tuotannossa. Tulevaisuudessa polttoaineena voidaan käyttää myös vetyä ja siitä valmistettuja synteettisiä polttoaineita.

Polttoainevaihdokset ovat tähän asti olleet tärkeä päästövähennyskeino, jota on hyödyntänyt erityisesti metsäteollisuus, mutta myös esimerkiksi sementin tuotannossa jo 40 prosenttia neitseellisistä fossiilisista polttoaineista on korvattu kierrätyspolttoaineilla (Raivio ym. 2020a).

Teollisuuden vähähiilitiekartoissa metsäteollisuus näkee polttoainevaihdokset pääasiallisena päästövähennyskeinona tulevaisuudessa, ja tavoittelee loppujenkin fossiilisten polttoaineiden korvaamista biomassalla (Vasara ym. 2020c). Kemianteollisuuden ja Teknolוגiateollisuuden tiekartoissa polttoainevaihdokset ovat sähköistämistä pienempiä, mutta kuitenkin tärkeitä keinoja. Teknolוגiateollisuudessa suunnitellaan maakaasun korvaamista biokaasulla metallinjalostuksessa ja valmistavassa teollisuudessa (Vasara ym. 2020a). Kemianteollisuudessa siirrytään ensin hiilestä maakaasuun, ja myöhemmin biomassaan ja biokaasuun (Vasara ym. 2020b).

Kestävien polttoaineiden saatavuus on kuitenkin rajallinen. Erityisesti monien sivuvirtojen ja jätteiden määrä vähenee materiaalitehokkuuden kasvaessa ja materiaalien kierron lisääntyessä, ja biomassaa tulisi energiapolton sijaan ohjata pitkäikäisempiin tuotteisiin.

Tuotteiden korvaaminen ja raaka-ainevaihdokset

Runsaspäästöisiä tuotteita voidaan joissain tapauksissa korvata toisilla. Esimerkiksi rakennusmateriaaleja, tekstiilejä ja muovipakauksia voidaan usein korvata puupohjaisilla vaihtoehtoilla (ks. myös enemmän fossiilisia polttoaineita korvaavat ja pitkäikäisemmät puutuotteet). Nämä ovatkin jo kaupallisessa käytössä, ja entistä parempia puuhun pohjautuvia materiaaleja kehitetään koko ajan. Korvaamisen päästövaikutusta arvioitaessa on kuitenkin huomioitava puun käytön vaikutus maankäyttösektorilla (ks. kaikki puun käyttö ei ole hiilineutraalia).

Myös fossiilisia raaka-aineita, kuten metallinjalostuksen koksia ja kemianteollisuuden raakaöljyjohdannaisia, voidaan korvata biopohjaisilla vaihtoehtoilla. Biopohjaisia muoveja onkin jo jonkin verran käytössä, ja liikenteessä käytetään uusiutuvaa dieseliä. Kemianteollisuuden tiekartassa biopohjaisten raaka-aineiden osuus kasvaa vuoteen 2050 mennessä 42 prosenttiin nykyisestä yhdeksästä – suurimman osan oletetaan olevan leväöljyä (Vasara ym. 2020b).

Raakaöljyjohdannaisia voidaan korvata myös synteettisillä hiilivedyillä, joita saadaan yhdistämällä talteen otettua hiilidioksidia vetyyn⁶⁵ (ks. myös synteettiset polttoaineet). Toistaiseksi synteettisten kemikaalien teknologiaa vasta kehitetään, ja valmistaminen on kallista.

64 Ks. Gas for Climate (2021).

65 Synteettisillä kemikaaleilla saavutettava päästövähennys riippuu niiden tuotantoon käytetystä energiasta, vedyn raaka-aineista ja hiilidioksidin lähteestä. Kun vety on tuotettu elektrolyysillä, puhutaan power-to-X:stä eli P2X:stä. Mikäli fossiiliperäistä hiilidioksidia hyödyntämällä voidaan välttää muuten tapahtuvia päästöjä, sen käyttö on ilmastolle hyödyksi, mutta ennen pitkää kaiken fossiilisen hiilen päästämisen ilmakehään tulee päättävä ja hiilidioksidia hyödyntävissä sovelluksissa käyttää bioperäistä tai suoraan ilmasta kaapattua hiilidioksidia.

INFOBOKSI

Julkiset hankinnat päästövähennysten edistäjänä

Julkisia hankintoja tehdään vuosittain 35 miljardilla eurolla ([Valtiovarainministeriö 2020a](#)), josta kuntien osuus on noin kaksi kolmasosaa ja valtion osuus kolmannes. Tämän ostovoiman ohjaaminen puhtaisiin ratkaisuihin edistää päästövähennyksiä monella tavalla. Varman kysynnän luominen puhtaille ratkaisuille pienentää niihin investoimiseen liittyvää riskiä, mikä lisää kehityspanoksia. Uudet ratkaisut voivat saada julkisen hankinnan kautta ensimmäisiä referenssejä, jotka ovat tärkeitä, kun ratkaisua aletaan myydä muille. Myös hankinnoilla itsellään on huomattava hiilijalanjälki, jota voidaan pienentää (ks. [kulutusperäiset päästöt](#)). Julkisten palvelujen käyttäjiä voidaan myös totuttaa vähäpäästöisempiin ratkaisuihin, kuten kasvispainotteisempaan ruokaan.

Hallitusohjelmassa linjataan hankintalain muuttamisesta siten, että hiili- ja ympäristöjalanjälki sisällytetään hankintakriteereihin ympäristövaikutuksiltaan merkittävässä hankinnoissa. Syyskuussa 2020 julkaistiin kansallinen julkisten hankintojen strategia ([Valtiovarainministeriö 2020a](#)), jonka mukaan hankintojen tulisi edistää hiilineutraaliustavoitetta sekä kiertotaloutta. Strategia sitoo valtionhallintoa ja on kunnille suositusluontoinen.

Käytännössä tavoitteiden toteutus on kuitenkin monimutkaista. Suuria haasteita voi aiheuttaa se, että hankintaorganisaation johdossa ei ole osaamista tai halua edistää vähäpäästöisiä hankintoja, sekä se, että hankintojen käytännön toteutuksesta vastaavilla henkilöillä ei ole valtaa, osaamista tai resursseja tehdä vähähiilisen hankinnan edellyttämiä muutoksia hankintaprosesseihin. Hankintoja tehdään usein tiukoissa budjettiraameissa, joissa ei ole mahdollista hyväksyä korkeampaa hankintahintaa, vaikka pidemmän aikavälin elinkaarikustannukset olisivat matalammat. Hiilijalanjälkikriteerin käyttö hankinnassa ei ole mahdollista, jos sen arviointiin ei ole hyväksyttyä metodia ja laskennan pohjaksi ei ole saatavilla todennettua tietoa. Uuden teknologian valinta hankinnassa voi olla tilaajalle myös taloudellinen riski. Toisaalta yksittäisen julkisen hankkijan kysyntä voi olla liian pientä synnyttääkseen markkinoille puhtaiden ratkaisujen tarjontaa.

Julkisten hankintojen parempi hyödyntäminen mahdollistetaan selkeällä kuntatason poliittisella ohjauksella, konkreettisilla tavoitteilla ja hankintojen vähähiilisyyttä seuraavilla mittareilla. Työtä voidaan helpottaa jakamalla oppeja tehokkaammin, kehittämällä hyviä tarjouspyyntö-, menettely- ja sopimusmalleja ja varaamalla aikaa markkinavuoropuhelulle. Vaikuttavuuden lisäämiseksi julkinen hankkija voi tehdä yhteistyötä yksityisen hankkijan kanssa. Helsingin kaupunki kokeilee parhaillaan hiilijalanjälkikriteerin käyttöä yksittäisissä hankinnoissa ([Helsingin kaupunki 2018a](#)), mutta ilman hiilijalanjälkikriteeriäkin hankinnoissa voi vaatia päästövähennyksiä tuovia ominaisuuksia. Motivan ylläpitämä KEINO-osaamiskeskus pyrkii kehittämään ja skaalaamaan kestäviä hankintakäytäntöjä.

Jo pitkään on selvitetty kansallisen riskirahaston perustamista, jotta uusien ratkaisujen hankkimisen riski jakautuisi laajemmille hartioille. Marinin hallitusohjelma linjaakin, että innovatiivisten hankintojen riskin jakamiseksi otetaan käyttöön uusi työkalu. Kehittyvät kansalliset ja EU-tason tuotetietovaatimukset tuottavat hankintojen vähähiilisyyskriteereiden tarvitsemaa dataa. Lainsäädännöllä voidaan myös asettaa vaatimuksia julkisten hankintojen vähähiilisuudelle tietyillä sektoreilla, kuten ajoneuvohankinnoissa on tehty⁶⁶. Laajempaa muutosta voidaan saada aikaan myös vapaaehtoisilla valtion ja kuntien välisillä green deal -sopimuksilla. Ensimmäinen julkisten hankintojen green deal koskien työmaita allekirjoitettiin syyskuussa 2020 ([Sitoumus2050 b](#)).

66 EU-direktiivi puhtaiden ja energiatehokkaiden moottoriajoneuvohankintojen edistämisestä asettaa nolla- ja vähäpäästöisille ajoneuvoille sitovat vähimmäisosoitukset julkisissa hankinnoissa.

Kemianteollisuuden tiekartassa synteettiset hiilivedyt ovat osa raaka-ainetarjontaa vuodesta 2030 eteenpäin, ja vuonna 2050 niiden visioidaan muodostavan kahdeksan prosenttia käytetyistä raaka-aineista ([Vasara ym. 2020b](#)). Metsäteollisuuden tiekartassa on arvioitu, että tuotannon sivuvirtana syntyvän hiilidioksidin talteenotto hyötykäyttöä varten otetaan käyttöön vuodesta 2040 eteenpäin ([Vasara ym. 2020c](#)).

Toistaiseksi kannusteet erityisesti öljypohjaisten tuotteiden kuten muovien ja tekstiilien korvaamiseen tai raaka-ainevaihdoksiin ovat heikot, sillä materiaalien hinta ei heijasta niiden elinkaaren aikaisia hiilidioksidipäästöjä tai muita ympäristöhaittoja.

Sementin tuotannon päästöjen vähentämiseen ohjaa EU:n päästökauppa. Sementin raaka-aineena käytetään perinteisesti hiilidioksidia vapauttavaa kalkkikiveä. Sen rinnalla voidaan hyödyntää erilaisia tuhkia, kuonia ja savea. Kuonia ja tuhkia onkin jo 15 prosenttia sementin raaka-aineista ([Raivio ym. 2020a](#)), mutta osuutta voidaan kasvattaa. Kivihiilikiellon ja masuunien sulkemisen jälkeen teräksen tuotannon masuunikuonaa ja kivihiilen polton lentotuhkaa ei kuitenkaan ole enää saatavilla. Sementtiteollisuus tutkii mahdollisuutta käyttää kalsinoituja savia.

Ilmastoa voimakkaasti lämmittävät F-kaasut voidaan kylmäaineena korvata esimerkiksi muilla hiilivedyillä, ammoniakilla, vedellä tai hiilidioksidilla. Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa arvioidaan F-kaasupäästöjä vähennettävän 0,3 Mt vuoteen 2030 mennessä välttämällä julkisissa hankinnoissa F-kaasuja ja edistämällä vaihtoehtoisia teknologioita sekä kaasujen talteenottoa koulutuksella ja selvityksillä ([Ympäristöministeriö 2017](#)).

Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS)

CCS (*carbon capture and storage*) tarjoaa ratkaisun välttää päästöjä osassa sellaisia kohteita, joissa muita ratkaisuja ei ole saatavilla tai ne ovat liian kalliita. CCS:n soveltami-

nen on kustannustehokkainta paikoissa, joissa hiilidioksidia syntyy paljon ja sen osuus kaasusta on suuri. Talteen otettu hiilidioksidi voidaan varastoida geologisiin muodostelmiin kallioperään tai merenpohjaan. Suomessa sopivia olosuhteita tähän ei ole, joten varastointi tapahtuisi esimerkiksi Norjan vanhoihin öljykenttiin. Myös mineralisointi huokoiseen kallioperään ([Carbfix](#)) ja jossain määrin betoniin ([CarbonCure](#)) voi olla mahdollista.

Rakennusteollisuuden tiekartassa sementti valmistuksen päästöt oletetaan vältettävän CCS:n avulla vuoden 2035 jälkeen ([Klimscheffskij ym. 2020](#)). Kemianteollisuuden hiilineutraaliusskenaariossa jäljelle jäävät päästöt prosesseista sekä fossiilisen energian käytöstä, luokkaa 1 Mt vuonna 2050, otetaan talteen – tosin tiekartassa talteen otettu hiilidioksidi ajatellaan käytettävän teollisuuden raaka-aineena ([Vasara ym. 2020b](#)). Teknologiaollisuuden tiekartassa CCS:ää pidetään mahdollisena mutta rajallisena (0,1–0,2 Mt) ratkaisuna metallinjalostuksessa ([Vasara ym. 2020a](#)). Toistaiseksi CCS on myös halvin vaihtoehto tuottaa vähäpäästöistä vetyä – fossiilipohjainen vety maksaa Euroopassa noin 1,5 €/kg, ja hiilidioksidin talteenotto nostaisi kustannuksen arviolta kahteen euroon kiloa kohden ([Euroopan komissio 2020b](#)).

Päästökauppa kannustaa CCS:n hyödyntämiseen, kun päästöoikeuden hinta nousee. Kemianteollisuuden tiekartassa CCS:n kustannukseksi on arvioitu 25–120 €/tCO₂, ja Rakennusteollisuuden tiekartassa 44–111 €/tCO₂. Kaupallista CCS-toimintaa ei kuitenkaan vielä ole, joten hintaa ei tiedetä tarkasti. Norjan Brevikiin on valtion tukemana tulossa ensimmäinen täysimittainen sementtilaitoksen CCS-investointi, joka ottaa talteen puolet laitoksen päästöistä vuodesta 2024 eteenpäin ([HeidelbergCement 15.12.2020](#)). Ruotsin Gotlantiin puolestaan suunnitellaan CCS-investointia, joka ottaisi talteen kaikki sementtilaitoksen päästöt vuodesta 2030 lähtien ([HeidelbergCement 2.6.2021](#)).

Bioperäisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (BECCS)

BECCS (*bioenergy with carbon capture and storage*) yhdistää hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin kestävään bioresurssien käyttöön pohjaaviin metsäteollisuuden prosesseihin tai bioenergian tuotantoon, jolloin voidaan tuottaa niin sanottuja negatiivisia päästöjä, eli poistaa hiilidioksidia ilmakehästä. Negatiivisten päästöjen avulla voidaan hyvittää sellaisia päästöjä, joita ei ole vielä onnistuttu poistamaan, ja niitä tarvitaan myös hyvittämään historiallisia päästöjä, jotta olisi mahdollista rajoittaa ilmaston kuumeneminen 1,5 asteen. Katso myös muut negatiivisten päästöjen tekniikat.

CCS-laitos on suuri investointi, joten se kannattaa yhdistää paljon käytössä oleviin tuotantolaitoksiin, kuten prosessiteollisuuden laitoksiin tai mahdollisesti kaukolämmössä perusvoimana toimiviin bioenergalaitoksiin.

Erityisesti metsäteollisuudelle BECCS:n käyttöönotto tarjoaa tulevaisuudessa uuden liiketoimintamahdollisuuden, sillä metsäteollisuuden prosesseissa muodostuu savukaasuja, joissa hiilidioksidin osuus on energiantuotantoa suurempi ja talteenotto siten kannattavampaa.

Koljosen ym. (2020) vähähiiliskenaariossa BECCSistä tulee kannattavaa Suomessa kohti 2040-luvun loppua. Globaalisti BECCSillä on arvioitu tuotettavan vuosittain 0,5–5 Gt negatiivisia päästöjä vuoteen 2050 mennessä (Fuss ym. 2018), jotta ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa. Toimintaa ei kuitenkaan ole vielä suunnitteilla Suomessa. Ruotsissa on avattu ensimmäinen BECCS-pilottilaitos Tukholman kaupungin ja Fortumin tytäryhtiön omistaman bio-CHP-laitoksen yhteyteen (Bioenergy International 10.12.2019). Toistaiseksi EU:n ja Suomen ilmastopolitiikassa ei ole kannustimia negatiivisille päästöille, eli niiden tuottamisesta ei makseta korvausta.

INFOBOKSI

Materiaalien uudelleenkäytöllä on huomattava hallinnollinen taakka

Jättemateriaalia ei voida käyttää raaka-aineena ennen kuin se on poistettu jätelain piiristä, eli materiaali on todettu terveyden ja ympäristön kannalta turvallisesti ja se täyttää tuote- ja kemikaalilainsäädännön asettamat edellytykset. EU-tasolla on asetettu yhteiset kriteerit jäteluokituksen poistamiselle vain kuparille, teräkselle, alumiinille ja lasimurskalle (niin kutsutut jätteeksi luokittelun päättymisen kriteerit). Muista materiaaleista on mahdollista säätää kansallisesti, tai päättää materiaalin käytöstä tapauskohtaisesti. Tällöin luokitus ei kuitenkaan päde kansainvälisesti, ja päätösprosessi voi olla hankala ja epävarma. Suomessa on valmisteltu asetuksia betonimurskeesta ja muovista, ja uudessa jätelaissa selkeytetään tapauskohtaisen päätöksen prosessia.

Materiaalin käyttämiseksi on myös varmistettava, että materiaalin ominaisuudet täyttävät käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset. Esimerkiksi rakennustuotteilta vaaditaan CE-merkintä, joka kertoo tuotteen olevan EU-standardin perusteella hyväksytty. CE-merkinnän hankkiminen vaatii käytännössä pitkälle vietyä tuotteistamista, mikä on kierrätysmateriaalille yleensä kannattamatonta, erityisesti jos varmaa kysyntää uusiotuotteelle ei ole.

Kierrätysmateriaalin tuotteistamista hankaloittaa materiaalin vaihteleva laatu ja puutteellinen tieto jätteiden sisältämistä aineista. Puutteellinen tieto aiheuttaa lisäkuluja, mikäli materiaaleille joudutaan tekemään erilaisia tarkastuksia ja testejä. Vanhoissa tuotteissa on joskus käytetty aineita, jotka on sittemmin kielletty tai tiukemmin säännelty. Rakennettuun ympäristöön rakennetaan parhaillaan tietojärjestelmää (Ympäristöministeriö b), josta muun muassa tieto rakennuksen materiaaleista ja tuotteista olisi saatavilla huolto- ja purkua varten.

Nykyisin käytössä olevien materiaalien saaminen uudelleen kierto- on mittava haaste. Tulevaisuudessa toimintaa voidaan merkittävästi tehostaa, mikäli kierrätettävyyttä huomioidaan jo tuotesuunnittelussa ja materiaalikehityksessä, tuotteen olennaiset tiedot ovat saatavilla koko elinkaarelta ja tiedämme mitä materiaaleja missäkin on käytössä ja koska ne tulevat käyttöikänsä päähän eli uudelleen kierto- on.

4.3 Esteet ja korjausliikkeet

Investointiympäristön hankala ennakoitavuus

ESTE Tuotannon päästöjen vähentäminen esimerkiksi sähköistämällä, raaka-aineita vaihtamalla tai hiilidioksidin talteenotolla vaatii suuria investointeja, ja laitosten käyttöikä on kymmeniä vuosia. Mitä varmempi yritys voi olla investoinnin kannattavuudesta, sitä todennäköisemmin se toteutuu. Kokonaisuudessaan suunta vähäpäästöisempään tulevaisuuteen koetaan selkeäksi, mutta epävarmuutta liittyy muun muassa muutoksen nopeuteen, tulevaan sääntelyyn, päästöjen hinnan kehitykseen sekä tuotantotekijöiden oikea-aikaiseen saatavuuteen⁶⁷.

KORJAUSLIIKE Tehdään pitkäjänteisempää ilmastopolitiikkaa. Asetetaan päästötavoitteiden lisäksi 1,5 asteen tavoitteen mukaiset päästöbudjetit ja nielutavoitteet vuosiin 2040 ja 2050 asti. Tehdään valtiotasolla säännöllisesti päivitettävät sektorikohtaiset pitkän aikavälin tiekartat päästöjen vähentämiseen, tarvittavaan infrastruktuuriin ja ohjauskeinoihin ohjaamaan ja houkuttelemaan tulevia investointeja. Valmistellaan tavoitteiden saavuttamiseen tarvittavat ohjauskeinot hyvissä ajoin, huomioiden teollisuuden investointisyklit. Vaikutetaan EU:ssa ilmastopolitiikan pikaiseen mutta harkittuun korjaamiseen 1,5 asteen kunnianhimon mukaisesti.

Materiaalitehokkuuden ja fossiilisten raaka-aineiden korvaamisen puuttuvat kannusteet

ESTE Kannusteet materiaalitehokkuuteen, kierrätysmateriaalien ja sivuvirtojen käyttöön sekä fossiilisten raaka-aineiden korvaa-

miseen ovat usein heikot. Luonnonvarojen käytön rajoittamiselle on vain ylätasoon tavoite eikä materiaalien hinta heijasta niiden elinkaaren aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä tai muita ympäristöhaittoja.

KORJAUSLIIKE Vaikutetaan EU:ssa tavoitteiden, kannustimien ja sääntelyn luomiseksi luonnonvarojen tehokkaammalle käytölle, esimerkiksi hinnoitteleamalla tuotteiden elinkaarin päästövaikutus tai luomalla tuotteille komission aloitteen mukaisesti ([Euroopan komissio 2020a](#)) kokonaisvaltaiseen ympäristöarviointiin ohjaavia ekosuunnitteluvaatimuksia ja asettamalla kierrätys- ja uusiutuvien materiaalien käytölle pakollisia vaatimuksia keskeisissä tuoteryhmissä. Edistetään myös globaaleja tavoitteita luonnonvarojen käytön vähentämiselle.

Tehdään materiaaleista osa kotimaista ilmastopolitiikkaa. Asetetaan erilaisten luonnonvarojen kotimaisen käytön vähentämiselle selkeät tavoitteet. Luodaan kannusteita kestävän kehityksen verouudistuksen keinoin⁶⁸, esimerkiksi verottamalla tiettyjen luonnonvarojen käyttöä ja verottamalla palveluperusteisia liiketoimintamalleja tuotteita kevyemmin, kuten Kiertotalouden strateginen ohjelma ([Valtioneuvosto 2021a](#)) esittää. Asetetaan soveltuville kierrätys- ja uusiutuville materiaaleille kiristyviä jakelutai sekoitevelvoitteita.

Negatiivisten päästöjen puuttuvat kannusteet ja sääntely

ESTE Negatiivisten päästöjen tuottamisesta ei palkita, eikä niiden käyttöön ilmastovoitteiden täyttämiseksi tai niillä käytävään kauppaan ole sääntöjä.

KORJAUSLIIKE Vaikutetaan EU-tasolla tavoitteiden, sääntelyn ja kannustimien luomi-

67 Esimerkiksi puhtaan sähkön, vedyn, kierrätysmateriaalin, hiilidioksidin ja hiilidioksidin varastoinnin kysyntä tulee todennäköisesti kasvamaan. Jotta ne olisivat todella saatavilla, tarvitaan myös siirtoinfrastruktuuri, jonka pystytys voi kestää kauemmin kuin tuotannon.

68 Ks. [Tamminen ym. \(2019\)](#).

seksi negatiivisille päästöille. Kannustimeksi on ehdotettu muun muassa mallia, jossa negatiivisten päästöjen tuottajille annettaisiin myytäväksi EU:n päästökaupan päästöoikeuksia, jotka maat olisivat muuten huutokaupan neet (Fortum 2020). Asetetaan negatiivisille päästöille tavoite myös kansallisesti ja laaditaan tiekartta eri keinojen, erityisesti BECCSin, käyttöönotolle. Tarvittaessa investoinnit voidaan saada liikkeelle esimerkiksi takuuhintahuutokaupoilla⁶⁹ tai muilla tuilla.

Vetytalouden puuttuva sääntely

ESTE Näkemys vetytalouden roolista päästövähennyksissä on vasta muotoutumassa, eikä puhtaan vedyn ja siitä valmistettujen polttoaineiden sääntelyä ole vielä olemassa.

KORJAUSLIIKE Tehdään Suomelle konkreettinen vetystrategia, jossa määritellään vetytaloudelle kansallinen visio, tavoitteet ja toimenpiteet. Luodaan kotimaassa vedylle ja synteettisille polttoaineille kannustava verokohtelu ja vaikutetaan EU:ssa kannustavan ja kustannustehokkuutta edistävän sääntelyn luomiseksi. Tuetaan vedyn kustannustehokkaan siirtoinfrastruktuurin rakentamista.

Uusien ratkaisujen kaupallistamisen ja käyttöönoton hitaus

ESTE Teollisuuden päästövähennysten tarvitsema teknologia on näköpiirissä, mutta monessa tapauksessa ei vielä kaupallistunut. Pitkän aikavälin kannusteet, kuten kiristytävä päästöjen hinnoittelu, ovat välttämättömiä, mutta eivät aina riitä. Edelläkävijät joutuvat

usein investoimaan uusiin teknologioihin, joiden riskit ja kustannukset ovat korkeampia ennen kuin teknologia vakiintuu ja skaala kasvaa. Jotta investoinnit saadaan käyntiin, tarvitaan tukea tutkimukseen sekä niin kutsuttuja edelläkävijämarkkinoita, joilla uuden tuotteen kysyntä on turvattu korkeammasta hinnasta huolimatta myös lyhyemmällä aikavälillä.

KORJAUSLIIKE Nostetaan julkisia TKI-panoksia sekä pilottien ja demonstraatioiden rahoitusta. Kohdennetaan panostukset erityisesti päästövähennysten, materiaalihokkuuden ja materiaalien kierron avainteknologioihin⁷⁰. Tutkitaan systemaattisesti, ovatko tehdyt innovaatiot sovellettavissa muille toimialoille. Panostetaan myös EU-rahon kotiuttamiseen sekä vahvistetaan Suomen maabrändiä ilmastoratkaisuiden osajana, jotta kansainvälinen yhteistyö helpottuu.

Edistetään edelläkävijämarkkinoita merkittäviä päästövähennyksiä tuottaville tuotteille, kuten päästöttömälle teräkselle niin EU-tasolla kuin kansallisesti. Edelläkävijämarkkinoita voidaan luoda esimerkiksi hiilen hintaan sidotuilla hinnoittelutuilla "CCFD" (*carbon contracts for difference*)⁷¹, tuotanto- huutokaupoilla, alkuperätakuujärjestelmillä⁷² tai sekoite-, jakelu- tai käyttövelvoitteilla. Tehdään myös vapaaehtoisuuteen perustuvia green deal -sopimuksia olennaisten toimialojen kanssa ja suositaan vähäpäästöisiä ja kiertotalouden mukaisia tuotteita julkisissa hankinnoissa (ks. myös julkiset hankinnat päästövähennysten edistäjänä).

69 Vrt. uusiutuvan energian kansalliset huutokaupat, joilla investoinnit tuulivoimaan saatiin liikkeelle. Ks. Ruotsissa tehty ehdotus BECCSin kansallisille kannustimille, *Miljödepartementet (2020)*.

70 Esimerkiksi materiaalitutkimus kaipaa resursseja. Tulisi panostaa sekä nyt elinkaarensa loppuun tulevien materiaalien kierrätysratkaisujen että tulevien materiaalisekoitteiden, jotka mahdollistavat käyttöön otettavien luonnonvarojen mahdollisimman pitkän ja arvokkaan käytön, kehitykseen. Tulevaisuuden materiaaleissa tulisi esimerkiksi välttää kierrätystä haittaavia ominaisuuksia, kuten ympäristölle ja terveydelle haitallisten aineiden käyttöä.

71 Ks. esim. *Sartor & Bataille (2019)*.

72 Vrt. uusiutuvan sähkön alkuperätakuujärjestelmä, jossa uusiutuvan sähkön vapaaehtoinen valitseminen tuottaa lisätuloja uusiutuvan sähkön tuottajille.

Hallinnolliset esteet: luvitus ja jätelainsäädäntö

ESTE Luvitusprosessit ovat hitaita, ja erityisesti referenssittömien uusien ratkaisujen luvitus voi venyä (ks. myös tuulivoiman ja sähköverkon [hitaat ja jäykät kaavoitus- ja luvitusprosessit](#)). Jätelainsäädäntö hankaloittaa kierrätysmateriaalien ja sivuvirtojen hyödyntämistä, sillä jätteen luokiteltua materiaalia ei saa käyttää, eikä jäteluokituksen poistamiseksi ole laajamittaisesti sovittu selkeitä kriteereitä.

KORJAUSLIIKE Sujuvoitetaan luvitusta esimerkiksi yhden luukun lupakäytännöllä, ennakkoneuvonnalla, hoitamalla useita luvitusvaiheita rinnakkain sekä ennakoimalla tarvittava resursointi ja referenssittömien uusien ratkaisujen tarpeet. Tehdään kansalliset asetukset merkittävien materiaalivirtojen jätteen luokittelun päättymisen kriteereistä, ja edistetään EU-tasoisia yhteisiä kriteerejä kierrätysmateriaalien sisämarkkinoiden mahdollistamiseksi. Perustetaan Kiertotalouden strategisen ohjelman ([Valtioneuvosto 2021a](#)) mukaisesti työryhmä seuraamaan tapauskohtaista jäteluokituksen päättämisen päätöksentekoa, kehittämään menettelyjä ja ehdottamaan tarvittavia lainsäädäntömuutoksia.

Osaamisen puute

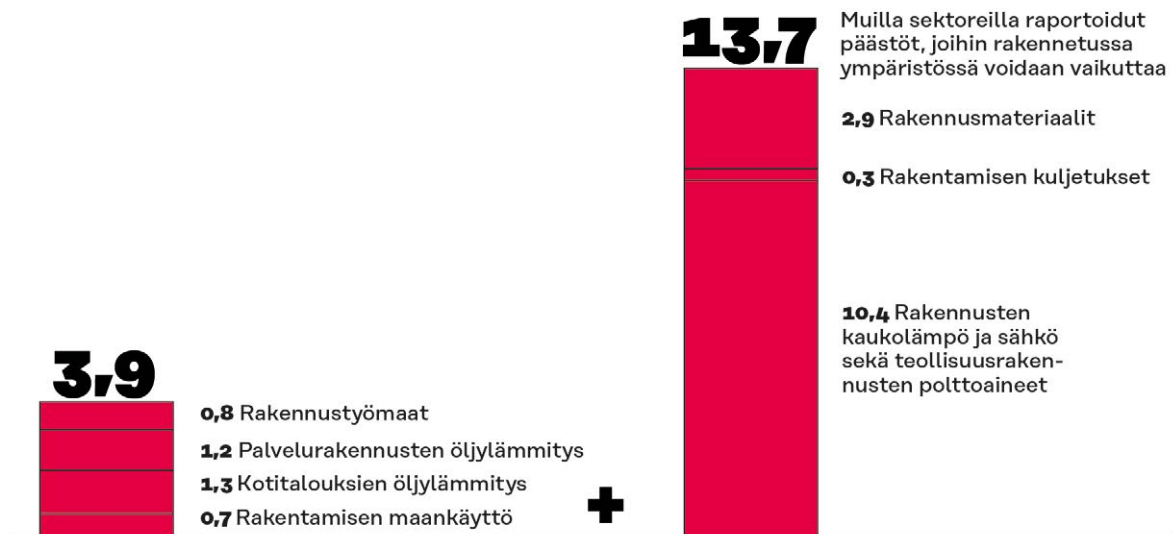
ESTE Edessä oleva muutos vaatii paljon uutta sektorirajat ylittävää osaamista. Tarve on niin uudelle teknilliselle ja luonnontieteelliselle huipputaamiseksi, paremmalle kaupalliselle osaamiselle, resurssitehokkaan tuotesuunnittelun osaamiselle kuin laajalle yleisvistykselle materiaali- ja energiatehokkuudesta sekä päästö- ja luontovaikutuksista. Työpaikkoja myös häviää joiltain aloilta samalla kun uusia syntyy toisaalle.

KORJAUSLIIKE Ennakoidaan osaamis- ja koulutustarpeita yhdessä koulutustoimijoiden ja työmarkkinajärjestöjen kanssa. Sujuvoitetaan työperäistä maahanmuuttoa. Panostetaan korkeakoulujen voimavaroihin, huolehditaan perustutkimuksen riittävästä rahoituksesta ja tuetaan poikkitieteellisyttä sekä moniosaamista. Otetaan ilmasto- ja kiertotalousosaaminen laajasti mukaan kaikille koulutustasoille sekä opettajakoulutukseen. Fasilitoidaan yritysten yhteistyötä kokonaisten arvoketjujen matkalta sekä tutkimusmaailman kanssa. Panostetaan reilun siirtymän toimiin, kuten uudelleen koulutukseen, täydennyskoulutukseen, alueelliseen tukeen ja tehokkaksiin työvoimapalveluihin.

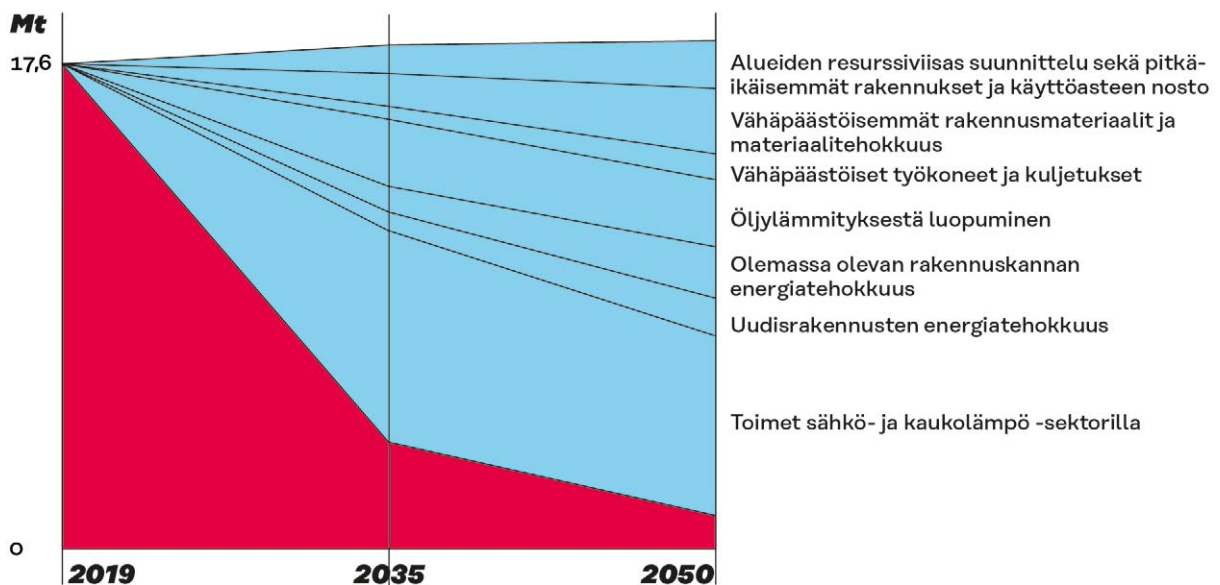
5 Rakennettu ympäristö



Kuva 8. Rakennetun ympäristön päästöt 2019 (Mt)



Kuva 9. Päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä



Kuvassa ratkaisujen päästövähennyspotentiaali on esitetty suhteessa nykyiseen päästöintensiteettiin. Lisätietoa laskelmista on liitteessä B.

5.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet

Rakennetun ympäristön suurin suora päästölähde on polttoaineiden käyttö (2,4 Mt vuonna 2019), eli öljylämmitys ja selvästi pienempi muu kotitalouksien ja palveluiden polttoainekäyttö. Loput suorat päästöt koostuvat rakennustyömaiden päästöistä (0,8 Mt, [Raivio ym. 2020b](#)) ja rakentamisen aiheuttaman maankäytön muutoksen päästöistä⁷³ (0,7 Mt) ([Tilastokeskus 2021i](#)).

Rakennettu ympäristö on myös merkittävä materiaalien, kuljetusten sekä sähkön ja lämmön käyttäjä. Rakennusten lämmitys muodostaa 26 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta Suomessa ([Tilastokeskus 2020b](#)) ja rakentaminen on yksi suurimpia luonnonvarojen kuluttajia sekä mineraalien kaivuun jälkeen suurin jätteen tuottaja ([Tilastokeskus 2020a](#)). Näiden päästöt lasketaan virallisesti muilla sektoreilla kuten sähkön ja kaukolämmön tuotannossa, teollisuudessa ja liikenteessä, mutta voidaan sanoa, että kulutuksellaan rakennettu ympäristö aiheuttaa yhteensä noin neljänneksen Suomen päästöistä, Rakennusteollisuuden vähähiilitiekartan ([Raivio ym. 2020b](#)) arvioita hyödyntäen 17,6 Mt (ks. kuva 8). Tästä 73 prosenttia on käyttövaiheen energian, 17 prosenttia materiaalien, 7 prosenttia työmaatoimintojen ja kuljetusten ja 4 prosenttia maankäytön muutoksen päästöjä.

Marinin hallitusohjelmaan ([Valtioneuvosto 2019](#)) on kirjattu tavoite, jonka mukaan valtion ja kuntien kiinteistöissä luovutaan öljylämmityksestä vuoteen 2024 mennessä ja muissa kiinteistöissä asteittain 2030-luvun alkuun mennessä.

Rakennetussa ympäristössä on merkittävät mahdollisuudet vaikuttaa myös energian ja materiaalien tuotannon päästöihin. [Koljonen ym. \(2020\)](#) vähäpäästöskenaarioissa asumisen ja palveluiden energian loppukulutuspienenee yli 30 prosenttia vuoden 2010

tasosta vuoteen 2050 mennessä, mikä auttaa vähentämään sähkön ja kaukolämmön tuotannon päästöjä. Rakennetussa ympäristössä voidaan vaikuttaa myös liikkumisen päästöjen vähentämiseen yhdyskuntarakenteen ja infrastruktuurin kehittymisen kautta ([ks. liikkumistarpeen väheneminen, kävely ja pyöräily ja joukkoliikenne](#)).

Rakentamisen ympäristöohjaus on toistaiseksi keskittynyt rakennuskannan energiatehokkuuden parantamiseen. Uudisrakentamisella on ollut energiatehokkuusvaatimuksia vuodesta 1976 lähtien, ja vuonna 2013 energiatehokkuusvaatimukset otettiin käyttöön myös rakennusten laajamittaisen korjaamisen yhteydessä. Vuosina 1990–2010 rakennusten lämmitysenergian kulutus nousi 70 prosenttia, mutta on sen jälkeen pysynyt vakaana kerrosalan kasvusta huolimatta ([Tilastokeskus 2020b](#)).

Olemassa olevassa rakennuskannassa energiatehokkuusparannuksiin ja öljylämmityksestä luopumiseen on myös saatavilla tukea. Asuinrakennusten energiatehokkuutta tuetaan kotitalousvähennyksellä, energia-avustuksella ja pientalojen öljylämmityksestä luopumisen tuella. ARA tukee kuntien rakennusten öljylämmityksestä luopumista. Yritysten ja kuntien energiatehokkuusinvestointeja ja uusiutuvan energian käyttöönottoa tuetaan energiatuella, jonka vapaaehtoiisiin energiatehokkuussopimuksiin liittyneet saavat korotettuna. Toisaalta lämmitykseen ja työkoneisiin käytettävällä polttoöljyllä on Suomessa verotuki, eli sitä verotetaan muita fossiilisia polttoaineita kevyemmin. Öljyllä lämmittäminen onkin Suomessa edullista verrattuna muihin Pohjoismaihin, joissa öljylämmityksestä on pitkälti jo luovuttu. Suomen asuin- ja palvelurakennuksissa käytetyn lämmitysöljyn määrä on vähentynyt 56 prosenttia vuodesta 1995 vuoteen 2019 ([Tilastokeskus 2020c](#)).

Rakentamisen ohjausta uudistetaan parhaillaan siten, että jatkossa tarkasteluun

73 Lisäksi rakennetun maan raivaus metsästä pienentää tulevaa metsän hiilinielua.

otetaan myös rakennuksen materiaalit. Ympäristöministeriö on määritellyt, miten rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki laske-
taan. Hiilijalanjälkikriteeri otetaan ensin
koekäyttöön julkisissa rakennushankkeissa,
ja tavoitteena on tehdä siitä uudisrakennus-

ten yleinen vaatimus 2020-luvun puoliväliin
mennessä. Uusien vähähiilisten teknologioi-
den kehittämistä tuetaan EU:n elpymis- ja
palautumistukivälineestä saatavilla varoilla
([Valtioneuvosto 2021d](#)).

INFOBOKSI

Energiatehokkuusvaatimukset ovat Suomessa löysemmät kuin EU-tason suositus

Vuodesta 2012 rakennusten energiatehokkuutta on ohjattu E-luvulla. E-luku saadaan, kun kerrotaan energiamuotokertoimella rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva laskennallinen ostoenergiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden. Energiamuotokertoimien tarkoitus on toisaalta heijastaa lämmitysmuotoon liittyvää primäärienergian tarvetta, mutta toisaalta myös ohjata lämmitysmuotovalintoja. E-luvun perusteella rakennus sijoitetaan energiatehokkuusluokkaan A–G ([Oikeusministeriö 2017](#)).

EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivi määrää, että vuodesta 2021 alkaen kaikkien uudisrakennusten on oltava niin sanottuja ”lähes nollaenergiarakennuksia”. EU-komissiolle on vaatimustasosta viralliset suositukset eri ilmastovyöhykkeille, mutta kukin jäsenmaa on saanut määrittää vaatimustasonsa itse.

Suomi otti lähes nollaenergiarakentamisen vaatimuksen käyttöön vuoden 2018 alusta myönnettäville rakennusluville. [Kurnitski ym. \(2018\)](#) kuitenkin totesivat, että Suomen vaatimustaso on selvästi komission suosituksia löyempi – Suomen vaatimustaso salli mallinnetussa kaukolämmitteisessä kerrostalossa 60 prosenttia suosituksia korkeamman kokonaisenergiankulutuksen.

Lähes nollaenergiarakentamisen minimivaatimus asettuu nykysäännösten energiatehokkuusluokkaan B ([Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 4§](#), [Oikeusministeriö 2017](#)), kun aiemmin vaatimuksena oli pääsääntöisesti energialuokka C. Todellisuudessa vaatimukset eivät kuitenkaan kiristyneet suurelle osalle rakennuksista. Asuinrakennusten, jotka muodostavat lähes kaksi kolmannesta rakennusten lämmitysenergian kulutuksesta ([Tilastokeskus 2020d](#)), vaadittu E-luku pieneni noin 30 prosenttia, mutta samalla kaukolämmön, kaukojäähdytyksen ja sähkön energiamuotokertoimia pienennettiin saman verran ([Ympäristöministeriö 30.11.2017](#)). Samanlaiset sähkö- ja kaukolämmitteiset asuinrakennukset siis täyttivät minimivaatimuksen kuin aiemminkin. Joidenkin palvelurakennusten sekä liike- ja toimistorakennusten E-lukuvaatimukset kiristyivät noin 40 prosenttia, joten niillä energiatehokkuusvaatimus kiristyi todellisuudessaakin hieman, noin 10 prosenttia.

Parempi energiatehokkuus tarkoittaa yleensä hieman suurempaa investointia rakennus- tai korjausvaiheessa, mutta tuo rakennuksen käytön aikana säästöjä. Vuonna 2013 komissiolle luovutetun kansallisen raportin mukaan vaatimukset olivat jo silloin uudisrakennuksissa seitsemän prosenttia ja korjausrakentamisessa kahdeksan prosenttia löysemmät kuin keskimääräinen kustannustehokas energiatehokkuuden taso ([Haakana ym. 2018](#)). Tuoreen VTT:n analyysin mukaan energiatehokkuusvaatimusten kiristäminen 10 prosentilla toisi ne kustannustehokkaalle tasolle ([Vainio 11.6.2021](#)).

5.2 Ratkaisut ja niiden tilanne

Kuvassa 9 on esitetty rakennetun ympäristön päästövähennysten mahdollinen jakautuminen eri ratkaisuille. Alueiden resurssiviisas suunnittelu sekä rakennusten käyttöasteen nosto ja pitkäikäisyys kasvattavat resurssitehokkuutta ja vähentävät siten päästöjä materiaalien ja energian tuotannossa sekä maankäytön muutoksessa. Materiaalitehokkuus, vähäpäästöisemmät materiaalit ja lopulta teollisuuden valmistusprosessien puhdistuminen (ks. [teollisuus](#)) painavat rakennusmateriaalien päästöt alas. Öljylämmityksestä luopuminen poistaa suuren osan rakennetun ympäristön suorista päästöistä, ja rakennusten energiatehokkuuden kasvattaminen ja älykäs energiankäyttö tukevat päästöjen vähentämistä sähkön ja kaukolämmön tuotannossa. Työkoneiden ja kuljetusten päästöt vältetään tehostamalla ja sähköistämällä työkoneita ja hyödyntämällä biopolttoaineita. Seuraavaksi esitellään ratkaisut tarkemmin.

Alueiden resurssiviisas suunnittelu

Väestönkasvu ja uudisrakentaminen ovat Suomessa keskittyneet alle kymmenelle kasvavalle kaupunkiseudulle, jotka ovat avainasemassa yhdyskuntarakenteen tehostamisessa. Alueet tulisi suunnitella eheiksi, tiiviiksi ja saavutettaviksi sekä toiminnoiltaan monipuolisiksi ja muunneltaviksi. Tehokkaimmat ratkaisut saavutetaan, kun kehitetään yksittäisten kaupunkien ja kuntien sijaan kokonaisia seutuja.

Tulevassa asuinrakentamisessa tulisi suosia täydennysrakentamista, joka sijoitetaan hyvien joukkoliikennedyhteyksien varrelle, ja pitää huolta siitä, että työpaikkojen ja palveluiden sijainti mahdollistaa kestävä liikkuksen. Kaavoituksen tulisi kuitenkin joustaa tarpeen mukaan, jotta tilojen käyttö on tehokasta – esimerkiksi

päiväkotien tarve alueilla vaihtelee eri aikoina, ja ne tulisi suunnitella käyttötarkoitukseltaan muunneltaviksi. Maankäytön muutosta, eli uusien maa-alueiden ottamista rakennuskäyttöön, tulisi välttää, ja mahdollisimman pitkälle säilyttää alueen hiilivarasto ja -nielu, eli alkuperäinen luonto – näin turvataan myös lähivirkistysalueita ja luonnon monimuotoisuutta kaupunkiympäristössä.

Resurssiviisas alueiden suunnittelu lyhentää arkimatkoja ja laskee laadukkaan joukkoliikennepalvelun tarjoamisen kustannuksia, ja siten mahdollistaa siirtymistä kestävämpien liikkumismuotojen käyttöön. Tiiviys vähentää päästöjä myös resurssitehokkuuden kasvun takia, sillä sama infrastruktuuri voi palvella suurempaa määrää ihmisiä. Tiiviillä rakentamisella ehkäistään myös metsäkatoa – rakentaminen on suurin metsäkadon aiheuttaja Suomessa ([Tilastokeskus 2021](#)).

Resurssiviisaat ratkaisut jäävät kuitenkin usein kaavoituksessa muiden tavoitteiden jalkoihin. Nykyään Suomen yhdyskuntarakenne on hajautunutta, ja työpaikkojen ja kaupan siirtyminen keskustojen ulkopuolelle on pitkään jatkunut trendi. Mahdollisuudet kulkea työmatkat kestäville kulkumuodoilla ovat 2000-luvulla heikentyneet kaikilla Suomen kaupunkiseuduilla, ja myös ostos- ja asiointimatkojen määrä ja pituus ovat kasvaneet. ([Rehunen ym. 2019.](#)) Helsinki, Vantaa, Tampere ja Oulu ovat kuitenkin maininneet tiivistämisen yhtenä tärkeänä strategisena painopisteenä.

Pitkäikäisemmät rakennukset ja käyttöasteen nosto

Rakennusten käyttöaika ja käyttöaste vaikuttavat rakennuskannan materiaalien hiilijalanjälkeen ja luonnonvarojen käyttöön.

Rakennukset tulisi suunnitella mahdollisimman pitkäikäisiksi, helposti ylläpidettaviksi sekä muuntojoustaviksi, jotta käyttötär-

koitusta voi tarpeen tullen muuttaa. Tehokas tilankäyttö, yhteiskäyttöiset tilat ja tilojen jakaminen nostavat niiden käyttöastetta. Kaikissa rakennuksissa tarvitaan suunnitelmallista ja pitkäjänteistä kunnossapitoa pitkän käyttöiän mahdollistamiseksi. Olemassa olevien rakennusten suhteen tulisi tapauskohtaisesti harkita, voisiko uudisrakentamisen sijaan vanhaa rakennuskantaa korjata tai muuten hyödyntää ja uudistaa purkamatta. Joissain tapauksissa purkava uudisrakentaminen kuitenkin parantaa käyttäjäkohtaista resurssitehokkuutta niin paljon, että se on kokonaisuutena resurssivii- saampaa.

Tähän asti rakennuskanta on kasvanut voimakkaasti, ja myös asumisväljyys kasvaa edelleen kaikkialla muualla paitsi pääkaupunkiseudulla, jossa kasvu on tasaantunut ([Helsingin kaupunki 2021](#)). Suuryritysten käytössä olevista tiloista jopa puolet on hukkatilaa ([Räpälä 2014](#)). Organisaatioiden tilatehokkuusstrategiat ovat kuitenkin yleisiä, ja julkisten tilojen avaamista muulle toiminnalle on kokeiltu monessa kaupungissa. Samalla Suomessa on kasvavilla kaupunkiseuduillakin kansainvälisesti vertailtuna paljon tyhjillään olevia toimitiloja ([Helsingin kaupunki 2018b](#)), mikä johtuu osin rakennuksen käyttötarkoituksen lukitsevasta kaavoituksesta.

Toistaiseksi viralliset rakentamismääräyskokoelman suositukset ohjeistavat suunnittelemaan tavanomaisten rakennusten kantavat rakenteet vain vähintään 50 vuoden käyttöiälle ([Ympäristöministeriö 2016](#)). Suomen rakennuskanta onkin keskimäärin melko nuorta, esimerkiksi asuinrakennuksista 60 prosenttia on rakennettu vuoden 1970 jälkeen ([Tilastokeskus 2021h](#)). 2000-luvulla puretut asuintalot olivat keskimäärin vain 58-vuotiaita ja muut puretut rakennukset 43-vuotiaita – tavallisin syy purkuun oli tehdä tilaa uudelle rakennukselle ([Yle 2.4.2015](#)). Rakennukset myös rapistuvat, ja rakennusten korjausvelaksi on arvioitu kymmenesosa koko rakennuskannan arvosta ([Rakennusteollisuus b](#)).

Vähäpäästöisemmät rakennusmateriaalit ja materiaelitehokkuus

Rakennusmateriaalien päästöjä voidaan rakennuksen elinkaaren pidentämisen ja käyttöasteen noston lisäksi vähentää tehostamalla materiaalien käyttöä ja valitsemalla vähäpäästöisempiä materiaaleja, erityisesti kierrätysmateriaaleja. Keinoja vähentää uusien materiaalien tuotannon päästöjä esimerkiksi uusilla prosesseilla ja korvaamalla raaka-aineita ja materiaaleja vähäpäästöisemmällä vaihtoehdoilla on käsitelty tarkemmin osiossa [teollisuus](#).

Materiaalitehokkuuden parantamiseksi suunnittelu on avainasemassa. Tarkemmalla suunnittelulla voidaan vähentää materiaalien ylikäyttöä rakenteissa. Rakenneosat ja talotekniikka voidaan suunnitella niin, että korjaukset ja vaihdot ovat tehtävissä ilman purkutöitä ja elinkaaren lopussa osat ja materiaalit voidaan kierrättää. Rakennusprojektien tarkemmalla suunnittelulla voidaan minimoida syntyvän jätteen määrä ja hyvällä koordinoinnilla rakentamisessa syntyviä maamassoja hyödyntää alueellisesti. Materiaalitietojen tallentaminen ja huolellisesti suunniteltu purkaminen mahdollistavat rakennustuotteiden ja materiaalien paremman uudelleenkäytön.

Kokonaisvaltaisia arvioita materiaalitehokkuuden parantamisen potentiaalista ei vielä ole. Rakennusteollisuuden tiekartassa ([Raivio ym. 2020a](#)) tuodaan esiin, että huolellisella suunnittelulla teräksen käyttöä voidaan uusissa monikerroksisissa teräsrakenteissa vähentää jopa 50 prosenttia ja anturitekniikka mahdollistaa betonirakenteiden keventämisen karkeasti 10 prosentilla. [Material Economics \(2018\)](#) arvioi, että syntyvän rakennusjätteen määrää voidaan vähentää 5–10 prosenttia hyvällä suunnittelulla, standardisoinnilla sekä asianmukaisella materiaalien varastoinnilla ja kuljetuksella.

Perusmateriaalit ovat kuitenkin lähtökohtaisesti edullisia ja suunnittelupalvelu suhteessa kallista, joten yrityksillä ei ole tarvittavia taloudellisia kannustimia materi-

aalien käytön optimoinnille tai vähäpäästöisempien materiaalien käytölle. Lisäksi uudet vaihtoehtoiset ratkaisut rakennusteknologiassa ja -tekniikassa voivat olla tavallista kalliimpia, ja uusien materiaalien lyhyt käyttökokemus tekee niistä vähemmän houkuttelevia vaihtoehtoja – esimerkiksi pitkäaikais- ja lämpötilakestävydestä voi olla epävarmuutta, eikä lujuuslaskelmia ole totuttu tekemään kierrätysmateriaalille. Heikko kysyntä ei myöskään kannusta kehittämään ratkaisuja. Materiaalia kierrätykseen valmistelevia yrityksiä on vähän, ja sääntely hankaloittaa kierrätysmateriaalien käyttöä (ks. [materiaalien uudelleenkäytöllä on huomattava hallinnollinen taakka](#)). Suomessa rakennusjätteiden hyödyntämisaste on eurooppalaisessa vertailussa alhainen ([Rakennusteollisuus a](#)).

Öljylämmityksestä luopuminen ja puhtaan energian tuotanto rakennuksissa

Vuonna 2018 Suomessa oli noin 170 000 asuin- ja 34 000 muuta rakennusta, jotka lämmitettiin öljyllä, mikä tuotti 1,6 Mt päästöjä ([Ympäristöministeriö 2021](#)). Öljylämmitys voidaan tilanteesta riippuen korvata lämpöpumpuilla, kaukolämmöllä, sähkölämmityksellä tai puuhun tai pelletteihin pohjaavalla lämmityksellä.

Hallituksen tavoite on, että öljylämmityksestä luovutaan 2030-luvun alkuun mennessä. Vaihto öljylämmityksestä lämpöpumppeihin on yleensä pitkällä aikavälillä taloudellisesti kannattavaa, ja myös biopohjainen lämmitys on käyttökuluiltaan öljyä halvempaa. Öljylämmityksestä luopumisen taloudellista kannattavuutta on entisestään parannettu erilaisilla tuilla.

Öljylämmityksestä luopumista hidastavat öljyn suhteellisen halpa hinta ja lämmitysmuodon vaihtoon tarvittava investointi. Joissain tapauksissa rahoitusta voi olla vaikea saada, tai kiinteistön käyttäjiä ei odoteta olevan niin pitkä, että investointi olisi kan-

nattava. Myös maalämpöluvitusta voidaan kokea hankalaksi, ja siinä on alueellista vaihtelua. Mikäli maalämpöasennusten kysyntä lisääntyisi, pätevien asentajien ja poraajien saatavuus voisi muodostua ongelmaksi. Asiantuntevien suunnittelijoiden saatavuus on jo haaste isommissa kohteissa.

Myös muissa kuin nykyisin öljylämmityksessä rakennuksissa tuotettu puhdas sähkö tai lämpö voi edistää energijärjestelmän päästöjen vähentämistä. Tällä hetkellä oman lämmöntuotannon aloittaminen kuitenkin yleensä johtaa aiemmin kaukolämmitetyn rakennuksen irtaantumiseen kaukolämpöverkosta, mikä ei ole kokonaisuuden kannalta kustannustehokasta. Kokeilussa on kuitenkin malleja, jossa energiaa tuottavat rakennukset jäävät osaksi yhteistä järjestelmää. Esimerkiksi Turun Skanssissa kehitetään matalalämpötilaista kaukolämpöverkkoa, jossa kokeillaan kaksisuuntaista ja avointa lämpökaupankäyntiä rakennusten kanssa ([Turun kaupunki](#)). Pääkaupunkiseudulla Helen tarjoaa taloyhtiöille maa- ja kaukolämmön yhdistävää mallia, joka optimoi molempien käyttöä ([Helen 10.6.2020](#)).

Olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuus

Rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi lämmöntalteenottolaitteilla, lisälämmöneristyksellä, ikkunoiden tiivistämisellä tai uusimisella sekä älykkäällä ilmanvaihdon ja lämmityksen ohjausjärjestelmällä. Lisäksi esimerkiksi sähkölämmityksen korvaaminen lämpöpumpulla vähentää ostettavan energian kulutusta. Suurin potentiaali energiatehokkuuden parantamiseen on asuinrakennuksissa ([Raivio ym. 2020a](#)).

Tuoreen VTT:n analyysin ([Vainio 11.6.2021](#)) mukaan energiatehokkuusvaatimusten kiristäminen kustannusoptimaaliselle tasolle yhdessä Suomen korjausrakentamisen strategian ([Ympäristöministeriö 2020](#)) toimenpiteiden kanssa johtaisi olemassa

olevan rakennuskannan energiankulutuksen puolittamiseen vuoteen 2050 mennessä. Huomattava osa tästä on kuitenkin vanhojen rakennusten poistumaa – huomioiden myös tulevat uudisrakennukset rakennuskannan energiankulutus vähenisi noin kolmanneksella nykytasosta vuoteen 2050 mennessä.

Toistaiseksi rakennuskannan energiankulutus ei ole energiatehokkuusvaatimuksesta ja -tuista huolimatta kääntynyt laskuun. Energiatehokkuutta parantavat ratkaisut ovat usein pitkällä aikavälillä taloudellisesti kannattavia, mutta kustannukset toteutuvat heti ja säästöt kertyvät vasta myöhemmin. Kokonaisuutena saatavat säästöt eivät välttämättä ole kotitalouden muihin menoihin verrattuna niin merkittäviä, että ne kannustaisivat toteuttamaan energiaremontteja.

Jotkut merkittävät energiatehokkuustoinenpiteet ovat kannattavia toteuttaa vain laajojen korjausten yhteydessä. Rakennuskannasta peruskorjataan kuitenkin vuosittain vain noin 1–1,5 prosenttia. Erityisesti asuinrakennuksissa korjauksia toteutetaan ilman kokonaisvaltaista suunnittelua, eivätkä energiatehokkuusmahdollisuudet tule huomioiduksi. Tietoa ja osaamista energiatehokkaasta korjausrakentamisesta puuttuu niin rakennusten omistajilta kuin rakennusalan ammattilaisilta. Korjausrakentamisessa kohteissa on omia erityispiirteitään, eikä helposti monistettavia malleja ole, mikä myös nostaa työn hintaa. Muuttotappioalueilla myös rahoituksen saatavuus korjauksiin on haaste. Energiapalveluiden markkina on Suomessa heikko, eikä asuinrakennusten energiatehokkuustukia ole usein mahdollista hyödyntää palvelumalleilla toteutettavissa investoinneissa.

Uudisrakennusten energiatehokkuus

Merkittävä osa vuoden 2050 rakennuskannasta on vielä rakentamatta, ja uudet rakennukset tulisi rakentaa mahdollisimman energiatehokkaiksi. Huomiota tulisi kiinnittää esimerkiksi lämmöneristykseen, lämmönja-

keluun ja taloautomaatioon, ja toisaalta kesäistä viilenyksen tarvetta pienentäviin suunnitteluratkaisuihin.

Tuoreen VTT:n analyysin ([Vainio 11.6.2021](#)) mukaan energiatehokkuusvaatimuksia tulisi kiristää 10 prosentilla, jotta ne olisivat kustannusoptimaalisella tasolla. Kustannusoptimaalinen taso kuitenkin alenee jatkuvasti tekniikan kehittyessä. [Koljonen ym. \(2020\)](#) arvioivat vähäpäästöskenaarioissaan, että nykyvaatimuksiin verrattuna keskimääräinen lämmitysenergian kulutus voi vuosiin 2030 ja 2050 mennessä laskea uusissa pientaloissa 35 ja 56 prosenttia, kerros- ja rivitaloissa 34 ja 48 prosenttia sekä liike- ja palvelurakennuksissa 19 ja 32 prosenttia neliömetriä kohden.

Rakennuttajilla ei ole kannustimia rakentaa vaatimustasoa energiatehokkaampia rakennuksia. Mikäli asunto myydään vasta sen valmistuttua, energiatehokkuussatsauksia ei yleensä saa myyntihinnassa takaisin, vaikka ne olisivat koko elinkaaren ajalta katsottuna kannattavia. ARA:n ylläpitämän energiatodistusrekisterin mukaan vuonna 2018 valmistuneista uusista rakennuksista vain vajaat 14 prosenttia oli korkeinta energiatehokkuusluokkaa A ([ARA 2020](#)). Jotkut kaupungit vaativat A-luokkaa uusiin vähähiilisiin kaupunginosiin, ja esimerkiksi Helsingin kaupunki edellyttää sitä itse rakentamiltaan rakennuksilta. Oulussa on saavutettu menestystä aktiivisella rakennusvalvonnalla ja neuvonnalla, ja kaupungin uusista pientaloista suuri osa onkin A-luokkaa.

Älykäs energiankäyttö rakennuksissa

Rakennukset kuluttavat merkittävän osan tehosta ja energiasta, ja ne voivat tarjota huomattavan määrän joustoa energian kulutukseen optimoimalla energiankäyttöään energian hinnan perusteella. Älykäs ohjausjärjestelmä voidaan asentaa rakennuksiin jälkikäteen, mutta tehokkainta on huomioida energiankäytön ohjauksen

mahdollistaminen jo rakennusten suunnittelussa ja järjestelmien valinnassa.

Sopeuttamalla energian kulutusta sen tarjontaan voidaan välttää runsaspäästöistä energiantuotantoa, järjestelmän tehotasapainon ja sähkön laadun ongelmia sekä verkon pullonkauloja. Rakennusten kulutusjouston potentiaalista ei vielä ole kokonaisvaltaisia arvioita. Forsman ym. (2021) oletivat, että sähköautojen latauksen ja kotitalouksien lämpöpumppujen yhteenlaskettu sähkön joustoteho voi vuonna 2025 olla yhteensä 1,4 GW ja vuonna 2040 6,9 GW. Vertailun vuoksi Suomen suurimman ydinvoimalan Olkiluoto 3:n teho on 1,6 GW. Älykästä lämmityksen ohjausta tarjoavan Leanheatin mukaan tekoälypohjaisella lämmityksen säädöllä voidaan olosuhteista tinkimättä leikata viidennes rakennuksen kaukolämmön huippukulutuksesta (Leanheat 20.3.2020). Mikäli lämpötilaa voidaan väliaikaisesti hieman laskea, tehontarvetta voidaan leikata vielä enemmän.

Toistaiseksi rakennusten sähkön ja lämmön kulutusjousto on hyvin vähäistä, vaikka markkinoilta löytyy joitakin palveluntarjoajia. Velvoitteita älykkääseen energiankäyttöön ei ole, ja etenkin kotitalouksilta ja rakennusten tilaajilta puuttuu tietoa ja osaamista ratkaisuksista. Myös kannustimet ovat heikot. Vaikka joustava energiankulutus ja huipputehon rajoittaminen olisi kuluttajalle kannattavaa, säästö ei useinkaan ole tarpeeksi suuri herättääkseen kiinnostusta. Vuonna 2019 vain 11 prosenttia sähkösopimuksista oli pörssihintaisia (Yle 23.12.2020), ja kaukolämmössä reaaliaikaiseen tuotantohintaan perustuvaa hinnoittelua ei ole tarjolla lainkaan. Skanska ja Helen ovat sopineet Helsingin Kruununvuoren rannan uudelle asuinalueelle uudeltaisesta energiapalvelusta, jossa energiayhtiö vastaa rakennusten lämmityksestä ja jäähdytyksestä sekä tasaisten asuinolosuhteiden tarjoamisesta asukkaille (Helen 18.3.2021).

Vähäpäästöiset työkoneet ja kuljetukset

Rakentamisen työmaatoiminnoista ja kuljetuksista syntyy päästöjä yhteensä 1,1 Mt, josta työmaat muodostavat kaksi kolmannesta ja kuljetukset kolmanneksen (Raivio ym. 2020b). Työkoneiden ja kuljetusten päästöjä voidaan vähentää tehostamalla työkoneiden käyttöä ja vähentämällä kuljetustarvetta – esimerkiksi hankkimalla (kierrätettyjä) maamassoja lähempää – sekä hyödyntämällä biopolttoaineita ja sähköistämällä työkoineita. Logistiikan päästöjen vähentämisestä ks. myös liikenteen päästövähennystoimenpiteet.

Rakennusteollisuuden tiekartassa on arvioitu, että työkoneiden päästöt voivat toimintojen tehostamisen ja moottorien energiatehokkuuden kehityksen avulla vähentyä noin 20 prosenttia vuoteen 2035 ja 60 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Käyttämällä lisäksi biopolttoaineita ja panostamalla työkoneiden tuotekehitykseen työkoneiden päästöt voisivat pienentyä yhteensä 25–30 prosenttia vuoteen 2035 ja 70–90 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. (Raivio ym. 2020a)

Työmaakoneiden käytön tehostamista hankaloittavat pilkkoutuneet työmaaprocesit ja projektien hajaantunut johto. Toistaiseksi työkoneiden käyttämälle kevyelle polttoöljylle on asetettu vain 3 prosentin biosekoitevelvoite, joka nousee 10 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. Rakentamisen tiukka hintakilpailu tekee uuden, vähäpäästöisemmän kaluston tai biopolttoaineiden hankkimisen haastavaksi, mikäli tätä ei erikseen edellytetä kilpailutuksissa. Espoon, Helsingin, Turun ja Vantaan kaupungit sekä Senaatti-kiinteistöt ovat sopineet valtion kanssa edellyttävänsä omien hankintojensa työmaiden olevan päästöttömiä vuoteen 2025 mennessä (Sitoumus2050 b).

5.3 Esteet ja korjausliikkeet

Ilmastonäkökulman riittämätön painoarvo alueiden suunnittelussa ja kaavoituksen jäykkyys

ESTE Kaavoituksessa sovitaan yhteen monia tarpeita ja näkemyksiä, ja usein tavoite resurssitehokkaasta rakenteesta jää muiden jalkoihin. Ajan kuluessa myös yksityiskohtainen kaavoitus, jossa tilojen käyttötarkoitus on lukittu eikä muutu kysynnän mukaan, johtaa tilojen vajaakäyttöön ja tarpeettomaan lisärakentamiseen.

KORJAUSLIIKE Otetaan käyttöön maankäytön muutokseen kohdistuva maksu ja vaatimus ekologisesta kompensaatiosta⁷⁴, jolloin maankäytön muutoksen välttämiseksi on vahvempi taloudellinen kannustin. Kehitetään kaavoituksen joustavuutta, helpotetaan rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta ja nostetaan vähähiilisyys ja alueiden käytön tehokkuus keskeiseksi tavoitteeksi uudessa maankäyttö- ja rakennuslaissa ja valtakunnallisissa alueidenkäyttötavoitteissa. Tehdään täydennysrakentamisesta ja rakennusten käyttötarkoitusten muutoksista kysynnän mukaan vahvempi kansallinen suositus, kootaan hyviä käytäntöjä ja aletaan mitata esimerkiksi täydennysrakentamisen suhdetta uusien alueiden rakentamiseen sekä käyttäjäkohtaista resurssitehokkuutta⁷⁵. Tehdään kaupungeissa strateginen päätös toteuttaa uuden asuntorakentamisen tarve mahdollisimman pitkälle täydennysrakentamisella hyvien kulkuyhteyksien varrelle ja muuntamalla vajaakäyttöisiä tiloja.

Kunnianhimmottomat vaatimukset

ESTE Rakentamisen sääntely sekä kuntien kaavoituksessa määrittämät vaatimukset ja tontinluovutusehdot muodostavat minimivaatimustason rakentamiselle, eikä rakennusliikkeen yleensä kannata rakentaa vaatimuksia pitkäikäisempiä, energiatehokkaampia tai älykkämpiä rakennuksia.

Tehokkaampien ratkaisujen vaatiminen ja siten niiden yleistymisen ja volyymin kasvu kuitenkin laskisi niiden hintoja, ja entistä paremmat ratkaisut tulisivat kustannustehokkaiksi.

Korjausliike Kehitetään rakennussääntelyä vaatimaan tavanomaisilta rakennuksilta lähtökohtaisesti 100 vuoden suunniteltua käyttöikää, kiristetään energiatehokkuusvaatimuksia vähintään kustannustehokkaalle tasolle sekä uudis- että korjausrakentamiselle ja sisällytetään vaatimuksiin myös energian käytön älykkyys eli kyky sähkön ja lämmön kulutusjousto ja tehopiikkien välttämiseen. Huomioidaan energian kulutusjousto rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa. Vaaditaan kuntien kaavoituksessa sekä tontinluovutusehdoissa pitkäikäisiä, energiatehokkaita ja älykkäitä rakennuksia, ja vaaditaan rakennuslupaprosessissa perustelut purkamista edellyttävälle uudisrakentamiselle. Panostetaan korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimusten toteuttamisen valvontaan.

Osaamisen ja tiedon puute

ESTE Energia- ja materiaalitehokkuus sekä kierrätysmateriaalien käyttö kärsivät osaamisen ja kiinnostuksen puutteesta. Energiatehokkuudesta liikkuu myös väärä käsitys liittyy esimerkiksi ratkaisujen hintaan tai sisäilmaongelmiin. Puutteita on niin kiinteistönomistajien, rakennusten tilaajien, kiin-

74 Ekologinen kompensaatio tarkoittaa, että luonnolle aiheutettu haitta hyvitetään kohentamalla luonnon tilaa jossain toisaalla.

75 Esimerkiksi rakennusten hiilijalanjäljen mittaaminen rakennettua kerrosalaa kohden ei vielä kerro tilojen käytön tehokkuudesta. Olennaista olisi seurata, kuinka paljon päästöjä aiheutuu käyttäjää kohden.

teistö- ja rakennusalan ammattilaisten kuin ammattiaineopettajien osaamisessa. Mikäli korjausrakentamisen ja maalämpöasennusten kysyntä kasvaa, osaavien tekijöiden löytyminen voi muodostua pullonkaulaksi.

KORJAUSLIIKE Panostetaan kiinteistö- ja rakennusalan ammattilaisten ja ammattiaineopettajien koulutukseen sekä jatkuvaan energiatehokkuus- ja kiertotalousosaamisen kehittämiseen. Asetetaan maalämpöasentajille pätevyysvaatimukset ja kehitetään koulutusjärjestelmää. Vaaditaan taloyhtiöiltä kiinteistöstrategiaa ja energiatehokkuussuunnitelmaa. Tarjotaan jalkautuvaa neuvontaa kiinteistönomistajille ja taloyhtiöiden hallituksille erityisesti korjaushankkeisiin ryhtymisen yhteydessä. Nostetaan esiin hyviä esimerkkejä ja tuetaan tiedonjakoyhteisöjen muodostamista, osaamiskeskusten ja -verkostojen ylläpitoa ja kehittämistä.

Rahoituksen saatavuus energiakorjauksiin

ESTE Alueilla, joilla rakennusten arvo laskee, on vaikeaa saada pankkilainaa kattamaan korjauskustannuksia ja energiatehokkuusinvestointeja.

KORJAUSLIIKE Tuetaan rakennuskannan kehittämistä ja energiatehokkuuden parannuksia alueilla, joilla markkinaehtaisen rahoituksen saatavuudessa on ongelmia. Kannustetaan ja fasilitoidaan kunnissa ryhmäkorjaamista⁷⁶, jolloin kohteet voivat tulla kokoluokaltaan kiinnostaviksi myös rahoitusratkaisun tarjoaville energiapalvelu-toimijoille ja suunnittelijoiden käyttö on kokonaistaloudellisempaa. Mahdollistetaan asuinrakennusten energiatehokkuustukien käyttö laajemmin myös palvelumalleilla toteutettuihin energiainvestointeihin.

Heikot kannustimet uusien ratkaisujen kehittämiselle ja käyttöönnotolle

ESTE Taloudelliset kannustimet kiertotalous- ja energiatehokkuusratkaisujen sekä älykkään energiankäytön käyttöönnotolle ovat heikot, ja rakennusosalalla karsastetaan ratkaisuja, joista ei ole pitkää kokemusta. Kun kysyntä on heikkoa, myös ratkaisuiden kehittämisen kannustimet ovat heikot.

KORJAUSLIIKE Panostetaan kiertotalous- ja energiatehokkuuden ratkaisujen tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Luodaan kysyntää tehokkaammille ja älykkäämmille rakennuksille, vähäpäästöisille työkoneille ja rakennusmateriaaleille suosimalla niitä julkisissa hankinnoissa. Kehitetään myös taloudellista ohjausta tukemaan ratkaisujen käyttöönottoa⁷⁷. Selvitetään hinnoittelu- ja toimintamalleja, joilla koko järjestelmä energian tuotannosta käyttöön saadaan tehokkaammin saman markkinaohjauksen piiriin. Esimerkiksi, mikäli energiayhtiö myisi sähkön ja lämmön sijaan asumisolosuhteita, energiayhtiö voisi toteuttaa rakennuksen energiatehokkuusinvestoinnit ja hoitaa rakennuksen energiankäytön älykkään ohjauksen samoilla kannattavuuskriteereillä kuin investoinnit energian tuotantoon ja jakeluun.

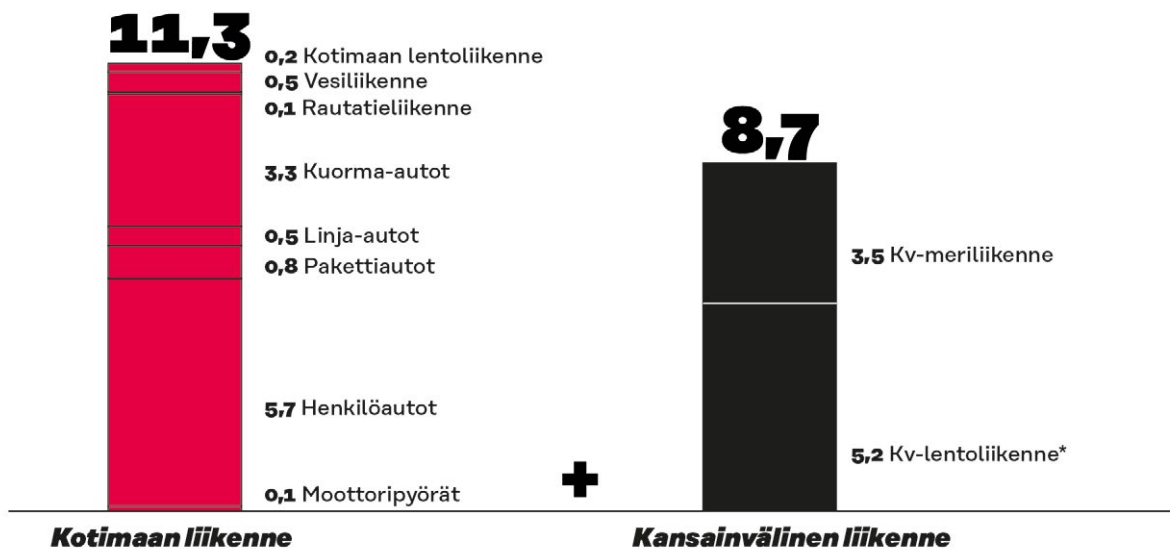
⁷⁶ Ryhmäkorjaamisessa toteutetaan useamman kiinteistön samankaltainen korjaaminen yhtenä projektina. Fasilitointi voi olla esimerkiksi neuvontaa ja samassa tilanteessa olevien kiinteistönomistajien tuomista yhteen – ks. esim. [Taloyhtiöklubi-hanke](#).

⁷⁷ Esimerkkejä energiaratkaisuja tukevista taloudellisista ohjauskeinoista ovat hallitusohjelmassakin mainittu dynaaminen sähkövero, tehomaksut, lämmityslaskun jyvitys taloyhtiössä pyyntilämpötilojen mukaan, lämmön tuntipohjainen hinnoittelu, kotitalousvähennyksen laajentaminen energiapalveluihin ja kiinteistöverotuki älykkäiden ratkaisujen käyttöönottajille.

6 Liikenne

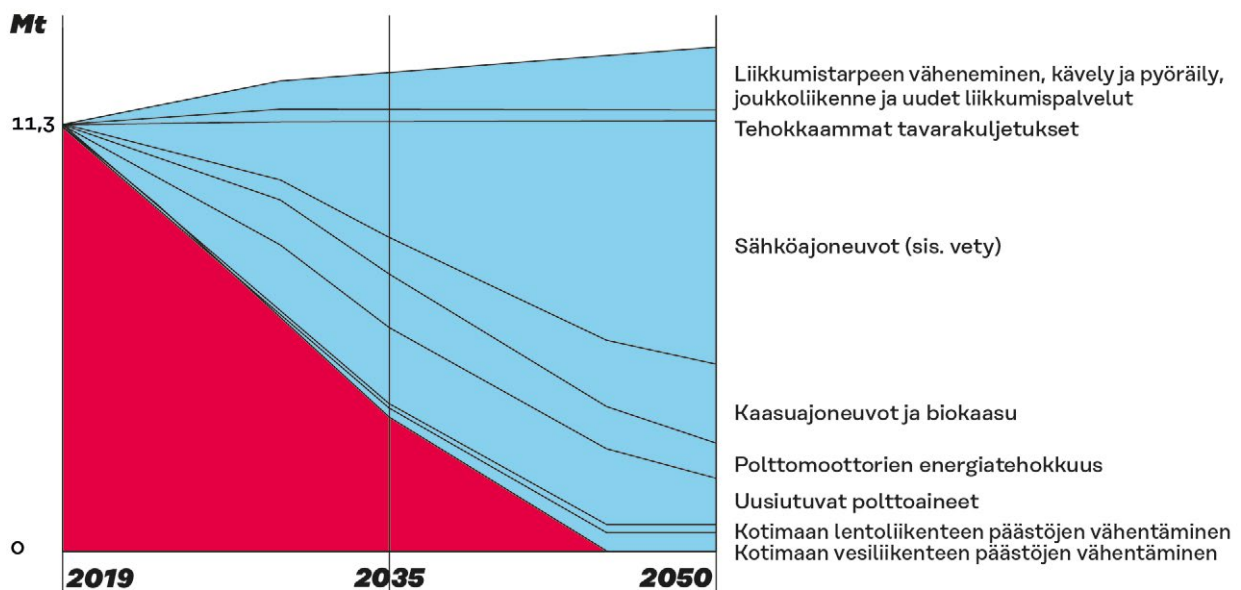


Kuva 10. Liikenteen päästöt 2019 (Mt)



*Sisältäen lentoliikenteen muiden kuin CO₂-päästöjen ilmastoa lämmittävän vaikutuksen. Kansainvälisen lentoliikenteen ilmastoa lämmittävä vaikutus on arvioitu kertomalla CO₂-päästöt kahdella.

Kuva 11. Päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä



Kuvassa ratkaisujen päästövähennyspotentiaali on esitetty suhteessa nykyiseen päästöintensiiteettiin. Lisätietoa laskelmista on liitteessä B.

6.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet

Kotimaan liikenteen päästöt olivat 11,3 Mt vuonna 2019 ([Tilastokeskus 2021a](#)). Päästöistä liki 95 prosenttia syntyy tieliikenteessä. Henkilöautot tuottivat päästöistä yli puolet, 5,7 Mt, ja paketti-, linja- ja kuorma-autot yli 40 prosenttia ([VTT 2020b](#)). Loput päästöistä syntyvät vesi- (0,4 Mt), lento- (0,2 Mt) ja rautatieliikenteessä (0,1 Mt).

Kotimaan liikenteelle on asetettu oma kansallinen päästötavoite, jonka mukaan päästöjen tulee puolittua vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä, ja vuonna 2045 tavoitteena on täysin fossiiliton liikenne.

[Koljosen ym. \(2020\)](#) hiilineutraaliustavoitteen toteuttavissa vähäpäästöskenaarioissa ja Ilmastopaneelin päästövähennyspolussa ([Seppälä ym. 2019b](#)) kotimaan liikenteen päästöt laskevat vuoteen 2035 mennessä noin 8–9 Mt, eli 65–80 prosenttia verrattuna vuoteen 2019. Valtion välitavoite liikenteen päästöjen puolittamisesta vuoteen 2030 mennessä on linjassa skenaarioiden kanssa, mutta skenaarioissa vähennystahti kiristyy vuoden 2030 jälkeen. Toistaiseksi kotimaan liikenteen päästöt ovat pysyneet pitkään samalla tasolla, sillä vaikka ajoneuvojen energiatehokkuus on parantunut, liikennesuoritteet eli liikutut kilometrit ovat kasvaneet.

Kotimaan liikenteen lisäksi Suomesta lähtevä kansainvälinen meri- ja lentoliikenne lämmittää ilmastoa noin 8,7 Mt edestä (ks. kuva 10). Suomesta lähtevän meriliikenteen hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2017 3,5 Mt ([Andersson ym. 2020](#)). Kansainvälisen lentoliikenteen Suomessa myydyn polttoaineen hiilidioksidipäästöt vuonna 2019 olivat 2,6 Mt ([Tilastokeskus 2021f](#)). Lentoliikenteen suhteen on kuitenkin huomioitava, että yläilmakehässä muutkin palamisen päästöt lämmittävät ilmastoa, ja nykyarvioiden mukaan lentämisen ilmastoa lämmittävä vaikutus on noin kaksinkertainen sen hiilidioksidipäästöihin nähden. Kokonaisuutena

Suomesta lähtevän lentoliikenteen ilmastoa lämmittävä vaikutus on siis lähes yhtä suuri kuin henkilöautoliikenteen.

Suomesta lähtevän kansainvälisen lentoliikenteen päästöt ovat tuplaantuneet vuodesta 2005 ([Tilastokeskus 2021f](#)), ja Suomen ja ulkomaiden välisten merikuljetusten päästöt ovat pysyneet vakaina ([Andersson ym. 2020](#)). Koronapandemia on laskenut kansainvälisen liikenteen päästöjä, mutta laskun odotetaan jäävän väliaikaiseksi.

Kansainvälinen meri- ja lentoliikenne eivät sisälly Suomen tai EU:n ilmastotavoitteisiin. Sen sijaan esimerkiksi Iso-Britannia sisällytti kansainvälisen meri- ja lentoliikenteen päästöt uusimpaan ilmastobudjettiinsa ([Yhdistyneen kuningaskunnan hallitus 20.4.2021](#)). Suomen hallitus on tehnyt kansainvälisen lento- ja meriliikenteen päästöjen vähentämiseksi periaatepäätökset, joiden mukaan lentoliikenteessä päästöjä pyritään vähentämään vuoden 2018 tasosta 15 prosenttia vuoteen 2030 mennessä ja 50 prosenttia vuoteen 2045 mennessä ([Valtioneuvosto 2021b](#)), ja meriliikenteen osalta tavoitellaan päästöjen laskua kansainvälisten tavoitteiden mukaan ([Valtioneuvosto 2021c](#)). Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO tavoittelee globaalien päästöjensä puolittamista vuoden 2008 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Kansainvälisessä siviili-ilmailujärjestössä ICAO:ssa tavoitellaan lentämisen hiilineutraalia kasvua vuodesta 2020 eteenpäin, eli hiilidioksidipäästöjen kasvu vuoden 2020 jälkeen on tarkoitus hyvittää kompensatioyksiköillä. Pitkän tähtäimen kansainvälisestä päästötavoitteesta pyritään sopimaan vuonna 2022.

Liikenteen päästöjä ohjataan sekä EU-että kansallisen tason sääntelyllä, veroilla ja tuilla. EU velvoittaa autovalmistajia saavuttamaan myydyissä autoissa tietyn kiristyvän keskimääräisen päästötason, ja EU:n sisäiset lennot kuuluvat EU:n päästökauppaan. Euroopan komissio on esittänyt myös lukuisia uusia ohjauskeinoja ([Euroopan komissio 14.7.2021](#)). Ehdotuksen mukaan vuodesta 2035 kaikkien uusien henkilö- ja pakettiaut-

tojen olisi oltava nollapäästöisiä, ja tieliikenteelle perustettaisiin uusi erillinen päästö-kauppajärjestelmä. Myös meriliikenne sisällytettäisiin EU:n päästökauppaan, meri- ja lentoliikenteen polttoaineiden verovapaudesta luovuttaisiin, ja kestäville lentopolttoaineille asetettaisiin jakeluvaikeus ja meriliikenteen käyttämän energian päästöintensiteetille katto.

Suomessa on käytössä biopolttoaineiden jakeluvaikeus, joka edellyttää, että 18 prosenttia tieliikenteen nestemäisistä polttoaineista on biopolttoaineita vuonna 2021, mistä vaatimus nousee vaiheittain 30 prosenttiin vuonna 2030. Vuoden 2030 jakeluvaikeus on tarkoitus laajentaa myös lentoliikenteeseen. Polttoainevero sekä auto- ja ajoneuvovero määräytyvät hiilidioksidipäästöjen mukaan. Sähköautojen latausinfra ja kaasun tankkausinfra rakentamista tuetaan, ja uusilla sekä korjattavilla kiinteistöillä on vuodesta 2021 alkaen velvoitteita sähköautojen latausvalmiuteen. Myös Suomen Kestävän kasvun ohjelma kohdistaa varoja jakeluinfrastruktuurin ja liikenteen uusiutuvien polttoaineiden kehityksen tukemiseen (Valtioneuvosto 2021d). Lisätoimista liikenteen päästötavoitteiden saavuttamiseksi on tarkoitus päättää syksyllä 2021 (Liikenne- ja viestintäministeriö 6.5.2021).

6.2 Ratkaisut ja niiden tilanne

Liikenteen päästövähennystavoitteiden saavuttaminen edellyttää useita eri toimia. Kuvassa 11 on esitetty päästövähennysten mahdollinen jakautuminen eri ratkaisuille. Liikkumistarpeen väheneminen ja siirtymien kestävämpiin liikkumismuotoihin sekä tehokkaampiin tavarakuljetuksiin auttavat kääntämään päästöt laskuun. Loput päästöt poistetaan siirtymällä uusiin käyttövoimiin, eli sähköön, vetyyn ja biokaasuun, tai vaihtamalla uusiutuviin polttoaineisiin. Seuraavaksi tarkastellaan ratkaisuja tarkemmin.

Liikkumistarpeen väheneminen

Liikkuminen on välttämättömyys, mutta keskimääräistä liikkumistarvetta eli matkojen määrää tai pituutta on mahdollista jossain määrin vähentää. Tarpeellisten matkojen määrää voivat vähentää esimerkiksi verkkokauppa, etätö- ja etäkokousmahdollisuudet sekä digitalisoidut palvelut. Matkojen pituutta voidaan lyhentää tehokkaammalla yhdyskuntarakenteella (ks. [alueiden resurssiviisas suunnittelu](#)) ja suosi- malla lähimatkailua.

Liikennejärjestelmäsuunnittelulla ja suurten kaupunkien kanssa tehtävillä maan- käytön, asumisen ja liikkumisen (MAL) sopimuksilla sekä etätö- ja etäkokouksen yleistymisellä uskotaan yhdessä [kävelyn ja pyöräilyn](#) sekä [joukkoliikenteen edistämisen](#), [logistiikan digitalisaation](#) ja [liikenteen palveluistumisen](#) kanssa olevan merkittävä potentiaali vähentää liikenteen päästöjä, sillä niiden on arvioitu kääntävän tulevaisuuden ennustettu huomattava liikennemäärien kasvu laskuksi henkilöliikenteessä ja hillitsevän kasvua raskaassa liikenteessä (Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021b). Vaikutus päästöihin riippuukin siitä, vähentävätkö ratkaisut liikennemääriä kokonaisuutena pitkällä aikavälillä – on mahdollista, että liikkumisen väheneminen yhdellä elämäntilanteella johtaa liikkumisen lisäämiseen toisaalla, tai että tehostuminen johtaa kysynnän kasvuun. Esimerkiksi etätö voi mahdollistaa muuton kauemmas, jolloin asiointimatkat kasvavat, tai verkkokaupan helppous voi johtaa ostosten jakautumiseen pienempiin osiin ja kasvavaan logistiikan kysyntään.

Koronapandemian aikana etätö, verkko-kauppa ja lähimatkailu ovat selvästi lisääntyneet ja liikennemäärät pienentyneet. [Kovalainen ym. \(2021\)](#) arvioivat kyselytulosten perusteella, että koronapandemia vähensi työmatkaliikennettä neljänneksellä syksyllä 2020 ja etätö- ja etäkokouksen lisääntyminen voisi vähentää työmatkaliikennettä 13 prosenttia myös pandemian jälkeen. Monen muutoksen pysyvyys on kuitenkin epäselvää.

Kävely ja pyöräily

Kävelyn ja pyöräilyn kulkutapaosuutta kasvattamalla saavutetaan päästövähennyksiä ja kansanterveyshyötyjä. Kulkumuotojen suosiota voidaan kasvattaa parantamalla niiden suhteellista vaivattomuutta, nopeutta, turvallisuutta ja edullisuutta.

Kävelyn ja pyöräilyn matkamäärien kasvu 50 prosentilla nykyisestä, eli noin 750 miljoonalla matkalla, toisi 0,12 Mt päästövähennyksen vuonna 2030, mikäli puolet matkoista korvaisi ennustettua keskimääräistä henkilöautoilua.⁷⁸

Vuosina 2011–2016 kävely ja pyöräily eivät pyrkimyksistä huolimatta ole juurikaan lisääntyneet ([Liikennevirasto 2018](#)). Kunnilla on kriittinen rooli kävelyn ja pyöräilyn edistämisessä, sillä ne vastaavat kävelyn ja pyöräilyn infrastruktuurista ja voivat kaavoituksella ja liikennesuunnittelulla vaikuttaa kulkumuotojen mahdollisuuksiin. Reilulla 10 prosentilla Suomen kunnista on voimassa oleva kävelyn tai pyöräilyn edistämisohjelma, minkä lisäksi joillain kaupunkiseuduilla on yhteisiä ohjelmia.

Valtiolla on tärkeä rooli kuntien kävely- ja pyöräilyinvestointien tukemisessa. Kävelyn ja pyöräilyn edistämisohjelmassa esitetään, että valtio tukisi kuntien investointeja kävellyn ja pyöräilyyn 30 miljoonalla eurolla vuodessa. Toteutunut taso vuonna 2019 oli 3,5 miljoonaa euroa ([Traficom 2021](#), [Traficom 2020a](#)). Vuonna 2020 tukea myönnettiin enemmän, 14,9 miljoonaa euroa kuntien ja eri toimijoiden avustuksiin sekä 10 miljoonaa euroa valtion liikenneverkolla tapahtuviin toimenpiteisiin. Lisäksi hallitus lisäsi kannusteita työsuhdepyöräilyyn tekemällä työsuhdepyörästä verovapaan edun ([Valtiovarainministeriö 2020b](#)).

Joukkoliikenne

Liikennejärjestelmän tehokkuus paranee ja päästöt vähenevät, kun yksityisautoilua korvataan joukkoliikenteellä. Parhaiten tämä onnistuu tiheästi asutuilla alueilla sekä kaupunkien välisessä liikenteessä. Joukkoliikenteen suosiota voidaan lisätä parantamalla joukkoliikennevälineillä kulkemisen suhteellista vaivattomuutta, nopeutta ja hintaa.

Ilmastopaneelin arvion ([Liimatainen & Viri 2017](#)) mukaan joukkoliikenteen kulkutapaosuutta kasvattamalla voidaan vähentää päästöjä 0,18 Mt vuonna 2030. Tämä toteutuu, mikäli selvityksen perusskenaarioon verrattuna joukkoliikenteen matkamäärä kasvaa 36 prosenttia, eli matkoja tulee 80 miljoonaa lisää.

Joukkoliikenteellä tehdään kahdeksan prosenttia matkoista ja kuljetaan 14 prosenttia matkasuoritteesta, mutta alueiden väliset erot ovat suuria ([Liikennevirasto 2018](#)). Vuosien 2011 ja 2016 välillä joukkoliikenteen osuus matkasuoritteesta vähentyi ja henkilöautoilun kasvoi. Suomessa yleinen hajautunut ja usein yksityisautoilun ehdoilla suunniteltu yhdyskuntarakenne tekee autoilusta kätevää ja laadukkaana joukkoliikenteen tarjoamisesta kallista.

Kuntien rooli kaavoittajana, liikennesuunnittelijana, joukkoliikenteen tarjoajana sekä joukkoliikenteen, pysäköinnin ja tulevaisuudessa mahdollisesti myös teiden käytön hinnoittelijana on lähiliikenteen tulevan kehityksen kannalta ratkaiseva. Myös valtio osallistuu joukkoliikenteen rahoittamiseen, mikä mahdollistaa esimerkiksi lähiraideliikenteen hankkeet. Valtion osuus seutujen sisäisen joukkoliikenteen kokonaisrahoituksesta on kuitenkin viime vuosikymmenien aikana laskenut, kun kuntien rahoitus on lisääntynyt ([Traficom 2020b](#)). Hallitusohjelmassa on linjattu raideinvestointien määrän kasvattamisesta

78 Laskelmassa on oletettu [Traficom](#)in (2020a) mukaisesti, että keskimääräinen pyörämatka on 3,3 km, puolet lisääntyneistä matkoista korvaisi keskimääräistä henkilöautoilua ja autojen keskipäästö vuonna 2030 on noin 93 gCO₂/km. Kyseinen keskipäästö perustuu VTT:n vuonna 2020 laskemaan liikenteen perusuraan, jossa on vuonna 2030 noin 350 000 sähköautoa ja 30 prosentin jakeluvaihte biopolttoaineille.

myös kaupunkiseutujen välillä, ja muun muassa nopeita yhteyksiä Helsingistä Turkuun ja Tampereelle edistetään.

Uudet liikkumispalvelut

Uusia liikkumispalveluita ovat esimerkiksi liikkumisvälineiden jaetun käytön mahdollistavat palvelut ja liikenteen yhdistämispalvelut, joissa yhden palveluntarjoajan kautta voidaan käyttää usean eri toimijan liikkumispalveluja, kuten joukkoliikennettä, taksia, vuokra-autoja ja kaupunkipyöriä. Yhdistämispalveluihin liittyy vahvasti idea liikenteestä tai liikkumisesta palveluna (MaaS, Mobility as a Service). Harvemmin asutuilla seuduilla uudet liikkumispalvelut voivat olla kyytien ja tavarakuljetusten yhdistämistä.

Liikkumispalveluiden päästövähennyspotentiaali riippuu niiden kyvystä syrjäyttää henkilöautoliikennettä ja toisaalta syrjäytettävien autojen päästöistä. On mahdollista, että uudet palvelut syrjäyttävät alkuvaiheessa lähinnä kestäviä liikkumismuotoja, mutta pitkällä aikavälillä parempien liikkumispalvelujen odotetaan johtavan siihen, että yhä harvempi hankkii auton.

Liikenteen uusien palveluiden markkina on kehittymässä, mutta vielä alkuvaiheessa. Suomen markkinoilla on tarjolla jo monia uusia palveluita, kuten yhdistämispalveluita (MaaS Global Oy), yhteiskäyttöautoja (24Go/GoNow, Omago, Greenmobility), sähköpotkulautoja ja kaupunkipyöriä, sekä alustapalveluita kyytien (Uber) ja yksityisautojen (Bloxcar, Gomore) jakamiseksi. Harvemmin asutuilla seuduilla on usean toimijan yhteishankkeissa puolestaan kokeiltu tarjota julkisista palvelukuljetuksista kyytipalveluita myös yksityisille asiakkaille ([Sitra 2019](#)).

Palveluiden tarjonnan edistämiseksi on säädetty uusi liikennepalvelulaki, joka velvoittaa liikenteen toimijoita avaamaan

niin kutsuttujen olennaisten tietojen, kertalipun sekä puolesta-asioinnin rajapinnat⁷⁹, jotta yhdistämispalveluita on mahdollista tuottaa ([Traficom 2020c](#)). Käytännössä rajapintojen yhteensovittamisessa on vielä haasteita, ja liikkumispalveluiden tarjoajat toivovat panostuksia markkinoiden valvontaan.

Tehokkaammat tavarakuljetukset

Kuljetuksiin liittyviä liikennevirtoja voidaan tehostaa useilla erilaisilla tavoilla. Käyttö- ja täyttöasteita voidaan nostaa tehostamalla digitalisaation avulla liikenteen ohjaamista, reittien suunnittelua, optimointia varastoissa ja terminaaleissa sekä tiedon hallintaa kansainvälisissä logistiikkaketjuissa. Jakelu-liikennettä voidaan tehostaa liikenteen automatisaatiolla ja uudentyypisillä kuljetusmuodoilla, kuten drooneilla, tavarapyörillä ja kuljetusroboteilla. ([Andersson ym. 2020](#), [Pöyskö ym. 2020](#)) Tavarankuljetusten energiatehokkuutta voidaan parantaa myös hyödyntämällä enemmän pidempiä ja raskaampia, ns. HCT (High Capacity Transport) -ajoneuvoja ja siirtämällä tavaraa soveltuvien osien teiltä raiteille, joiden osuus tavarankuljetussuoritteesta on nyt alle 30 prosenttia.

Logistiikan digitalisaation on arvioitu vähentävän päästöjä 0,09–0,24 Mt vuoteen 2030 eri skenaarioissa ([Pöyskö ym. 2020](#)). Noin kahden prosentin siirtymä kuorma-autoliikenteestä raiteille taas voisi tuoda arviolta 0,02 Mt päästövähennyksen vuoteen 2030 ja 0,05 Mt vuoteen 2045 mennessä ([Autoalan Tiedotuskeskus 2020b](#)). Hyödyntämällä lain Suomessa sallimat suuret mitat ja massat tiekuljetuksissa täysimääräisesti voitaisiin saavuttaa noin 0,06 Mt vähenemä vuonna 2030 ([Liikenne- ja viestintäministeriö 2021](#)).

79 Puolesta-asioinnin rajapinnoilla viitataan yrityksen mahdollisuuksiin ostaa lippuja toisen yrityksen tuottamiin (liikenne)palveluihin kuluttajan puolesta, jotta kuluttaja voi maksaa vain kokonaisuuden kaikki liikennepalvelut sisältävästä kokonaisuudesta.

Viime vuosina kuljetusten päästöt eivät ole laskeneet ja kuljetussuoritteiden trendi on ollut nouseva, vaikka kuljetetun tavarantoiminnan määrässä ei ole ollut vastaavaa kasvua (Andersson ym. 2020, Pöyskö ym. 2020). Verkkokaupan kasvu on mahdollisesti kasvattanut kuljetusmääriä ja lisännyt kuljetettavan kappaleiden määrää. Kokonaisuudessaan noin 23 prosenttia kuljetuksista on tyhjänä ajona (Andersson ym. 2020).

Sähkökäyttöiset ajoneuvot

Sähköllä käydessään ajoneuvot eivät tuota ajossa hiilidioksidipäästöjä tai lähipäästöjä. Polttomoottoriin verrattuna sähkömoottori on hyötysuhteeltaan erittäin tehokas, mikä säästää energiaa ja laskee ajoneuvon käyttökustannuksia. Akun energiatiheys on kuitenkin huomattavasti dieseliä pienempi, joten hyvin pitkällä matkoilla ja raskailla kuljetuksilla tarvittavien akkujen paino ja kustannus muodostuvat haasteeksi. Toisaalta korkeatehoisen pikalatauksen hyvä saatavuus tieliikenteelle lyhentäisi tarvittavia kantamia ja voisi tehdä sähköstä kustannustehokkaan päästövähennyskeinon myös raskaalle liikenteelle (Nykivist & Olsson 2021). Myös valtioiden sähköistämistä on visioitu ratkaisuksi kuorma-autoille. Se mahdollistaisi akkujen lataamisen ajon aikana.

Tuoreimman liikenteen politiikkaskenaarion (Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021b) mukaan sähköautoja, sisältäen sekä täyssähköautot että lataushybridit, olisi liikenteen päästötavoitteiden saavuttamiseksi henkilöautoista 46 prosenttia vuonna 2035 ja 79 prosenttia vuonna 2045. Pakettiautoista vastaavat luvut ovat 34 ja 74 prosenttia ja kuorma-autoista 8 ja 18 prosenttia. Kuorma-autoissa sähköä nähdään lisääntyvän enemmän kevyemmissä, perävaunuttomissa autoissa. Akkujen kehitys ja pikalataus voivat kuitenkin kirkastaa sähköä näkymiä myös raskaimmissa ajoneuvoissa (Nykivist & Olsson 2021).

Henkilöautoissa uusien sähköautojen määrä on jo lähtenyt nopeaan kasvuun.

Vuonna 2020 sähköautojen, sisältäen täyssähköautot ja lataushybridit, osuus autojen ensirekisteröinneistä oli jo lähes viidennes (Autoalan Tiedotuskeskus 2020a). Kokonaisuutena osuus autokannasta on kuitenkin vielä pieni, täyssähköautojen 0,2 ja lataushybridien 1,2 prosenttia. Myös sähkökäyttöisten paketti- ja linja-autojen ensirekisteröinnit ovat kasvussa, mutta määrät ovat selvästi henkilöautoja pienemmät. Ensimmäisiä sähkökäyttöisiä kuorma-autoja on myös otettu käyttöön.

Nyt käytössä olevilla toimilla sähkökäyttöisten henkilöautojen osuuden henkilöautoista arvioidaan nousevan 12 prosenttiin vuonna 2030 (Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021a). Merkittäviä hidasteita sähköautojen yleistymiselle ovat niiden korkea hankintahinta, suppea valikoima sekä latausmahdollisuuksien puute. Sähköautojen tehdashinnan on kuitenkin globaalisti arvioitu saavuttavan vastaavan polttomoottoriauton vuonna 2025 (BloombergNEF 2020), ja vaihtoehtona auton omaraahoitukselle on tarjolla yksityisleasingiä ja matalakorkoista osamaksua. Uusia automalleja julkistetaan jatkuvasti.

Kiinteistöliiton kyselyn mukaan kolmannes kerrostaloyhtiöistä aikoo asentaa kiinteistölleen latauspisteitä viiden vuoden sisällä (Kiinteistöliitto 2020). Taloyhtiöiden latausinfrastruktuuria onkin haettu runsaasti, ja määrärahat vuosina 2020 ja 2021 loppuivat kesken (ARA 2021). Työpaikoille tukea ei toistaiseksi ole. Julkisessa latausverkostossa on vielä aukkoja erityisesti Koillis- ja Pohjois-Suomessa (Andersson ym. 2020), ja raskaan liikenteen korkeatehoista pikalatausta ei ole vielä saatavilla. EU-komissio on kuitenkin ehdottanut velvoitteita latausinfrastruktuurin tarjoamiselle, ja myös tiukentavat päästöstandardit uusille autoille ja uusi liikenteen päästökauppa (Euroopan komissio 14.7.2021) nopeuttanevat autokannan sähköistymistä, jos ne toteutuvat nyt ehdotetuissa muodoissa.

Kaasukäyttöiset ajoneuvot ja biokaasu

Biokaasu on uusiutuva polttoaine, jota voidaan tuottaa jäteraaka-aineesta (ks. biokaasun tuotanto [maataloudessa](#) ja [jätehuollossa](#)). Suomen suurimman biokaasun jakelijan Gasumin mukaan heidän jakelemana biokaasu vähentää polttoaineen elinkaaripäästöjä enimmillään 90 prosenttia bensiiniin verrattuna ([Gasum](#)). Erityisen tärkeä rooli biokaasulla ajatellaan olevan fossiilisten polttoaineiden korvaamisessa raskaassa liikenteessä, jossa sähkön käyttö voi olla haastavaa. Paineistetun tai nesteytetyn metaanin energiatiheys on akkuja suurempi, mutta tilavuuden suhteen kuitenkin selvästi dieseliä pienempi, eli metaanitankki vie ajoneuvossa enemmän tilaa tai ajoneuvon kantama on lyhyempi.

Liikenteen politiikkaskenaarion ([Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021b](#)) mukaan kaasukäyttöisiä kuorma-autoja olisi vuonna 2035 12 prosenttia ja vuonna 2045 24 prosenttia kannasta. Henkilöautoista vastaavat luvut olisivat 7 ja 10 prosenttia. Kaasun käytössä fossiilisen kaasun osuus laskisi nopeasti, ja biokaasua kuluisi vuonna 2035 noin 3 TWh ja vuonna 2045 noin 4,5 TWh. Vuonna 2019 liikennebiokaasua kulutettiin alle 0,1 TWh ([Tilastokeskus 2021c](#)), ja biokaasun osuus tieliikenteessä tankatusta kaasusta oli noin 54 prosenttia ([Tilastokeskus 2021c](#)). Kokonaisuudessaan liikennesektorin energiatarve on ollut viime vuosina noin 50 TWh ([Tilastokeskus 2021c](#)).

Biokaasu on päätetty sisällyttää liikenteen biopolttoaineiden jakeluvelvoitteeseen vuodesta 2022 alkaen. Kaasukäyttöisten ajoneuvojen määrät ovat viime vuosina nousseet, ja vuoden 2020 lopussa kaasukäyttöisiä henkilöautoja oli yli 12 000 ja kuorma-autoja vajaa 300 ([Autoalan Tiedotuskeskus](#)), mikä vastaa 0,4 prosenttia henkilöautoista ja 0,3 prosenttia kuorma-autoista.

Liikenteen perusennusteessa ([Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021a](#)) kaasukäyttöisten henkilöautojen myynti pienenee vuodesta 2025 alkaen, koska Volkswa-

gen-konserni on ilmoittanut, ettei jatka kaasuautojen kehittämistä. Tällä hetkellä Suomessa myytävät uudet kaasuautot ovat kaikki Volkswagen-konsernin valmistamia. Taustalla on EU:n uusien autojen CO₂-päästöjä koskeva lainsäädäntö, joka kannustaa sähköautojen kehitykseen. Lainsäädäntö koskee tällä hetkellä henkilö- ja pakettiautoja, mutta sääntely ulotetaan kuorma-autoihin vuodesta 2025 alkaen ([Eurooppa-neuvosto 13.6.2019](#)). Kuorma-autojen raja-arvot ovat kuitenkin löyhemmät kuin henkilö- ja pakettiautoilla, ja kannustavat siirtymään myös kaasuun.

Vetyajoneuvot ja puhdas vety

Vedyllä kulkeva polttokennoajoneuvo ei tuota ajossa kasvihuonekaasupäästöjä. Vetyauto on sähköauto, mutta sillä on vain pieni akku ja se kuljettaa mukanaan vetyä, jonka polttokennot muuntavat sähköksi. Tavalliseen sähköautoon verrattuna vedyn käyttö on energiatehotonta ja siten pääsääntöisesti kalliimpaa, sillä sähkö on muunnettava elektrolyysissä ensin vedyksi ja sitten uudelleen sähköksi. Vety voi toimia ratkaisuna erityisesti pitkillä matkoilla ja raskaassa liikenteessä, joissa tavalliseen sähköajoneuvon tarvittava suuri akkukapasiteetti tulisi kalliiksi, pitkät latausajat eivät sovi tai ajoneuvon painolle on tiukat vaatimukset. Vety on dieseliä kevyempää, mutta tilavuudessa mitattuna paineistettu vety vie kuitenkin paljon dieseliä enemmän tilaa. Vety tarvitsee erillisen jakeluinfrastruktuurin.

Liikenteen politiikkaskenaariossa ([Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021b](#)) vetyä ei ole eritelty sähköautoista, mutta Fossiilittoman liikenteen työryhmän loppuraportissa todetaan, että pidemmällä aikavälillä vety voi olla hyvä vaihtoehto raskaan kaluston sähköistämiseksi ([Andersson ym. 2020](#)). [Koljonen ym. \(2020\)](#) olettivat, että vedyllä voisi olla rooli raskaan liikenteen lisäksi myös henkilöautopuolella vuodesta 2030 eteenpäin.

Euroopassa vetyä on jo kokeiltu rakkaassa liikenteessä. Esimerkiksi Norjassa on ollut vetyrekkoja testikäytössä ja Englannissa vetybusseja jo useamman vuoden ajan. Hyundai tavoitteena on saada 1600 vetyrekkaa käyttöön Sveitsissä vuoteen 2025 mennessä ([Hyundai Hydrogen Mobility](#)).

Suomessa liikenteen vetykokeiluja ei ole tehty, eikä Suomessa ole vedyn jakeluinfrastruktuuria. EU-komissio on kuitenkin ehdottanut jäsenmaille velvoitteita rakentaa vedyn jakeluasemia kaupunkeihin ja valtatien varsille ([Euroopan komissio 14.7.2021](#)). Kansallinen vetyklusteri pyrkii edistämään yleisesti vedyn tuotantoa Suomessa (ks. [Teollisuus](#)).

Uusiutuva diesel

Liikenteen fossiilisia polttoaineita voidaan korvata nestemäisillä biopolttoaineilla, erityisesti uusiutuvalla dieselillä, ilman muutoksia ajoneuvoihin tai jakeluinfrastruktuuriin. Biopolttoaineilla saatava elinkaari-päästövähennys riippuu käytetyistä raaka-aineista ja itse valmistusprosessin päästöistä.

Biopolttoaineiden vähimmäiskestävyysvaatimukset on määrätty EU-direktiivissä ([Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi \(EU\) 2018/2001](#)), joka esimerkiksi asettaa minimivaatimuksen elinkaari-päästövähennyksille (65 prosenttia uusissa tuotantolaitoksissa vuoden 2021 jälkeen) ja rajoittaa ravinto- ja rehukasveista sekä käytetystä ruokaöljystä ja eläinrasvoista valmistettujen biopolttoaineiden käytön kasvua tulevaisuudessa. Niin kutsuttuja kehittyneitä biopolttoaineita, joiden osuutta halutaan kasvattaa, voidaan valmistaa muun muassa levistä, teollisuuden ja yhdyskuntien jätteistä, metsätähteistä sekä selluloosasta. Neste ilmoittaa jäte- ja tähdepohjaisen Neste MY -dieselinsä vähentävän elinkaari-päästöjä 50–90 prosenttia fossiiliseen dieseliin verrattuna ([Neste](#)).

Biopolttoaineiden kestävien raaka-aineiden määrä on rajallinen. Liikenteen ilmasto-politiikan työryhmä arvioi vuonna 2018, että

nestemäisten biopolttoaineiden kestävä tuotantopotentiaali Suomen tarpeisiin on 10 TWh vuonna 2030 ja siitä eteenpäin, mikä suunnilleen vastaa jo asetettua 30 prosentin jakeluvelvoitetta vuonna 2030 ([Särkijärvi ym. 2018](#)). Liikenteen politiikkaskenaarion ([Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021b](#)) mukaan nestemäisten biopolttoaineiden määrä nousee nykyisestä hieman yli 5 TWh:sta hieman yli 9 TWh:iin vuonna 2030, ja alkaa 2040-luvulla uudelleen laskea. Lopulta jakeluvelvoitteen täyttämiseen tarvittava määrä riippuu muiden käyttövoimien yleistymisestä.

Uusiutuva diesel on fossiilista dieseliä kalliimpaa, ja kestävien raaka-aineiden tarjonnan niukkuuden on arvioitu johtavan kehittyneiden biopolttoaineiden hintojen nousuun ([Sipilä ym. 2018](#)). Se kannustaa myös tutkimaan uusia raaka-aineita. Esimerkiksi Neste tutkii levien, metsä- ja maataloustähteiden ja eri jättejakeiden potentiaalia.

Synteettiset polttoaineet

Nykyisiä fossiilisia polttoaineita kuten metaania, dieseliä, bensiiniä ja kerosiinia voidaan tuottaa synteettisesti yhdistämällä talteen otettua hiilidioksidia vetyyn. Ammoniakkia saadaan yhdistämällä vetyä typpeen. Mikäli vety valmistetaan elektrolyysillä vedestä ja sähköstä, puhutaan sähköpolttoaineista tai power-to-X:stä (P2X). Elinkaari-päästövähennys riippuu vedyn tuotantovasta sekä käytetyn energian ja hiilidioksidin lähteestä. Vain päästöttömästi tuotetusta vedystä sekä biogeenisestä lähteestä tai ilmasta kaapatusta hiilidioksidista voidaan tuottaa pitkällä tähtäimellä aidosti hiilineutraaleja polttoaineita, mutta myös fossiiliperäisen hiilidioksidin kierrättäminen tuo päästövähennyksiä. (Ks. [myös biokaasua ei riitä kaikille, mutta synteettisestä kaasusta saattaa olla apua](#).)

Synteettisiä polttoaineita voidaan hyödyntää nykyisissä ajoneuvoissa ja jakeluinfrastruktuurissa. Toisin kuin biopolttoaineilla, niiden raaka-aineita on periaatteessa saata-

vissa hyvin. Synteettisten polttoaineiden tuotanto ja käyttö polttomoottoreissa on kuitenkin erittäin energiatehontaa ja siten kallista verrattuna sähkön hyödyntämiseen suoraan sähköautoissa, tai jopa vedyn käyttöön polttokennoissa. Synteettisiä polttoaineita pidetään mahdollisesti merkittävänä tapana tuottaa kestäviä polttoaineita vaikeimpiin sovelluksiin, joissa paino- ja tilavuusvaatimukset ovat tiukkoja, kuten lentoliikenteeseen tai pitkän matkan raskaaseen tieliikenteeseen. Lisäksi niiden tuotantoa voidaan käyttää osaltaan tasapainottamaan tulevaisuuden vaihtelevaa sähköntuotantoa (ks. [joustava kulutus](#)).

Synteettisten polttoaineiden kehitys on vielä kesken, ja erilaisia pilotteja on käynnissä ja valmisteilla. LUT-yliopisto ja ryhmä yrityksiä, mukaan lukien Finnsementti, Kemira, Neste, St1, Wärtsilä ja Finnair, ovat selvittäneet sementin tuotannon hiilidioksidin kierrättämistä metanoliksi, josta on mahdollista jalostaa raskaampia hiilivetyjä, ja todenneet teknologian olevan kypsä teolliseen kokoluokkaan. Vantaan Energia ja Wärtsilä selvittävät mahdollisuutta valmistaa synteettistä metaania Vantaan jätevoimalassa. Toimintaympäristö on kuitenkin epävarma, sillä sääntelyä synteettisille polttoaineille ei ole vielä olemassa. EU tuottaa niille näillä näkymin elinkaaripäästölaskentasaännöt vuonna 2021. EU-komissio on myös ehdottanut, että vuodesta 2030 synteettisten polttoaineiden osuudelle tieliikenteessä asetetaan tavoite, ja synteettisille lentopolttoaineille asetetaan oma jakeluvelvoite ([Euroopan komissio 14.7.2021](#)). Synteettiset polttoaineet lisätään kansalliseen biopolttoaineiden jakeluvelvoitteen piiriin vuodesta 2023 alkaen.

Lentoliikenteen ilmastoa lämmittävän vaikutuksen pienentäminen

Lentoliikenteen ilmastoa lämmittävää vaikutusta voidaan pienentää pitkälti samoin kuin tieliikenteessä: lentotarvetta vähentämällä, esimerkiksi suosimalla etäkokouksia ja

lähimatkailua; parantamalla energiatehokkuutta teknologian kehityksen ja lentotoiminnan tehostamisen kautta; uusiutuvilla puhtaammilla polttoaineilla; ja erityisesti lyhyemmillä matkoilla uusilla käyttövoimilla, sähköllä ja vedyllä. Lisäksi ilmastoa lämmittävää vaikutusta voidaan pienentää kiinnittämällä huomiota lentoreitteihin ja -aikoihin, jolloin voidaan vähentää lämmittävien pilvien muodostumista.

Mikäli uusia keinoja päästöjen vähentämiseksi ei oteta käyttöön, liikenteen kasvu voisi lisätä Suomesta lähtevän lentoliikenteen päästöjä vuoden 2018 tasosta 20–25 prosenttia vuoteen 2030 ja 40 prosenttia vuoteen 2045 mennessä. Uusien energiatehokkaiden koneiden, toimintojen tehostamisen ja kulutuskäyttäytymisen muutosten kuitenkin arvioidaan rajaavan päästöjen kasvun 10 prosenttiin vuonna 2030. Tähän tilanteeseen sovellettuna uusiutuvan lentopolttoaineen 30 prosentin jakeluvelvoitteella saavutettaisiin yhteensä 0,4 Mt päästövähennys kotimaiseen ja kansainväliseen lentoliikenteeseen vuonna 2030 vuoden 2018 päästötasosta. Kotimaisen lentoliikenteen osuus päästövähennyksestä on kuitenkin hyvin pieni. ([Andersson ym. 2020](#).)

Koska polttoaine on lentoyhtiöille merkittävä kuluerä, koneiden ja toiminnan energiatehokkuuden kehityksen uskotaan jatkuvan ilman lisäohjausta – joskin kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö ICAO arvioi, että sen tavoite vuosittaisesta kahden prosentin koneiden energiatehokkuuden parantumisesta jää saavuttamatta ([Fleming & Lépinay 2019](#)). Sen sijaan puhtaampiin polttoaineisiin tai käyttövoimiin ei siirrytä ilman lisäkannusteita tai -velvoitteita. Toistaiseksi lentopolttoaine on verovapaata, ja kansainväliset lennot myös vapaita arvonlisäverosta. EU-komissio on kuitenkin esittänyt polttoaineen verovapaudesta luopumista EU:n sisäisillä lennoilla ja EU:n laajuista uusiutuvan lentopolttoaineen jakeluvelvoitetta, joka olisi viisi prosenttia vuonna 2030 ja kasvaisi 63 prosenttiin vuonna 2050 ([Euroopan komissio 14.7.2021](#)).

INFOBOKSI

Biokaasua ei riitä kaikille, mutta synteettisestä kaasusta saattaa olla apua

Tällä hetkellä biokaasua tuotetaan Suomessa vuosittain noin 1 TWh ja se hyödynnetään pääosin sähkön ja lämmön tuotannossa ([Huttunen ym. 2017](#)). Biokaasuohjelmaa valmistelleen työryhmän loppuraportissa ([Työ- ja elinkeinoministeriö 2020](#)) Suomen biokaasutuotannon tekniseksi tuotantopotentiaaliksi on raaka-ainepohjan perusteella arvioitu noin 16 TWh. Biokaasutuotannon mahdollisista syötteistä suurin osa tulee maataloussektorilta. Koska kaikkia biomassatuotantoon sopivia raaka-aineita ei kuitenkaan pystytä ohjaamaan tuotantoon, on biokaasutuotannon teknistaloudellinen potentiaali yleisesti arvioitu huomattavasti teoreettista tuotantopotentiaalia pienemmäksi, noin 10 TWh tasolle. Esimerkiksi lannan arvioitu teknistaloudellinen potentiaali (1,8 TWh) on hieman alle puolet sen teknisestä potentiaalista (3,9 TWh) ([Luostarinen ym. 2019](#)) – arvio myös olettaa eläinmäärien säilyvän nykyisellään.

Biokaasualan arvion ([Virolainen-Hynnä 2020](#)) mukaan biokaasun realistinen tuotantotavoite vuodelle 2030 olisi 4–7 TWh, ja samalla aikajänteellä biokaasun kysynnäksi arvioitiin 4–11 TWh. Eniten kysyntää biokaasulle odotetaan olevan tie- ja meriliikenteessä: raskaassa tieliikenteessä 1,5–4,5 TWh, laivaliikenteessä 0,5–4 TWh ja henkilöautoissa 0,5–1 TWh vuonna 2030. [Särkijärvi ym. \(2018\)](#) arvioivat, että biokaasua saataisiin tieliikenteen käyttöön 2,5 TWh vuonna 2030 ja 10 TWh vuonna 2045. Kokonaisuudessaan kotimaan liikenteen energiatarve on ollut viime vuosina noin 50 TWh ([Tilastokeskus 2021c](#)) ja Suomesta lähtevän merirahdiliikenteen 12 TWh⁸⁰.

Tie- ja meriliikenteen lisäksi biokaasulle löytyy tulevaisuudessa kysyntää myös teollisuudessa, sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä maataloudessa. Biokaasualan arvion mukaan biokaasun kysyntä sähkön- ja lämmöntuotannossa olisi 0,4–2 TWh ja teollisuudessa 0,5–4 TWh vuonna 2030.

Biokaasun kysyntä on siis todennäköisesti ennen pitkää arvioitua tuotantopotentiaalia suurempaa. Tuotantopotentiaalia voi olla mahdollista kasvattaa uusilla teknologioilla. Termisellä kaasutuksella biokaasua voidaan tuottaa puusta, joka ei sovellu mädätyksellä tuotettavan biokaasun syötteeksi. Puun hyödyntäminen olisi kuitenkin käytännössä pois muusta energiahyödyntämisestä tai hiilinielusta. Myös uusia raaka-aineita saattaa löytyä, mutta niidenkin kestävydestä on huolehdittava.

Biokaasun potentiaalia täydentävä vaihtoehto on synteettinen metaani, jota tuotetaan hiilidioksidista ja vedestä sähkön avulla (power-to-gas tai power-to-methane). Prosessissa kuitenkin kuluu paljon energiaa. [Thema ym. \(2019\)](#) tarkastelivat nykyisiä power-to-methane-projekteja ja totesivat, että niiden hyötysuhde oli keskimäärin 41 prosenttia. 10 TWh synteettistä kaasua vaatisi siis 24 TWh puhdasta sähköä. Vertailun vuoksi, Suomessa tuotettiin vuonna 2019 66 TWh sähköä. Korkeammatkin hyötysuhteet ovat kuitenkin mahdollisia – nykyisellä parhaalla teknologialla vedyn elektrolyysin hyötysuhde on noin 80 prosenttia, ja jopa 90 prosentin hyötysuhde voidaan saavuttaa esimerkiksi höyryelektrolyysillä, johon Neste on sijoittanut ([Neste 6.3.2020](#)), tai VTT:n tutkimalla kiinteäoksiditeknologialla ([VTT 26.11.2019](#)). Q Power ilmoittaa metanointiprosessinsa hyötysuhteeksi 83 prosenttia ([Q Power 2020](#)). Jos molempien vaiheiden kokonaishyötysuhde olisi yhteensä 66 prosenttia, 10 TWh synteettistä metaania vaatisi enää 15 TWh sähköä.

Synteettisen metaanin kilpailukyky on riippuvainen itse tuotantotekniikan kehityksestä sekä raaka-aineiden (hiilidioksidi, vesi) ja puhtaan sähkön hinnasta. [Gorre ym. \(2019\)](#) arvioivat synteettisen metaanin tulevan biokaasulle kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi parhaassa tapauksessa jo vuonna 2030, mikäli sähköä olisi vuoden ympäri saatavilla hintaan 24 €/MWh.

80 Meriliikenneviennin päästöt (3,5 Mt) jaettuna raskaan polttoöljyn päästökertoimella ([Tilastokeskus 2021g](#)).

Vesiliikenteen päästöjen vähentäminen

Kotimaisen ja kansainvälisen vesiliikenteen päästöjä voitaisiin vähentää laivakuljetusten energiatehokkuuden parantamisella sekä kestäville meripolttoaineilla ja uusilla käyttövoimilla. Polttoaineiden kulutusta voitaisiin pienentää tuuli- ja aurinkovoimalla, maasähkön tarjoamisella satamissa, aluskannan uudistamisella, alusten operatiivisilla toimilla⁸¹, vesiväylien tehokkaalla järjestämisellä ja vesiliikenteen paremmalla ohjauksella. Nestemäisillä biopolttoaineilla, nesteytetyllä biokaasulla ja tulevaisuudessa synteettisillä polttoaineilla, kuten synteettisellä ammoniakilla, voitaisiin korvata vesiliikenteessä nykyisin käytettävää meridieseliä, raskasta öljyä, kaasuöljyä ja nesteytettyä maakaasua (LNG). Myös vety nähdään potentiaalisena vähäpäästöisenä käyttövoimana vesiliikenteessä. (Andersson ym. 2020.)

Itämeren alueella liikkuvien alusten energiatehokkuuden arvioidaan parantuneen jo noin 20 prosenttia vuodesta 2008 vuoteen 2018, koska polttoainekustannukset ovat merkittävä kuluerä vesiliikenteessä. Muita fossiilisia polttoaineita hieman vähäpäästöisemmälle nesteytetylle maakaasulle LNG:lle on jo jakelupisteitä lähes kaikissa Suomen kansainvälisen liikenteen satamissa ja Gasum on aloittanut LNG:n ja nesteytetyn bio-kaasun sekoitteen jakelua. Laivojen moottoreita valmistava Wärtsilä tutkii ammoniakkin käyttöä ja sen tavoitteena on, että vuoteen 2025 mennessä yhtiön moottorit voisivat käyttää ammoniakkia 20–40-prosenttisena seoksena nykyisen polttoaineen kanssa (Tekniikka&Talous 2021). Maasähköä on tarjolla muutamissa Suomen satamista ja Suomen ensimmäinen sähkölossi aloitti liikennöintinsä vuonna 2018. Flexens on tehnyt esiselvitystä vedyn hyödyntämisestä Ahvenanmaan lauttaliikenteessä (Flexens 2020).

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO valmistelee sitovia laivakohtaisia päästöintensiiteettimääräyksiä edistääkseen osatavoitettaan merikuljetusten 40 prosentin päästöintensiiteetin laskusta vuoteen 2030 mennessä. Esitykset hiilen hinnoittelusta eivät ole edenneet IMO:ssa. Vesiliikenteen polttoaineet ovat toistaiseksi verottomia, eikä kannusteita polttoainevaihdoksiin ole. Kansainväliset alukset voivat bunkrata eli tankata polttoainetta myös muualta, jos yksittäisessä maassa hinnat ovat kalliimpia, joten kansainvälinen yhteistyö on kriittisen tärkeää. (Andersson ym. 2020.) EU-komissio on ehdottanut, että meriliikenne tuodaan EU:n päästökaupan piiriin, EU:n sisäisen meriliikenteen polttoaineiden verovapaudesta luovutaan ja polttoaineiden päästöintensiiteettiä rajoitetaan – esimerkiksi vuonna 2030 päästöintensiiteetin tulisi laskea kuusi prosenttia nykyisestä (Euroopan komissio 14.7.2021).

81 Kuten reittioptimoinnilla tai nopeuden tai konetehon rajoittamisella.

6.3 Esteet ja korjausliikkeet

Yksityisautoilun ehdoilla suunniteltu liikenne

ESTE Arkiliikkuminen Suomessa on keskimäärin hyvin autoriippuvaista, koska henkilöauto on pääsääntöisesti kätevin kulkuväline liikkumiseen isossa osassa Suomea. Tämä on pitkäjänteisen kaavoitus- kulttuurin ja liikennesuunnittelun tulos. Pysäköinnin kustannuksetkaan eivät täysimääräisesti kohdistu autoilijoille, vaan niitä sisältyy myös esimerkiksi asuntojen hintoihin. Helsingin kaupungin ilmasto-ohjelmassa tiemaksut nähdään kriittisenä keinona kaupungin liikenteen päästöjen vähentämiseksi, mutta kaupunki ei voi lain mukaan periä niitä (*Helsingin kaupunki 2018a*).

KORJAUSLIIKE Kasvatetaan kestävien kulkumuotojen suosiota parantamalla niiden suhteellista vaivattomuutta, nopeutta, turvallisuutta ja edullisuutta. Lisätään sekä valtion että kuntien investointeja laadukkaaseen ja kattavaan joukkoliikenne-, kävely- ja pyöräilyinfrastruktuuriin, priorisoidaan kävelijät, pyöräilijät ja joukkoliikenne liikennejärjestelyissä ja lisätään tukea joukkoliikenteen lippuhintoihin. Toisaalta harkitaan autojen pääsyn rajoittamista kaupunkien keskusta-alueille, parkkipaikkainormien tason laskua tai normeista luopumista, parkkipaikojen vähentämistä keskustoissa ja niiden todellisia kustannuksia vastaavaa hinnoittelua. Mahdollistetaan tiemaksut laissa hallitusohjelman mukaisesti.

Heikot taloudelliset kannusteet siirtyä kestävämpiin liikkumismuotoihin tai käyttövoimiin

ESTE Liikenteen maksut ja verot eivät kaikilta osin kannusta päästövähennyksiin. Polttoaineiden valmisteverotus ei ole reaalisesti noussut pitkään aikaan. Diesel-autoilijat

maksavat dieselin polttoaineveron alemman tason ja kiinteän käyttövoimaveron takia joka ajokilometristä sitä vähemmän, mitä enemmän he ajavat. Kilometrikorvaukset korvaavat auton käytöstä todellisia kustannuksia enemmän, työnantajan tarjoama pysäköintietu on veroton ja autoetu verotuksessa aliarvotettu. Sähkö- ja kaasuautot ovat hankintahinnaltaan vielä vastaavia bensiini- ja dieselmalleja kalliimpia, vaikka erityisesti paljon ajavalle henkilöautoilijalle ne voivat olla kokonaiskäyttökustannukseltaan jo halvempia, ja rahoituksen saaminen kalliimpaan ajoneuvoon tuottaa osalle vaikeuksia. Samalla päästöjen hinnoittelun kiristäminen aiheuttaa huolta logistiikan kilpailukyvyistä ja syrjäseutujen pienituloisten liikkumisesta. **KORJAUSLIIKE** Toteutetaan päästövähennyksiin tähtäävä liikenteen kokonaisvaltainen vero-, maksu- ja tukiudistus osana kestävä kehityksen verosiirtymää, jossa päästöjen hinnoittelua suhteellisesti kiristetään ja samaan aikaan alennetaan muuta liikenteen verotusta sekä mahdollisesti jopa tuloveroa, ja tarvittaessa kohdennetaan lisätukia esimerkiksi syrjäseutujen pienituloisille.

Uudistuksessa otetaan huomioon mahdollinen EU:n uusi liikenteen päästökauppajärjestelmä ja sen vaikutukset liikenteen maksuihin. Mikäli kyseinen ehdotus ei toteudu, voitaisiin harkita myös kansallista liikenteen päästökauppajärjestelmää. Uudistuksessa tulisi suosia voimakkaammin kestävämpiä liikkumismuotoja sekä vähäpäästöisiä ajoneuvoja työmatkaeduisissa, ja tukea uusien vähäpäästöisten ajoneuvojen hankintaa pienentämällä vähäpäästöisten autojen auto- ja ajoneuvoveroa ja ohjaamalla hankintatukia raskaille ajoneuvoille. Tulisi myös harkita, voitaisiinko kansalaisten päästöjä vähentäviin investointeihin, mukaan lukien vähäpäästöisen ajoneuvon hankintaan, myöntää lainan valtiontakaus. Oikeudenmukaisuuden kannalta olennaista on, että toimet ovat hyvin ennakoitavissa, valitaan kustannustehokkaita ja hyväksyttä-

viä ohjauskeinoja sekä tunnistetaan sellaiset mahdolliset ryhmät, joihin kohdistuu kokonaisuutena kohtuuton rasitus, ja lievennetään sitä.

Kestävien polttoaineiden kalleus ja rajalliset raaka-aineet

ESTE Biopohjaisten polttoaineiden kestäviä raaka-aineita on rajallisesti, ja ne ovat myös fossiilisia polttoaineita kalliimpia. Vedystä ja hiilidioksidista valmistetut synteettiset polttoaineet ovat vasta kehitteillä, ja toistaiseksi niiden valmistus on varsin energiatehottomaa ja kallista. Katso myös [vetytalouden puuttuva sääntely](#) sekä [investointiympäristön hankala ennakoitavuus](#).

KORJAUSLIIKE Lisätään tukea uusien kestävien polttoaineiden kehitykselle, demonstroinnille ja markkinoille pääsyyn. Tarkastellaan, olisiko perusteltua kasvattaa ja tarkistaa kehittyneiden polttoaineiden osavelvoitetta entisestään – esimerkiksi synteettisille polttoaineille voidaan harkita omaa osavelvoitetta.

Uusien käyttövoimien muna-kana-ongelma

ESTE Uudet käyttövoimat vaativat myös uuden jakeluinfrastruktuurin, sähköntapauksessa latausverkoston, biokaasun ja vedyn tapauksessa tankkausinfra. Uusien käyttövoimien ostamista arastellaan, jos jakeluinfra ei ole kattava tai sähköauton latauspistettä tai sen asentamismahdollisuutta kotona tai työpaikalla ei ole. Toisaalta julkista jakeluinfraa ei voida ylläpitää, ellei käyttäjiä ole tarpeeksi, eikä kiinteistönomistajien kannata investoida, jos latauspalvelun kysyntä on epävarma. Uusi latausvalmiusvelvoite velvoittaa uusia ja korjattavia kiinteistöjä asentamaan vain putkituksen eli kaapelointireitin, ei latausvalmiuden tarvitsemia kaapeleita, jotka muodostavat suuremman osan kustannuksesta.

KORJAUSLIIKE Varmistetaan jakeluinfrastruktuurin kattavuus jatkamalla jakeluinf-

rastruktuurituen kilpailuttamista ja tukea taloyhtiöiden sähköjärjestelmien uusimiselle. Laajennetaan tukea myös työpaikkojen pysäköinnin kaapelointeihin ja sähkökeskusten laajentamiseen ja pidetään huolta, että osa tuista kohdistuu raskaamman kaluston tarvitsemaan uuteen jakeluinfrastruktuuriin. Selvitetään mahdollisuutta kiristää latausvalmiusvelvoitetta vaatimaan kaapelointia.

EU-sääntely ajaa kevyet kaasautot markkinoilta

ESTE EU:n uusia autoja ohjaava päästö- ja arvosääntely ohjaa valmistajia vain sähkö- ja vetyautoihin kevyemmissä ajoneuvoluokissa, joten bio- ja synteettisen kaasun potentiaali liikenteen päästövähennyskeinona voi jäädä vajavaisesti hyödynnetyksi. Volkswagen-konserni, joka valmistaa kaikki Suomessa uutena myytävät kaasutot, on ilmoittanut luopuvansa kaasutotien kehittämisestä.

KORJAUSLIIKE Vaikutetaan EU-sääntelyyn, jotta se ei sulkisi pois kaasua kevyemmissäkään ajoneuvoluokissa. Kaasutuille on ehdotettu esimerkiksi omaa valmistuskiintiötä tai jaetun biopolttoaineosuuden huomioimista autojen päästörajoissa. Suomessa liikenteeseen myydystä metaanista yli puolet on jo biokaasua.

Lento- ja meriliikenteen puutteellinen ohjaus

ESTE Nykyisillä tavoitteilla ja ohjauskeinoilla lento- ja meriliikenne eivät vähennä päästöjä riittävästi. Lentoliikenteessä on kansainvälisesti onnistuttu sopimaan vain päästöjen kasvun hyvittämisestä eli kompensoinnista, ja meriliikenteessä valmistellaan uusia toimia päästöintensiteetin vähentämiseksi, mutta tämä ei välttämättä johda kokonaispäästöjen laskuun. Kannustimia vaihtaa puhtaampiin polttoaineisiin ei ole.

KORJAUSLIIKE Mahdollisimman laaja yhteistyö on tärkeää kansainvälisen lento- ja erityisesti meriliikenteen ohjauksessa, sillä kansallinen politiikka sisältää hiilivuotoris-

kin, jos esimerkiksi polttoaineen hinta nousee politiikan myötä vain paikallisesti. Edelläkävijät voivat kuitenkin kirittää yhteistä politiikkaa. Asetetaan tavoitteeksi, että kotimainen ja Suomesta lähtevä lento- ja meriliikenne eivät enää lämmitä ilmastoa ja että fossiilisen lento- ja meripolttoaineen myynti Suomessa loppuu vuoteen 2050 mennessä. Edistetään vastaavien sekä riittä-

vien välitavoitteiden asettamista EU:ssa sekä globaalisti ICAO:ssa ja IMO:ssa. Asetetaan kiristynvä uusiutuvien polttoaineiden jakeluvelvoite lento- ja meriliikenteeseen. Edistetään jakeluvelvoitteita ja riittävää hiilen hinnoittelua tukevia keinoja, kuten polttoaineen päästöjen verotusta ja päästökauppaa, myös alueellisesti, EU-tasolla sekä globaalisti.

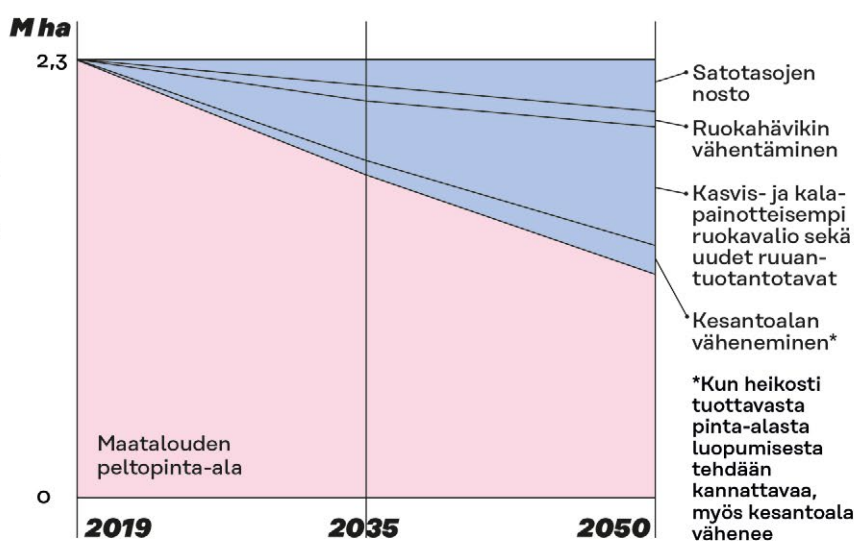
7 Maatalous



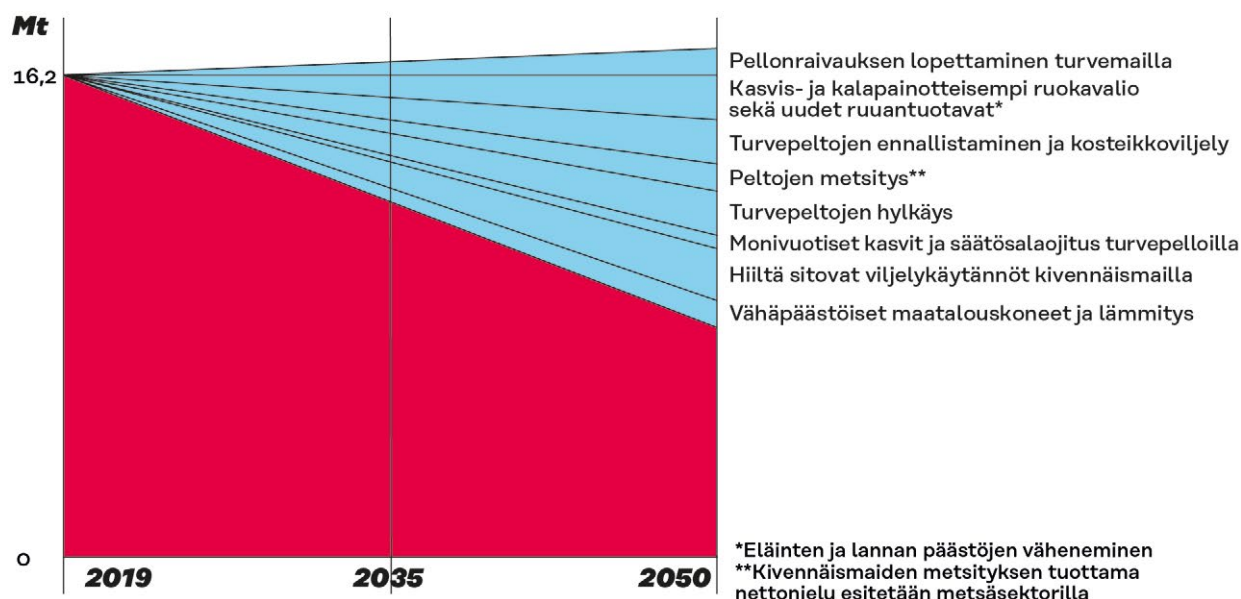
Kuva 12. Maatalouden päästöt 2019 (Mt)



Kuva 13. Osa ratkaisuista vapauttaa peltopinta-alaa suorille päästövähennysratkaisuille



Kuva 14. Päästövähennysten mahdollinen jakautuminen suorien päästövähennysratkaisujen välillä



Kuvassa ratkaisujen päästövähennyspotentiaali on esitetty suhteessa päästöjen nykytilaan ja turvepeltojen pellonraivauksen jatkumiseen nykytasolla. Lisätietoa laskelmista on liitteessä B.

7.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet

Maatalouden yhteenlasketut päästöt vuonna 2019 olivat 16,2 Mt, eli noin neljänneksen Suomen kokonaispäästöistä (ks. kuva 12). Tästä maaperän päästöt, eli hiilen hävikki sekä lannoittamisen ja muiden viljelytoimien aiheuttamat dityppioksidipäästöt, muodostavat kolme neljännestä, eläinten ruuansulatuksessa syntyvä metaani ja lannan käsittely yhteensä 20 prosenttia sekä maatalouskoneet ja muu energiankäyttö kuusi prosenttia (Tilastokeskus 2021e).⁸² Lisäksi maatalouteen epäsuorasti liittyviä päästöjä – kuten esimerkiksi lannoitteiden valmistus, kuljetukset ja kasvuturpeen päästöt – raportoidaan muilla sektoreilla.

Maatalouden päästöistä yli puolet, 8,8 Mt, on peräisin turvepeltojen viljelystä, vaikka niiden osuus kokonaispeltoalasta on vain noin 10 prosenttia. Turvepeltoja on erityisesti Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa. Kun turvemaat ojitetaan viljelykäyttöön, turve joutuu kosketuksiin ilman kanssa ja alkaa hajota muodostaen hiilidioksidia ja dityppioksidia. Lisäksi turvemaiden viljely aiheuttaa muita haitallisia ympäristövaikutuksia, kuten huuhtoutuvien kiintoainesten ja ravinteiden aiheuttamaa vesistökuormitusta.

Koska maatalouden ilmastopäästöt muodostuvat lähinnä hajallaan olevista biologisista päästölähteistä, päästöjen vähentäminen on haastavampaa kuin muilla sektoreilla. Maatalouden päästöt vähenevätkin eri skenaarioissa huomattavasti muita sektoreja hitaammin: [Koljosen ym. \(2020\)](#) vähäpäästöskenaarioissa ja Ilmastopaneelin hiilineutraaliuspoluissa ([Seppälä ym. 2019b](#)) noin 30–35 prosenttia vuoteen 2035 mennessä ja 50–60 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Maa- ja metsätaloustuottajain

keskusliiton MTK:n ja Ruotsinkielisten maataloustuottajain keskusliiton SLC:n ilmastotiekartassa ([Lehtonen ym. 2020](#)) päästöt vähenevät skenaariosta riippuen 29–42 prosenttia vuoteen 2035 mennessä ja 38–77 prosenttia vuoteen 2050 mennessä, sisältäen metsityksen ja kivennäismaalle saavutetun hiilinielun.

Käytännössä päästövähennysten toteuttaminen tarkoittaa, että maatalouden käytössä olevaa pinta-alaa on vähennettävä, ja jäljelle jäävällä alalla on siirryttävä viljelytapoihin, jotka vähentävät maaperäpäästöjä. Erityisesti turvepeltojen toimet ovat kriittisiä, ja arvioiden mukaan myös kustannustehokkaita⁸³. Lisäksi eläinten ruuansulatuksen ja lannan käsittelyn päästöjä on vähennettävä ja energiankäytön päästöt pitää poistaa vuoteen 2050 mennessä lähes kokonaan.

Maatalouteen ei toistaiseksi kohdistu merkittävää päästövähennysohjausta, ja maatalouden kokonaispäästöt ovatkin kasvaneet noin viisi prosenttia vuodesta 1990 maaperäpäästöjen kasvun takia.

Maatalouden kehityksessä EU:n yhteisellä maataloustukijärjestelmällä on keskeinen rooli, sillä Suomen maatalous on pitkälti riippuvainen tuista. Maataloustuet ovat pääosin pinta-alaperusteisia, joten ne kannustavat ylläpitämään maatalouskäytössä olevaa pinta-alaa. Tukea on saatavilla myös investointeihin, joista ilmastotoimien kannalta tärkeitä ovat esimerkiksi biokaasulaitosten investointituet ja lainan valtiontakaus. Joitain päästöjä vähentäviä toimenpiteitä tuetaan EU:n määrittelemällä viherryttämistuella sekä ympäristökorvausjärjestelmällä, jonka Suomi on hyväksyttänyt Euroopan komissiolla. Näiden tukien ohjausvaikutus on kuitenkin heikko, sillä tukimäärä jakautuu liian moniin toimiin ja liian laajalle alalle ([Hyvönen ym. 2020](#)).

82 Maaperäpäästöihin liittyy suurempaa epävarmuutta kuin esimerkiksi fossiilisiin polttoaineisiin, ja niiden tutkimus jatkuu. Päästöjen muodostumisen mekanismit kuitenkin tunnetaan tarpeeksi hyvin, jotta tiedetään, millä ratkaisuilla niitä voidaan vähentää. Tulevaisuudessa tarkentuva tieto päästöistä voi siis vaikuttaa päästöarvioihin ja ratkaisujen päästövähennyspotentiaaliin, mutta ei juurikaan tarvittaviin ratkaisuihin.

83 [Lehtonen ym. \(2020\)](#) arvioivat alustavasti, että turvemaiden päästövähennystoimet maksaisivat 6–9 €/tCO₂. Vertailun vuoksi EU:n päästökaupassa päästöoikeuden hinta oli heinäkuussa 2021 yli 50 €/tCO₂.

INFOBOKSI

Maankäyttösektorin ilmastotoimet liikkeelle päästökompensaation keinoin

Ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi maa- ja metsätalouden ilmastotoimien pitää olla laajamittaisia ja pitkäjänteisiä, joten kannustimien luominen toimille kansallisen tai EU-tason ilmastopolitiikalla on välttämätöntä. Päästökompensaatioyksiköiden tuottaminen ja myynti vapaaehtoisilla kompensatiomarkkinoilla voi kuitenkin tarjota taloudellisen kannustimen maa- ja metsätalouden hiilensidonnan edelläkävijöille ennen kuin kannustimet saadaan politiikalla luotua, ja myöhemminkin päästökompensointi mahdollistaa kansallista ja EU-ohjausta kunnianhimoisemmat ilmastotoimet. Päästöjen kompensoinnin tavoite on kumota aiheutettu ilmastohaitta vähentämällä tai sitomalla omia päästöjä vastaava määrä jossain toisaalla. Kompensaatioksi hyväksyttävän päästövähennyksen tai hiilensidonnan tulee olla todellinen, mitattavissa, pysyvä ja lisäinen. Päästö ei esimerkiksi saa siirtyä muualle, jolloin puhutaan hiilivuodosta, sidottu hiili ei saisi myöhemmin vapautua, eikä toimea pitäisi olla mahdollista toteuttaa ilman kompensatioyksikön myynnistä saatua tuloa.

Käytännössä tämän takaaminen on haastavaa mille tahansa projektille, eikä kompensatioilla tulisi koskaan korvata toteutettavissa olevia omia päästövähennyksiä. Kompensointi kuitenkin kirittää ilmastotoimien kunnianhimoa, jos kompensoidaan päästöjä, joiden välttäminen ei ole vielä mahdollista, tai jotka ovat tapahtuneet jo aiemmin.

Kompensaatioyksiköiden laatu pyritään yleensä varmistamaan standardeilla ja kolmannen osapuolen todentamisella. Tunnetuimpia ja arvostetuimpia kansainvälisiä standardeja ovat Gold Standard ja Verified Carbon Standard. Toistaiseksi kompensatioprojekteja on ollut pääasiassa kehittyvissä maissa, eikä suoraan suomalaisen viljelyyn tai metsänhoitoon soveltuvia standardeja vielä ole. [Niemistö ym. \(2021\)](#) sekä alan kotimaiset toimijat suosittelevat, että alalle luodaan kansalliset yhtenäiset vähimmäiskriteerit ja selkeät säännöt luotettavuuden ja kuluttajansuojan toteutumisen varmistamiseksi. Ympäristöministeriö onkin selvittänyt eri sääntelyvaihtoehtoja ([Ympäristöministeriö d](#)). Myös alan vapaaehtoinen sääntely etenee. Suomen standardoimisliitto on käsitellyt aloitetta suomalaisen standardin luomiseksi metsän kasvun lisäämisen käytöstä kompensaatina, ja Valio on ilmoittanut sertifioivansa nurmen hiiliviljelyä Gold Standardin mukaan ([Nousiainen 2020](#)).

Kotimaisen maankäytön hiilinielujen käyttämiseen päästökompensaationa liittyy muutamia erityiskysymyksiä, jotka sääntelyn ja standardien kehittämisessä on huomioitava. Ensinnäkin hiilinielujen mittaaminen on vaikeaa ja pysyvyyden varmistaminen liki mahdotonta. Aikaansaatu maankäytön nieluvaikutus onkin hyväksyttävä väliaikaiseksi, eikä nielulla siis voi suoraan hyvittää fossiilisia päästöjä. Vastaavuutta määritettäessä tulee epävarmuudet ja riskit huomioida ja laskea hyväksi vain väliaikaisen hiilivaraston tuottama ilmastohyöty ([Nurmi & Ollikainen 2019](#)).

Toiseksi on pohdittava vapaaehtoisen kompensoinnin suhdetta valtion ilmastovelvoitteisiin. Kun vapaaehtoinen kompensatio johtaa siihen, että kompensatiahankkeen sijaintivaltio voi tehdä velvoitteidensa saavuttamiseksi vähemmän, ilmastohyöty ei kokonaisuutena kasva ja tarvittava ilmastotoimi on vain rahoitettu yksityisin varoin valtion sijaan. Tämä voi olla valtion näkökulmasta hyödyllistä, mutta saavutetun ilmastohyödyn käyttäminen rahoittajan, esimerkiksi lentoyhtiön, päästöjen kompensoimiseen on kyseenalaista. Kansainväliset standardit ovat pohtineet luovansa kaksi erillistä yksikköä, joista toinen on valtion sitoumuksiin nähden lisäinen ja soveltuva kompensointiin, ja toinen todentaa ilmastotoimen rahoituksen, mutta ei käy varsinaiseen päästökompensointiin ([Gold Standard 2020](#), [Verra 2020](#)). Jotta Suomen maankäyttösektorilla tuotettujen päästöyksiköiden myynti kompensointiin olisi mahdollista, valtio voisi esimerkiksi sitoutua ylittämään EU-velvoitteensa kompensatioon myydylä määrällä.

EU:n yhteinen maatalouspolitiikka uudistuu vuodesta 2023 alkaen. Uudella ohjelmakaudella tulee olemaan aiempaa voimakkaampi painotus ilmastotoimiin, ja monet nykyään vapaaehtoiset toimet tullaan sisällyttämään vaatimuksina jo perustuksiin. Maankäyttösektorille valmistellaan parhailaan myös kotimaista ilmasto-ohjelmaa, jonka on tarkoitus valmistua vuonna 2022. Uudessa biokaasuohjelmassa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020) valmistellaan uusia kannusteita biokaasun tuotannon kannattavuuden parantamiseksi.

7.2 Ratkaisut ja niiden tilanne

Maatalouden päästövähennysten mahdollinen jakautuminen eri ratkaisuille on esitetty kuvissa 13 ja 14. Maatalouden tarvitsemaa pinta-alaa voidaan vähentää kasvis- ja kalapainotteisemmalla ruokavaliolla, nostamalla satotasoja ja vähentämällä ruokahävikkiä. Tämä mahdollistaa heikkotuottoisemman alan metsittämisen, turvemaiden tapauksessa myös ennallistamisen, siirtämisen kosteikkoviljelyyn tai vain jättämisen maatalouskäytön ulkopuolelle. Viljelyyn jäävien turvepeltojen päästöjä voidaan vähentää monivuotisilla kasveilla ja säätösalaojituksella, ja kivennäismaat kääntää päästölähteestä nieluksi hiiltä sitovilla viljelykäytännöillä. Turvemaiden pellonraivauksen lopettaminen estää uusien päästölähteiden syntyminen, ja sitä osaltaan mahdollistaa lannan käsittely biokaasuksi ja kierrätysravinteiksi. Energiankäytön päästöt voidaan poistaa sähköistämällä tai vaihtamalla työkoneiden ja lämmityksen polttoaineet. Seuraavaksi esitellään ratkaisut tarkemmin.

Kasvis- ja kalapainotteisempi ruokavalio

Kasviksiin ja kestävästi kalastettuun tai kasvatettuun kalaan painottuva ruokavalio vähentää kotieläintuotteiden kysyntää ja siten niiden tuotantoa, mikä vähentää maataloustuotannon tarvitsemaa maa-alaa ja päästöjä. Eläinperäisen kulutuksen vähentämisellä olisi hyödyllisiä vaikutuksia myös kansanterveydelle (Valsta ym. 2018).

Suuren pinta-alan tarvetta Suomen maataloudessa ajaa kotieläintuotanto ja sen vaatima rehu. Suuruusluokkia kuvaa, että Ruokaminimi-hankkeen (Saarinen ym. 2019) laskelmien mukaan vegaaniruokavaliolla suomalaiselle maataloudelle riittäisi noin viidennes nykyisestä peltopinta-alasta. Koljonen ym. (2020) arvioivat, että pellon tarve Suomessa vähenee noin 20–40 prosenttia, jos suomalaisten naudan-, sian- ja siipikarjanlihan ja maitotuotteiden kulutus vähenee 30–50 prosenttia. Osa kysynnän laskusta vähentää tuontia, ja viennin kasvu voi osin korvata kotimaista kysyntää. Eläinmäärien väheneminen vähentää myös eläinten ruuan-sulatuksesta ja lannan käsittelystä aiheutuvia päästöjä.

Lihan kokonaiskulutus Suomessa väheni vuosina 2019 ja 2020 edellisvuosiin verrattuna, ja pidempään on ollut käynnissä siipikarjan osuuden kasvu kulutetusta lihasta (Luke 2021b). Vuonna 2020 kasviproteiinin markkinat kasvoivat yli kolmanneksella (Yle 28.6.2021). Kasvisvaihtoehdot ovat yleistyneet kauppojen hyllyillä, ruokapalveluissa sekä ravintoloissa, ja esimerkiksi Helsingin kaupunki päätti vuonna 2019 puolittaa kaupungin ruokapalveluiden lihan ja maidon kulutuksen vuoteen 2025 mennessä. Ruokattumusten ja -perinteiden muuttaminen on kuitenkin hidasta, ja toisaalta kotieläintuot-

teiden suuri tarjonta ja niiden edullisuus suhteessa vastaaviin kasvisvaihtoehtoihin ylläpitävät niiden suosiota.

Ruokahävikin vähentäminen

Ruokahävikki on alun perin syömäkelpoista ruokaa, joka päättyy jätteeksi. Hävikin syntyä voidaan välttää ennakoimalla paremmin ruuan kulutusta, tai valmistamalla tai säilyttämällä ruoka toisella tavalla. Ruokahävikin pientyminen johtaa myös päästöjen välttämiseen, jos se vähentää maataloustuotantoa. Pieni vaikutus on myös biojätteen käsittelyn päästöjen vähenemisellä.

Luonnonvarakeskus arvioi (Luke a), että Suomessa syntyy ruokahävikkiä koko ruokaketjussa noin 400–500 miljoonaa kiloa vuodessa. Hävikiksi päätyvän turhan ruoan tuottamisen aiheuttamat ilmastovaikutukset ovat noin 1 Mt. Suurin yksittäinen hävikin lähde ovat kotitaloudet, joiden osuus hävikistä on noin 120–160 miljoonaa kiloa, eli noin 20–25 kiloa henkilöä kohden vuodessa, tai kuusi prosenttia ostetusta ruoasta.

EU ja sen jäsenmaat ovat sitoutuneet YK-tavoitteeseen puolittaa ruokahävikin määrän vähittäiskaupassa ja kotitalouksissa vuoteen 2030 mennessä. Suomessa ruokahävikkiä ei kuitenkaan ole tähän asti seurattu, eikä toimijoilla ole velvoitteita vähentää hävikkiä. Elintarvikejätteen ja ruokahävikin seurantajärjestelmää rakennetaan parhaillaan, ja ensimmäinen versio päivittyvästä kansallisesta tiekartasta ruokahävikin vähentämiseksi julkaistiin elintarvikeketjun toimijoiden ja Luonnonvarakeskuksen toimesta tammikuussa 2021 (Luke b). Markkinoille on myös tullut ruokahävikin vähentämistä edistäviä palveluja. Esimerkiksi Relex tarjoaa älykkäitä ratkaisuja ehkäisemään kaupan hävikkiä, ja ResQ Clubin ja Fiksuruoka.fi:n käyttäjät voivat ostaa ylijäämäruokaa tai poisto- ja jäännöseriä.

Uudet ruuantuotantotavat: biotekninen ruoka ja hyönteiset

Bioteknisessä ruuantuotannossa hyödynnetään mikrobeja tai kasvi- tai eläinsoluja rehun, ruoan tai ruoan ainesosien tuottamiseen – esimerkiksi korvaamalla tiettyjä elintarvikkeiden kriittisiä ainesosia voidaan saada kasvistuotteista enemmän eläinperäisten kaltaisia. Myös hyönteisiä voidaan hyödyntää ruoan ja rehun tuotannossa. Useat massatuotantoon sopivat hyönteislajit ovat kaikkiruokaisia, esimerkiksi mustasotilaskärpänen voi syödä jopa biojätettä ja muuntaa sen proteiinipitoiseksi rehuksi (Heiska & Huikuri 2017).

Uudet ruoan- ja rehuntuotantotavat voivat auttaa vähentämään ruuantuotannon vaatimaa pinta-alaa ja toisaalta vähentää ruuantuotannon haavoittuvuutta esimerkiksi ilmastonmuutokselle. Niiden rooli on kuitenkin ainakin lähitulevaisuuden päästövähenneissä todennäköisesti pieni.

Lainsäädäntö hidastaa sekä hyönteistuo- tannon että bioteknisen ruuantuotannon kehitystä. Hyönteisrehun käyttö on kiellettyä muualla kuin vesiviljelyssä, eikä rehuhyönteisiä myöskään saa ruokkia teollisuuden tai ruokaketjun sivuvirroilla. Bioteknisessä tuotannossa kannattaisi hyödyntää mikrobien ja solujen geenieditointia, mutta EU:n nykyllä lainsäädäntö määrittelee näin tuotetut raaka-aineet geenimuunnelluiksi (GMO). Geenimuunnellun tuotteen hyväksyntäprosessi on raskas, ja senkin jälkeen tuote on merkittävä GMO:ksi, mikä voi vaikuttaa kuluttajien ostohalukkuuteen.

Markkinoilta löytyy kuitenkin lukuisia bioteknisiä ruuantuotantoteknologioita ja hyönteistuo- tantoa kehittäviä startupeja. Suomessa Solar Foods kehittää syötävää proteiinia hyödyntäen mikrobeja, hiilidioksidia ja uusiutuvalla sähköllä tuotettua vetyä. EniferBio taas on kehittänyt Suomessa

70–90-luvuilla käytetyn Pekilo-prosessin pohjalta teknologian, joka hyödyntää bioetanolilaitosten sivuvirtoja syömäkelpoisen rehun valmistuksessa. EntoCube kehittää teknologiaa ruokahyönteisten kasvatukseen ja Griidy vie suomalaisia hyönteistuotteita Keski-Euroopan markkinoille. Potentiaalin valjastaminen kuitenkin vaatii vielä mittavia panostuksia niin tuotekehitykseen kuin jo tehtyjen innovaatioiden kaupallistamiseen ja skaalaamiseen.

Satotasojen nosto

Satotasoja nostamalla sama määrä ruokaa voidaan tuottaa aiempaa pienemmällä pinta-alalla, ja lisäksi maahan jäävä biomassa ja siten hiilisyöte maaperään yleensä kasvavat. Satotasoa voidaan nostaa esimerkiksi tarkentamalla lannoitteiden käyttöä paremmin kasvin tarpeiden mukaiseksi, käyttämällä asianmukaisempia lajikkeita ja viljelykiertoja, tekemällä laajempia ja säännöllisempiä tilojen peruskunnostuksia sekä siirtämällä peltoalaa tehokkaammille viljelijöille. Lämpenevä ilmasto tulee pidentämään kasvukausia, ja uusien kasvilajikkeiden viljely lisää mahdollisuuksia satotasojen nostamiseen. Toisaalta ilman muuttuvaan ilmastoon sopeutumista satotasot voivat laskea.

MTK:n ja SLC:n ilmastotiekartan ([Lehtonen ym. 2020](#)) skenaarioissa arvioidaan, että viljojen satotasoja voidaan nostaa yli 10 prosenttia vuoteen 2035 ja lähes 20 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Noston myötä sama määrä viljaa voitaisiin tuottaa nykyistä 200–250 000 hehtaaria pienemmällä peltoalalla. [Lehtonen ym. \(2021\)](#) arvioivat, että 10 prosentin satotason nostolla maaperän hiilensidonnan kasvu vähentää lisäksi 0,3 Mt maaperän päästöjä vuonna 2050.

Viljojen satotaso on pysynyt Suomessa 2000-luvulla vakaana yksittäisiä katovuosia lukuun ottamatta ([Lehtonen ym. 2020](#)). Parhaita viljelykäytäntöjä ei tunneta riittävän hyvin, ja toisaalta maataloustukien pinta-alaperusteisuus sekä lyhytaikaisten vuokrapel-

tojen suuri osuus eivät kannusta satotasojen aktiiviseen nostoon. Kannusteita ei ole tullut myöskään markkinoilta, vaikka periaatteessa ilmastovaikutuksesta kiinnostuneet yritykset voisivat maksaa korkeampaa hintaa korkeamman ominaispainon viljasta. Korkeampi ominaispaino korreloi hyvin hehtaarisatojen kanssa.

Pellonraivauksen lopettaminen eloperäisillä mailla

Uusia peltoja ei enää pitäisi raivata etenkin turvemaille, jotta vältetään uusien päästölähteiden syntyminen ja luontokato.

Turvemaalle raivattu pelto tuottaa vuosittain noin 30 tonnin päästöt hehtaaria kohden ([Tilastokeskus 2020f](#)). Viime vuosina vuotuinen pellonraivaus turvemilla on ollut noin tuhannen hehtaarin luokkaa ([Lehtonen ym. 2020](#)), mikä kasvattaa vuotuisia päästöjä noin 30 kilotonnilla. Jos pellonraivaus turvemilla lopetettaisiin, vältettäisiin siis päästöjen kasvua raivauksen nykytasolla jatkumiseen verrattuna 0,3 Mt vuoteen 2030 mennessä ja 0,9 Mt vuoteen 2050 mennessä.

Kotieläintuotannon keskittyessä uutta peltoa raivataan niin rehun tuotantoon kuin lannanlevitysalaksi, jos peltoa ei ole muuten ole helposti saatavilla lähietäisyydeltä. [Lannan prosessointi ja ravinteiden kuljettaminen](#) muualle vähentäisi tarvetta lannanlevitysalan lisäykselle, ja tilusjärjestelyt, tilojen välinen yhteistyö sekä nurmirehumarkkinan kehitys voisivat vähentää painetta raivata uutta peltoa.

Heikkotuottoisen turvepeltoalan ennallistaminen tai kosteikkoviljely

Ainakin heikkotuottoiset ja vähällä käytöllä olevat turvepellot tulisi poistaa viljelykäytöstä, ja vähitellen viljely kannattaa siirtää muiltakin paksuturpeisilta pelloilta kivennäismaille. Paksuturpeiset pellot kannattaa vettää eli ennallistaa suoksi. Tällöin pohjave-

den pinta nostetaan luonnolliseen korkeuteensa esimerkiksi tukkimalla ojat, mikä pitää turpeen veden alla ja hidastaa sen hajoamista. Päästövähennysten lisäksi vedenpinnan nostolla on myös muita hyötyjä, kuten tulvien ja maastopalojen torjunta, paikallisilmaston viilennys, luonnon monimuotoisuuden vahvistaminen ja pidemmällä aikavälillä vesistökuormituksen väheneminen.

Vedenpinnan noston jälkeen pellolla voidaan myös harjoittaa kosteikkoviljelyä, eli viljellä erilaisia kosteikkokasveja. Esimerkkejä kosteikkokasveista ovat muun muassa kasvualustaksi ja kuivikkeeksi soveltuvat järeviruoko ja ruokohelpi, pensaskarpalo, rahkasammal, osmankäämi, kihokki, tervaleppä ja energiapaju.

Yksivuotisilla kasveilla viljeltyyn turvepeltoon verrattuna pellon vettäminen vähentää päästöjä noin 32 tCO₂e/ha, ja nurmen viljelyyn verrattuna 22 tCO₂e/ha. [Lehtonen ym. \(2021\)](#) arvioivat, että päästöt vähenevät 0,7 Mt vuoteen 2050 mennessä, jos turvepeltoja ennallistetaan 15 000 hehtaaria ja muutetaan kosteikkoviljelyyn 10 000 hehtaaria⁸⁴. MTK:n ja SLC:n ilmastotiekartassa isompia-kin aloja on pidetty mahdollisina – skenaariorista riippuen ennallistamiseen ja kosteikkoviljelyyn siirtyä 35–57 000 hehtaaria vuoteen 2050 mennessä ([Lehtonen ym. 2020](#)).

Turvepeltojen ennallistamisesta ja kosteikkoviljelystä on Suomessa hyvin vähän kokemusta. Niihin soveltuva kokonaispinta-ala on vielä epävarma, sillä onnistunut ennallistaminen edellyttää sopivia olosuhteita, kuten otollista pinnanmuotoa ja veden luonnollista saatavuutta. Ennallistaminen ei nykyisellään ole viljelijälle kannattavaa, sillä ennallistamiseen liittyy kustannuksia ja se johtaa maataloustuen menetykseen kyseiseltä peltoalalta. Myös kosteikkoviljely sisältää riskin maataloustuen menetyksestä.

Kosteikkoviljelykasvien markkinat ovat vielä kehittymättömät, mutta etenkin [turpeen korvaaminen kasvualustoissa](#) voisi luoda kysyntää kosteikkoviljelykasveille.

Heikkotuottoisen peltoalan ja joutoalueiden metsitys

Heikkotuottoisesta peltoalasta tulisi luopua, jolloin se voidaan metsittää. Metsittäminen voi soveltua ohutturpeisille turvepelloille, joita ei kannata [ennallistaa](#), ja se sopii hyvin kivennäismaille. Metsityspotentiaalia on myös niin kutsutuilla joutomailla, eli jo käytöstä poistetuilla pelloilla.

Metsityksen tuottama ilmastohyöty kasvaa noin 20 vuoden kuluttua puiden istutuksesta, kun sekä metsän kasvu että hiilen sidonta maaperään lisääntyvät. Yksivuotisten kasvien viljelyyn verrattuna päästöt vähenevät turvemailla 17 tCO₂e/ha, kun turpeen hajoamista nopeuttavat ja päästöjä lisäävät viljelytoimenpiteet loppuvat. 20 vuoden jälkeen päästötase on puuston kasvun ansiosta parantunut jo 32 tCO₂e/ha, ja on samalla tasolla ennallistetun pellon kanssa. ([Lehtonen ym. 2021](#).) Metsitetty kivennäismaa muodostaa ensimmäisen 20 vuoden aikana pienen, noin 1 tCO₂e/ha nielun ([Lehtonen ym. 2020](#)).

MTK:n ja SLC:n ilmastotiekartassa on oletettu, että vuoteen 2050 mennessä metsitettyä kivennäispeltoa voisi olla 30–50 000 hehtaaria, ja turvepeltoa 10–20 000 hehtaaria. Metsitykseen soveltuvia maataloudesta jo poistuneita joutoalueita on arvioitu olevan enintään 110 000 hehtaaria, josta neljännes turvemaita. Jos kaikki joutoalueet metsitettäisiin vuoteen 2035 mennessä, päästöt vähenisivät 0,4 Mt vuonna 2050 ([Lehtonen ym. 2021](#)).

Tällä hetkellä pellon metsitys ei lähtökohtaisesti ole maataloilille kannattavaa, sillä metsityksessä pelto jää maataloustukien ulkopuolelle. Lisäksi erityisesti turvemailla

84 Puolet alasta on laskettu tulevan yksivuotisten kasvien viljelystä ja puolet nurmen viljelystä. Päästövähennyskertoiimiin liittyy vielä epävarmuutta, mutta niitä mitataan parhaillaan SOMPA-hankkeessa (SOMPA).

metsityksen kustannukset voivat olla korkeat ja onnistuminen epävarmaa. Aiemmin maataloudesta poistuneeseen alaan voi soveltaa uutta, vuoden 2021 alusta käyttöön otettua joutoalueiden metsitystukea, joka koostuu pinta-alaperusteisesta metsityskorvauksesta ja hoitopalkkiosta (Laki metsityksen määräämisestä tukemisesta 1114/2020).

Heikkotuottoisten turvepeltojen hylkäys

Mikäli ennallistaminen tai metsittäminen ei pellon olosuhteista tai esimerkiksi taloudellisista seikoista johtuen ole mahdollista, saadaan päästöjä vähennettyä myös vain jättämällä pelto pysyvästi viljelemättä.

Hylätty turvepelto tuottaa edelleen huomattavia päästöjä, mutta pidemmällä aikavälillä päästöjä voidaan vähentää noin 20 tCO₂e/ha verrattuna yksivuotisen kasvin viljelyyn. 20 vuotta hylättynä olleen pellon päästötaso on samaa luokkaa kuin märillä monivuotisilla nurmipelloilla tai hiljattain metsitetyillä pelloilla. (Lehtonen ym. 2020.) Lehtonen ym. (2021) arvioivat, että hylkäämällä 57 000 hehtaaria turvepeltoja vuoteen 2050 mennessä voidaan vähentää päästöjä 0,8 Mt.

Aiemmin hylättyä turvepeltoalaa oli Suomessa vuonna 2018 jo 67 000 hehtaaria, sillä maatilojen lukumäärän vähentyessä heikkotuottoiselle kaukana sijaitsevalle pellolle ei välttämättä löydy viljelijää, vaikka pelto olisikin maataloustukikelpoinen. Tulevaisuudessa rakennekehityksen ennakoidaan jatkuvan, eli turvepeltoja tullaan hylkäämään lisää. Maataloustuet kuitenkin pitävät kohtuullisella etäisyydellä sijaitsevat heikkotuottoisetkin pellot käytössä.

Monivuotisten kasvien viljely eloperäisillä mailla

Kaikkien turvemaiden viljelystä ei käytännössä voida ainakaan lyhyellä aikavälillä luopua. Viljelyyn jäävillä aloilla kannattaa kuitenkin luopua yksivuotisten kasvien viljelystä. Monivuotiset kasvit, kuten nurmet, hidastavat turpeen hajoamista, koska maata

muokataan vähemmän ja se on pidempään kasvipeitteinen. Pysyvä kasvipeite myös suojaa eroosiolta ja vähentää maaperän ravinnehuuhtoumia.

MTK:n ja SLC:n ilmastotiekartassa (Lehtonen ym. 2020) on arvioitu, että siirtyminen yksivuotisten kasvien viljelystä monivuotisten nurmien viljelyyn tuottaa noin 10 tCO₂e/ha päästövähennyksen turvemailla. Ilmastotiekartan skenaarioissa yksivuotisten kasvien viljelystä poistuu joko hyvin suuri osa (82 000 hehtaaria) tai kaikki (95 000 hehtaaria) turvepeltoala vuoteen 2050 mennessä. Lehtonen ym. (2021) arvioivat, että siirtämällä 50 000 hehtaaria turvepeltoja yksivuotisesta monivuotiseen viljelyyn vuoteen 2050 mennessä voidaan vähentää päästöjä 0,5 Mt.

Hieman alle kolmannes turvepelloista on yksivuotisessa viljelyssä, ja osuus on pienentynyt verrattuna aiempiin maataloustukikausiin (Lehtonen ym. 2020). Nurmen viljelyä turvepelloilla tuetaan ympäristökorvauksella, mutta se ei usein ole viljan viljelyyn verrattuna kannattavaa, varsinkaan, jos viljelijällä ei ole käyttöä nurmelle. Pellonraivauksen lopettaminen ja paremmin toimivan nurmi-rehumarkkinan kehitys sekä biokaasutuotannon kasvu voisivat kuitenkin luoda kysyntää.

Eloperäisten maiden säätösalaajitus

Nurmen viljely mahdollistaa pohjaveden pitämisen korkeammalla kuin viljan viljelyssä. Veden pintaa voidaan säädellä säätösalaajituksella, jolloin kuivatusvesiä padotaan salaojaverkostoon pellolle sijoitettujen säätökaivojen tai avo-ojiin rakennettujen säätöpatojen avulla. Pohjaveden pinta voidaan näin nostaa pysyvästi tai vain sadonkorjuun jälkeen.

Jos nurmea viljellään turvemailla märkänä siten, että vedenpinnan taso pidetään keskimäärin 30 cm syvyydessä säätösalaajituksen avulla, on mahdollista saavuttaa noin 10 tCO₂e/ha päästövähennys tavallisiin tuotantonurmiin verrattuna. Lehtonen ym. (2021) arvioivat, että siirtymällä märän

nurmen viljelyyn 19 000 hehtaarilla vuoteen 2050 mennessä voidaan vähentää päästöjä 0,3 Mt. MTK:n ja SLC:n ilmastotiekartassa on oletettu, että vuoteen 2050 mennessä märkää nurmen viljelyä voidaan lisätä 20–30 000 hehtaaria ([Lehtonen ym. 2020](#)).

Säätösalaajitettua alaa on Suomessa ainakin 42 000 hehtaaria ([Yli-Viikari 2019](#)), josta turvepeltojen osuudeksi on arvioitu vähintään 10 prosenttia. Märkää nurmen viljelyä turvepelloilla on arvioitu tehtävän tuhannella hehtaarilla ([Lehtonen ym. 2021](#)). Säätösalaajitukseen myönnetään 40 prosentin investointitukea sekä vuosittain ympäristökorvaus. Tuki ei kuitenkaan edellytä vedenpinnan pitoa korkealla, mikä on ilmastohyödyn edellytys.

Suuresta investointituesta huolimatta säätösalaajitusinvestointi ei välttämättä ole tilalle kannattava. Jotta investointi ja ojituksen kunnossapito tulisi katetuksi, sadon pitäisi parantua paljon. Vedenpinnan korkeana pitämiseen liittyy myös riskejä: vedenpinnan nosto on helpompaa kuin lasku, ja märkinä vuosina peltoa ei välttämättä saada tärkeinä viljelyn ajankohtina riittävän kuivaksi, mikä voi heikentää satoa ([Lehtonen ym. 2020](#)).

Hiiltä sitovat viljelykäytännöt

Paremmilla viljelykäytännöillä peltojen päästöjä voidaan hillitä ja kivennäismaiden pellot voidaan jopa kääntää hiilinieluksi. Hiilensidontaa tukevat viljelykäytännöt voidaan jakaa kolmen pääperiaatteen mukaisesti: 1) yhteyttämisen eli hiilisyötteen maksimoiminen, esimerkiksi ympärivuotisella elävällä kasvipeitteisyydellä ja [nostamalla satotasojia](#), 2) häiriöiden minimoiminen, esimerkiksi suorakylvöllä ja vähentämällä maanmuokkausta sekä 3) maaperän mikrobisyhteisöjen vaaliminen, esimerkiksi syväjuurisilla kasveilla, monipuolisilla viljelykierroilla, jättämällä kasvibiomassaa pellolle ja käyttämällä eloperäisiä lannoitteita ja maanparannusaineita.

MTK:n ja SLC:n ilmastotiekartassa nurmien sekä palko-, öljy- ja kerääjäkasvien alan ja satotasojen kasvattamisella on arvioitu saavutettavan kivennäismaille 0,8 Mt hiilinielu vuonna 2050, ja uusilla lisäisillä toimilla on visioitu jopa 5 Mt nielua ([Lehtonen ym. 2020](#)). Vuonna 2019 kivennäismaat olivat kasvihuonekaasuinventaarion mukaan 1,4 Mt päästölähde ([Tilastokeskus 2021e](#)).

Hiiliviljelykäytäntöjen todellinen hiilensidontapotentiaali Suomen oloissa ei ole vielä tiedossa, sillä ymmärrys maaperän prosesseista on puutteellista ja erityisesti hiilen pysyvyydestä on epävarmuutta. Maaperän hiilensidontaan pääperiaatteet ymmärretään kuitenkin siinä määrin, että oikeansuuntaisia toimenpiteitä voidaan suositella, ja tarkemman potentiaalin määrittämiseksi tehdään nyt paljon tutkimusta. Esimerkiksi Carbon Action -hanke ([Carbon Action](#)) kehittää hiilensidontaan mittausjärjestelmää ja tutkii hiilen sidontaa peltomaaperään sadalla vapaaehtoistilalla. Myös yritykset, kuten Valio, ovat lähteneet aktiivisesti tutkimukseen, testaukseen ja viljelijöiden koulutukseen mukaan. Uudistavasta viljelystä julkaisiin avoin verkkokurssi helmikuussa 2021 ([Uudistavan viljelyn e-opisto](#)).

Joillekin hiilensidontaa edistäville käytännöille on jo olemassa tukia ympäristökorvausjärjestelmässä, mutta kannusteet ovat liian heikot toimenpiteiden laajamittaiseen käyttöönottoon.

Lannan käsittely biokaasuksi ja kierrätysravinteiksi

Eläinten lantaa voidaan prosessoida mädättämällä biokaasuksi. Biokaasua voidaan hyödyntää energianlähteenä sähkön ja lämmön tuotannossa tai puhtaaksi metaaniksi jalostettuna [liikenteessä](#) tai [työkoneissa](#). Mädätysjännöstä eli mädätettä voidaan puolestaan käyttää lannoitteena joko sellaiseenaan, tai jatkojalostaa kierrätyslannoitevalmisteiksi, joita voi kannattavasti kuljettaa kauemmaksi kuin lantaa ja siten vähentää

pellonraivauksen tarvetta lannan levitykseen sekä korvata väkilannoitteita.

Luostarisen ym. (2019) arvion mukaan Suomessa vuosittain syntyvän lannan teknis-taloudellinen energiapotentiaali biokaasuna on 1,8 TWh, joka vastaa noin kahdeksas-osaa⁸⁵ kuorma-autojen nykyisestä energiankulutuksesta. Energiansaantia voidaan kuitenkin kasvattaa neljänneksellä lisäämällä joukkoon 10 prosenttia ylijäämänurmea, ja potentiaalia on myös oljessa ja muissa sivujakeissa.

Tällä hetkellä vain noin kuusi prosenttia Suomen lannoista prosessoidaan, ja 1,4 prosenttia lannasta päätyy biokaasun raaka-aineeksi (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020). Biokaasun tuotantoa tuetaan biokaasun polttoainekäytön verottomuudella sekä laitosten 30–40 prosentin investointituilla. Vuodesta 2022 biokaasu sisällytetään liikenteen biopolttoaineiden jakeluvaihtoehtoon. Laitosten kannattavuus on tuista huolimatta heikko korkeiden investointikustannusten takia, mikä korostuu erityisesti pienen mittakaavan laitoksissa. Toisaalta suuremmissa laitoksissa kuljetuskustannukset kasvavat. Tuotannon keskittyminen rakennemuutoksen myötä parantaa biokaasutuotannon kannattavuutta tulevaisuudessa.

Kierrätyslannoitevalmisteiden jalostamisen osaamista on rajallisesti ja niiden markkinat ovat vasta kehittyössä. Väkilannoitteet ovat edullisia ja kierrätyslannoitteiden kustannuskilpailukyky niihin verrattuna on huono. Lisäksi kierrätyslannoitteita ei yleensä ole prosessoitu samaan muotoon kuin väkilannoitteita, joten niiden käyttö nykymuodossa vaatisi viljelijöiltä uutta osaamista ja muutoksia toimintaan.

Vähäpäästöiset maatalouskoneet ja lämmitys

Maatalouden työkoneet ja lämmitys tuottivat vuonna 2019 0,9 Mt päästöt (Tilastokeskus 2021i). Päästöjen ja kustannusten vähentämiseksi viljan kuivaamisessa ja maatalousrakennusten lämmityksessä voidaan parantaa energiatehokkuutta ja öljyn ja turpeen sijaan hyödyntää sovelluksesta riippuen esimerkiksi lämpöpumppuja, biokaasua tai biomassaa. Rehuviljaa voidaan myös varastoida kuivaamatta tuoresäilönnän avulla. Maatalouskoneiden päästöjä voidaan vähentää energiatehokkuutta parantamalla sekä uusiutuvien polttoaineiden käytöllä. Myös kaasu- ja sähkökäyttöiset työkoneet ovat mahdollisia.

Lämmityksessä polttoöljyn käyttö on ollut laskussa ja sitä on korvattu pääasiassa puuenergialla. Energiatehokkuusneuvonnan tarjonnasta huolimatta tiedon ja kannusteiden puute hidastavat energiankäytön tehostamista. (Lehtonen ym. 2020.)

Markkinoilla on joitain kaasukäyttöisiä työkoneita, mutta valtaosa koneista on dieselkäyttöisiä. Kalustoa uusitaan hitaasti ja vähäpäästöiset vaihtoehdot ovat dieselkäyttöisiä koneita kalliimpia. Työkoneiden CO₂-päästöjä ei ole rajoitettu lainsäädännössä. (Söderena ym. 2021.) Polttoöljylle on asetettu biojakeluvaihtoehto, joka nousee 10 prosenttiin vuonna 2028.

Turpeen korvaaminen kasvualustoissa ja kuivikkeissa

Päästöjen vähentämiseksi turpeen käytöstä tulisi vähitellen luopua myös kasvualustoissa ja kuivikkeissa. Mahdollisia vaihtoehtoja

85 VTT:n ALIISA-mallin (VTT 2020a) mukaan kuorma-autojen kulutus vuonna 2019 oli 52 PJ eli 14 TWh.

kasvualustoissa ovat kompostoitu järviruoko ja ruokohelpi, biohiili, savimineraali vermi-kuliitti, rahkasammal, puun kuori, kookos-kuitu tai kierrätysmateriaalipohjaiset jätevir-rat, kuten mädätetty ja kompostoitu jätevesi-liete tai kompostoitu biojäte. Kuiviketurpeen rinnalla käytetään jo erilaisia materiaaleja kuten kutteria, sahanpurua, olkea, ruokohel-peä ja hamppua. (Soimakallio ym. 2020.)

Joissakin tilanteissa vaihtoehtona kas-vualustoille on myös mullaton ruuantuo-tanto eli vesi- tai ilmaviljely. Ilmaviljelyssä (aeroponics) ei käytetä lainkaan multaa tai muuta kasvatusalustaa kasvien kasvattami-nessa, vaan ravinteita kuljetetaan suoraan kasvien juuristoon veden avulla. Vesivilje-lyssä (aquaponics) kasveja kasvatetaan suoraan vedessä kiinteän kasvualustan sijaan.

Turvetta korvaavia kuivike- ja kasvualus-tamateriaaleja ja niiden potentiaalia ei tunneta vielä riittävän hyvin, eivätkä niiden

saatavuus, hinta ja tasalaatuisuus ole kilpai-lukykyisiä turpeen kanssa. Tällä hetkellä Euroopassa noin 80 prosenttia puutarhavi-ljojen käyttämistä kasvualustoista on turvepohjaisia, mutta esimerkiksi Iso-Britan-nia ja Irlanti ovat asettaneet tavoitteen luopua turpeen käytöstä kasvualustoissa vuoteen 2030 mennessä (The Climate Change Committee 2019, Soimakallio ym. 2020). Suomessakin on aiheeseen liittyviä kokeiluja. John Nurmisen Säätiö ja Metsä-hallitus ovat käynnistäneet Kirkkonummella Rannikkoruokohankkeen, jossa ruokomas-san käsittelystä pyritään tekemään kannatta-vaa liiketoimintaa valmistamalla siitä kas-vualustoja, viherlannoitteita ja kuivikeaineita (Maaseudun Tulevaisuus 2020). Ilmaviljelyä toteutetaan muun muassa Myyrmäen Metro-polian Urban Farm Labissa (Vantaan Sano-mat 15.5.2019). Turveke-hanke (Luke c) tutkii eri kuivikemateriaalien potentiaalia.

INFOBOKSI

Turpeen käytöstä on luovuttava hallitusti

Yli 90 prosenttia turpeen tuotannosta Suomessa on ollut energiaturvetta. Vuonna 2019 turve kattoi Suomen kokonaisenergiankulutuksesta 4,2 prosenttia ja kaukolämmön tuotannosta 14,9 prosenttia ([Tilastokeskus 2021d](#), [Tilastokeskus 2021b](#)). Turpeella on merkittävä rooli erityisesti kaukolämmön tuotannossa Pohjanmaalla sekä Lapissa. Energiakäytön lisäksi turvetta hyödynnetään myös niin sanottuna ympäristöturpeena muun muassa kasvihuoneiden kasvualustoissa, eläinten kuivikkeena, kompostoinnin tukiaineena, maanparannuksessa sekä ympäristövahinkojen torjunnassa.

Kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion mukaan turpeen tuotannon ja käytön päästöt olivat Suomessa vuonna 2019 8 Mt, eli 11 prosenttia Suomen kokonaispäästöistä. Tästä energiasektorilla raportoitavan turpeen polton päästöt olivat 6 Mt ja maankäyttösektorilla raportoitavien turpeen tuotantoalueiden päästöt 2 Mt, josta 0,3 Mt oli ympäristöturpeen hajoamisen päästöä ([Tilastokeskus 2021i](#)). Turpeen käytön elinkaaripäästöt ovat käyttökohteesta riippumatta käytännössä samat. Ilmastotavoitteiden saavuttamisen näkökulmasta turpeen käyttöä missään kohteessa ei ole perusteltua kasvattaa, vaan siitä tulisi ennen pitkää pyrkiä luopumaan kokonaan.

Energiaturvetta korvaavia ratkaisuja on esitelty luvussa [sähkö ja kaukolämpö](#) ja kasvu- ja kuiviketurvetta korvaavia ratkaisuja luvussa [maatalous](#). Turvetuotantoalueiden päästöjä hillitseviä jälkihoidon ratkaisuja on käsitelty luvussa [metsien ja kosteikkojen käyttö](#).

Marinin hallituksen ohjelma tavoittelee energiaturpeen käytön vähintään puolittamista vuoteen 2030 mennessä. Energiaturpeen käyttöä lämmöntuotannossa tuetaan fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna huomattavasti alhaisemmalla verokannalla. Tästä huolimatta turveala on arvioinut, että energiakäyttö voi päästöoikeuksien nousevien hintojen myötä vähentyä jopa 80 prosenttia vuoteen 2025 mennessä ([Bioenergia ry 10.3.2021](#)).

Ympäristöturpeesta luopumiselle tai sen käytön vähentämiselle ei ole tavoitteita, ja toistaiseksi uusien käyttötarkoitusten löytämistä turpeelle on pikemminkin tuettu. Neova Oy (entinen Vapo Oy) sai vuoden 2020 alussa viiden miljoonan euron rahoituksen Business Finlandilta uusien tuotteiden kehittämiseen suobiomassoista ja muista luonnonmateriaaleista ([Neova 5.3.2020](#)). Hallituksen puoliväliriihessä keväällä 2021 päätettiin tukea TKI-toimia uusien korkeamman jalostusasteen turvepohjaisten tuotteiden kehittämiseksi ja pilotoimiseksi ([Valtioneuvosto 29.4.2021](#)). Ympäristöturpeen tai turvetuotannon päästöt eivät kuulu minkään sääntelyn piiriin, eikä niitä siis veroteta. Ympäristöturpeen tuotantokustannus ja siten hinta voi kuitenkin nousta ja saatavuus vaikeutua, mikäli energiaturpeen tuottaminen vähenee, sillä niitä tuotetaan samojen soiden eri kerroksista.

Sitran ja Dialogiakatemian järjestämissä turvedialogeissa nousi esiin, että turvealan muutos on koettu yllättäväksi ja hyvin nopeaksi. Yrittäjien tilanne koettiin vaikeaksi, mutta toisaalta dialogeissa esiintyi turpeen energiakäytön vähentyessä toiveita kuivike- ja kasvuturvetta sekä aktiivihiihen tuotantoa kohtaan. ([Kareinen 2020](#).)

Turvealan murrokseen vastaamiseksi hallitus on päättänyt ohjata tukea turvealan yrittäjille ja työntekijöille sekä tuotantoalueiden jälkihoidon ja käyttöön ([Valtioneuvosto 29.4.2021](#)). Kuten Sitran Turpeen käytöstä luopuminen -työpäperi ([Leinonen ym. 2020](#)) esitti, reilua siirtymää tulisi tukea lisäksi selkeällä linjauksella turpeen käytöstä ja tuotannosta luopumisesta. Reilun siirtymän toteuttamisessa voidaan hyödyntää myös muiden maiden, kuten Irlannin, Espanjan, Saksan ja Kanadan kokemuksia.

7.3 Esteet ja korjausliikkeet

Päästövähennyksiin ei ole kannusteita

ESTE Hiilensidonnalle ja turvepeltojen päästövähennystoimille ei ole kannusteita. Pinta-alaperusteiset maataloustuet eivät kannusta viljelemään tehokkaammin, ja ohjaavat pitämään huonotuottoisenkin alan maatalouskäytössä. Ympäristötoimiin kannustava ympäristökorvaus on jakautunut lukuisille toimenpiteille, joista osa on ilmastönäkökulmasta jopa haitallisia – esimerkiksi turvepellon laajaperäistä käyttöä tuetaan ympäristökorvauksella.

KORJAUSLIIKE Asetetaan ilmastohyötyjä tuoville toimille kannustimet. Taataan kosteikkoviljelylle oikeus maataloustukiin ja vähitellen poistetaan maataloustuet turvemailta, joilla vedenpintaa ei pidetä korkealla. Kehitetään uusia kannustimia palkitsemaan päästövähennyksistä ja hiilensidonnasta sekä korvaamaan kosteikon tai metsän perustamisen kuluja ja maataloustukien menetyksiä, kun pelto jätetään maatalouskäytön ulkopuolelle. Kohdennetaan ympäristökorvausjärjestelmän tuet vaikuttavimpiin päästöjä vähentäviin toimenpiteisiin – tuetaan esimerkiksi säätösalaajituksen ja kosteikon hoitoa sekä hiiltä sitovia viljelykäytäntöjä, kuten kerääjäkasveja, viherlannoitusnurmia ja saneerauskasveja. Suomen tulisi edistää muutosta myös EU-tasolla, erityisesti turve maiden suhteen.

Pellonraivaus on kannattavaa

ESTE Maatalouden pienenevät katteet ajavat viljelijöitä laskemaan kuluja ja hakeamaan skaalaetuja kasvattamalla tilakokoa. Kotieläinten määrän kasvaessa tilalla kasvaa myös tarve rehua tuottaville pelloille ja lannanlevityspinta-alalle. Tällöin uuden pellon raivaaminen muodostuu kannattavaksi erityisesti, jos peltoa ei ole läheltä

saatavissa. Päästöjen kannalta erityisen ongelmallista on turvemailla tapahtuva pellonraivaus.

KORJAUSLIIKE Kannustetaan tilusvaihtoihin sekä tilusjärjestelyihin ja lisätään resursseja tilusjärjestelyjen toteuttamiseen ja prosessien kehittämiseen. Asetetaan pellonraivaus turvemailla ympäristöluvan alaiseksi, ja vaaditaan luvan ehtona tilusjärjestelyn, biokaasulaitoksen ja ravinteiden kierrätysmahdollisuuksien selvittämistä alueella. Asetetaan päästöperusteinen maksu ja vaatimus ekologisesta kompensatiosta maankäytön muutokselle. Edistetään tilojen välistä yhteistyötä ja nurmirehumarkkinoita, jotta lannanlevitykselle ja rehun tuotannolle omalla tilalla olisi vaihtoehto ja kasvinviljelytilojen viljelykierrossa lisääntyville nurmille olisi kysyntää.

Kierrätysravinteiden ja turvetta korvaavien kasvualustojen heikot markkinat

ESTE Kierrätyslannoitevalmisteet ja turvetta korvaavat kestävät kasvualustat eivät pysty vielä kilpailemaan väkilannoitteiden ja kasvialustaturpeen kanssa hinnaltaan, tasalaatuisuudeltaan ja saatavuudeltaan. Uusien vaihtoehtojen käyttö vaatii yleensä myös muutoksia nykyisiin käytäntöihin, mikä lisää niiden käyttöönoton kustannuksia. Kannusteita siirtyä käyttämään uusia vaihtoehtoja ei ole, ja toisaalta heikon kysynnän takia tuotekehitykseen ja tuotantoon ei ole kannattavaa investoida.

KORJAUSLIIKE Lisätään TKI-panostuksia kierrätyslannoitevalmisteiden ja turvetta korvaavien kasvualustojen tuotekehitykseen ja kaupallistamiseen. Tuetaan tuotteiden kysyntää ja kustannuskilpailukykyä – vaihtoehtoja on monia väkilannoitteiden ja kasvuturpeen päästöverosta korvaavien tuotteiden käyttövelvoitteeseen tai huutokaupattaviin hinnoittelutukiin. Edistetään kannusteiden kehittämistä myös EU-tasolla.

Tiedon puute

ESTE Viljelijöiltä puuttuu tietoa muun muassa toiminnan energiatehokkuuden parantamisesta, tehokkaammasta lajikkeiden käytöstä ja optimaalisten viljelykiertojen suunnittelusta, lannoituksen tarkentamisesta ja kosteikkoviljelystä. Kierrätysravinteiden jalostamisesta puuttuu osaamista. Maaperän hiilensidontaa, turvemaiden päästövähennysten toteuttamista ja turvetta korvaavia kasvualustoja ja kuivikkeita ei ole vielä tutkittu riittävästi.

KORJAUSLIIKE Panostetaan tutkimukseen, pilotointiin ja demonstrointiin sekä parhaiden käytäntöjen levitykseen esimerkiksi koulutuksen ja neuvonnan keinoin sekä tukemalla tietoa jakavia verkostoja. Edetään oikean suuntaiseksi tiedettyjen toimenpiteiden kanssa, mutta varaudutaan muutoksiin ja tarkennuksiin, kun tietoa kertyy.

Kuluttajien tottumukset ja kotieläintuotteiden edullisuus

ESTE Viime vuosikymmeninä eläintuotteiden syömisestä joka aterialla on muodostunut normi Suomessa, ja syvälle juurtuneiden ruokatottumusten muuttuminen on hidasta. Kotieläintuotteet ovat myös edullisia suhteessa kasvisvaihtoehtoihin, ja niiden tarjonta kasvisvaihtoehtoihin verrattuna on runsasta. Kuluttajien tiedot ruokien terveys- ja ympäristövaikutuksista sekä kasvisruokien reseptiosaaminen ovat usein puutteelliset.

KORJAUSLIIKE Pyritään tekemään ilmastoystävällisistä valinnoista helppoja ja edullisia. Asetetaan ilmastokriteerit pakollisiksi julkisissa ruokahankinnoissa, ja selvitetään malleja käyttää julkisia hankintoja

kiihdyttämään kotimaisten kasvipohjaisten ja muiden kestävien tuotteiden kehitystä. Integroidaan kestävyyskriteerit vahvemmin ravitsemussuosituksiin, ja tuodaan esiin synergioita ilmastokestävyudessa ja terveellisyydessä. Vahvistetaan kouluissa tapahtuvaa ruokakasvatusta. Selvitetään keinoja toteuttaa ilmastovaikutuksista kertovat pakolliset pakkausmerkinnät ja elintarvikkeiden päästö pohjainen hintaohjaus.

Uudenlaista ruuantuotantoa vaikeuttava lainsäädäntö

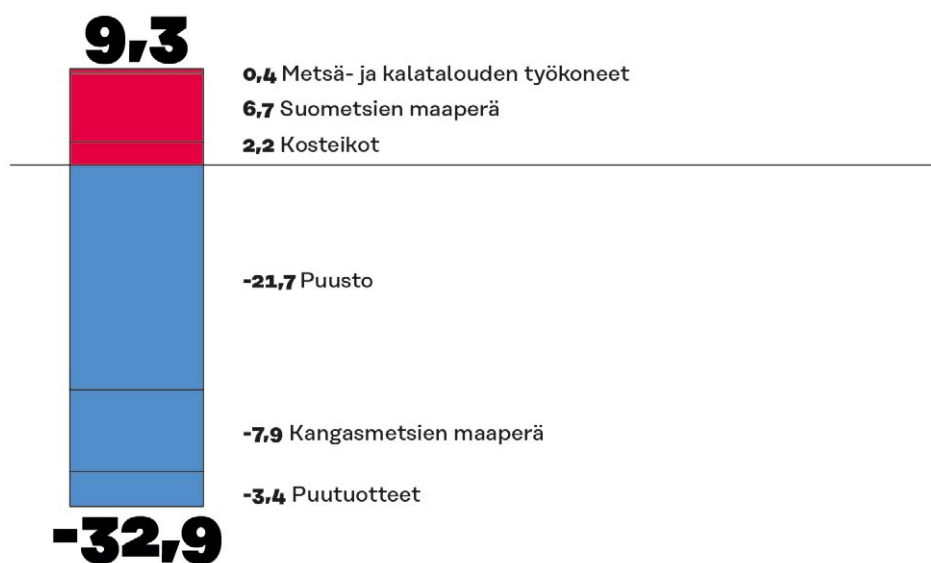
ESTE EU-tason lainsäädäntö hankaloittaa sekä bioteknisen ruuantuotannon että hyönteistuotannon kehitystä. Bioteknisessä tuotannossa kannattaisi hyödyntää mikrobien ja solujen geenieditointia, mutta EU:n nykyllä lainsäädännöllä määrittelee näin tuotetut raaka-aineet geenimuunnelluiksi (GMO). Hyönteisrehun käyttö on kiellettyä muualla kuin vesiviljelyssä, eikä rehuhyönteisiä myöskään saa ruokkia teollisuuden tai ruokaketjun sivuvirroilla.

KORJAUSLIIKE Lisätään TKI-panoksia biotekniseen ruuantuotantoon ja hyönteisten hyödyntämiseen. Ajetaan EU-lainsäädännön uudistamista. Lainsäädännön ei tulisi estää tieteellisesti turvalliseksi todettujen bioteknisten ruuantuotanto- tai kasvinjalostusmenetelmien hyödyntämistä. EU-lainsäädäntöä tulisi myös avata siten, että rehuhyönteisille sallittaisiin esimerkiksi ruokaketjun tai teollisuuden sivuvirtojen syöttäminen, ja että hyönteisrehua saisi käyttää vesiviljelyn lisäksi myös siipikarjan, märehäntien ja sikojen ruokkimiseen.

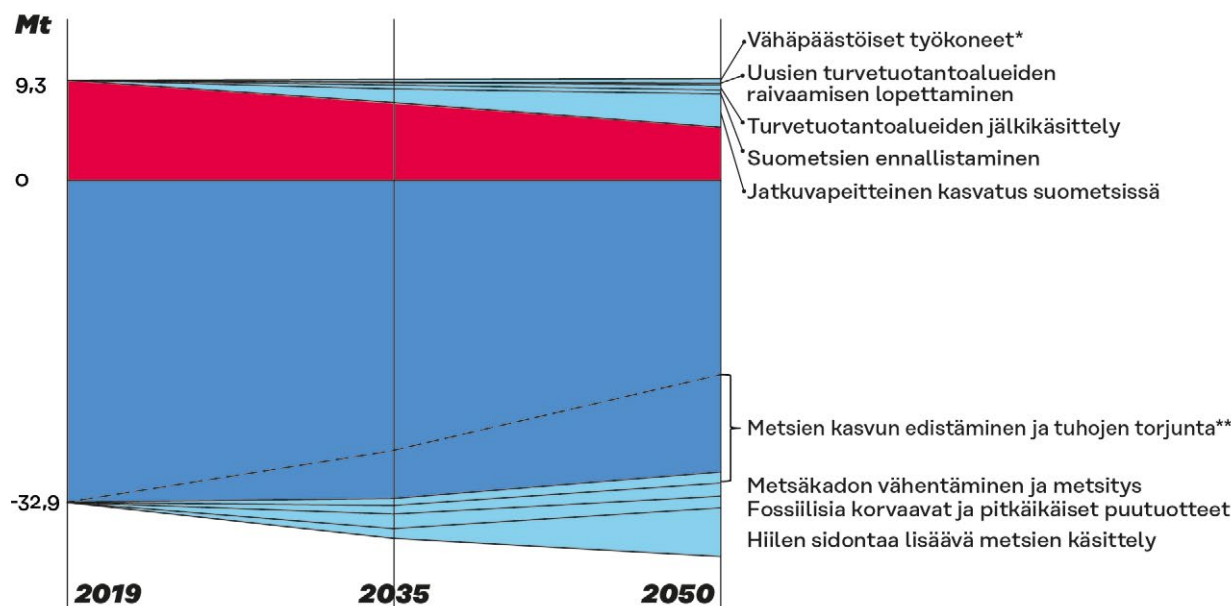
8 Metsien ja kosteikkojen käyttö



Kuva 15. Metsien ja kosteikkojen käytön päästöt 2019 (Mt)



Kuva 16. Päästövähennysten ja nielun kasvattamisen mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä



*Ks. ratkaisu maataloudessa

**Nielun kehitykseen liittyy suurta epävarmuutta. Nielun kokoon vaikuttavat puuston kasvu sekä hakkuiden taso. Tulevaisuudessa metsätuhojen ennakoitaan ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvän – katkoviivoilla on esitetty esimerkki mahdollisesta lisääntyvien metsätuhojen vaikutuksesta nieluun.

Kuvassa ratkaisujen potentiaali on esitetty suhteessa tuoreimpaan metsämaan WEM-skenaarioon, puutuotteiden nykyiseen nieluun sekä kosteikkojen ja työkoneiden nykyisiin päästöihin. Lisätietoa laskelmista on liitteessä B."

8.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet

Vuonna 2019 metsien puusto, kangasmetsien maaperä ja puutuotteet⁸⁶ muodostivat 32,9 Mt nielun, eli niihin sitoutui enemmän hiiltä kuin niistä poistui. Suometsien maaperän, kosteikkojen sekä työkonien päästöt olivat yhteensä 9,3 Mt. Yhteenlaskettuna metsien ja kosteikkojen käytön nettonielu oli 23,6 Mt eli laskennallisesti sektori vähensi Suomen nettopäästöjä noin 40 prosenttia (ks. kuva 15). (Tilastokeskus 2021e.)⁸⁷

Suometsien maaperä aiheuttaa päästöjä, sillä ojituksen seurauksena tavallisesti veden alla oleva orgaaninen aines eli turve on päättynyt kosketuksiin ilman kanssa, ja sen maatumisen muodostaa hiilidioksidia – 6,7 Mt vuonna 2019. Ojitettuja suometsiä on metsätaloustalasta 20 prosenttia eli 4,7 miljoonaa hehtaaria (Luke 2020c). Kosteikot, eli turvetuotantoalueet ja kosteikoiksi taantuneet epäonnistuneet metsäojitusalueet, tuottivat päästöjä 2,2 Mt, josta 2,0 Mt oli turvetuotantoalueiden ja kasvualusta-, kuivike- sekä ympäristöturpeen käytön päästöjä. Metsä- ja kalatalouden työkonien päästöt olivat 0,4 Mt. Metsäkadosta aiheutuvat päästöt sisältyvät tässä raportissa niiden aiheuttajien, eli rakennetun ympäristön ja maatalouden päästöihin.

Ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää, että metsät toimivat merkittävänä hiilinieluna tulevaisuudessakin. Ilmastopaneeli on suositellut, että maankäyttösektorin nettonielun⁸⁸ on hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi oltava vähintään 21 Mt vuonna 2035 (Suomen ilmastopaneeli 2021), kun se vuonna

2019 oli 14,7 Mt (Tilastokeskus 2021a). Vuodesta 2035 eteenpäin hiilen nettonielua on edelleen vahvistettava joko maankäyttösektorin toimilla tai teknisillä negatiivisilla päästöillä, joiden tuottaminen on todennäköisesti tulevaisuudessakin metsien hiilensidontaa kalliimpaa. Käytännössä metsien hiilinielun vahvistaminen edellyttää, että hakkuiden määrää on kasvatettava hitaammin kuin metsien kasvu kiihtyy, ja turvemaaperän päästöt eivät saa ainakaan kasvaa.

Vuodesta 2021 alkaen metsien käyttöä ohjaa myös EU:n ilmastopolitiikka. Vuoteen 2025 asti metsien toteutunutta nielua verrataan vertailutasoon. Jos toteutunut nielu on tulevaisuudessa pienempi kuin vertailutaso ja sallittu jousto⁸⁹, alitus tulee kompensoida vähentämällä päästöjä muilla sektoreilla niille asetettuja EU-tavoitetta enemmän, tai ostamalla päästöoikeuksia muilta mailta. Jos taas nielu ylittää vertailutason, voidaan ylittävää nielua käyttää rajoitetusti muiden päästöjen kompensoimiseen tai myydä muille jäsenmaille. Suomen metsien hiilinielun vertailutaso vuosille 2021–2025 on 29,4 Mt sisältäen puutuotteet (Euroopan komissio 28.10.2020). EU-komissio on ehdottanut, että vuoden 2025 jälkeen vertailutasomallista luovutaan, ja sen sijaan asetetaan jäsenmaille maankäyttösektorin nielutavoitteet (Euroopan komissio 14.7.2021). Nykyisessä ehdotuksessa Suomen tavoite maankäyttösektorille vuonna 2030 olisi 17,8 Mt nielu.

Varsinaista ilmasto-ohjausta metsäsektorilla ei ole tähän asti ollut, mutta metsien kasvun parantamiseen on ohjattu pitkäjänteisesti. Metsälaki asettaa vähimmäisvaatimuksia muun muassa puun korjuulle ja

86 Puutuotteiden hiilinielu tarkoittaa, että käytössä olevien puutuotteiden määrä kasvoi, eli Suomessa kotimaisesta puusta valmistettujen tuotteiden hiilisisältö oli vuonna 2019 suurempi kuin aiemmin valmistettujen tuotteiden hiilen laskennallinen vapautuminen. Sellaisina vuosina, kun puutuotteita valmistetaan vähemmän, puutuotteet voivat olla laskennallinen päästö. Näin kävi vuonna 2009 (Tilastokeskus 2020h). Samana vuonna pienemmät hakkuut kuitenkin tuottivat 2000-luvun suurimman metsien hiilinielun, lähes 50 Mt.

87 Huomaa, että luonnontilaiset metsät ja suot eivät sisälly kasvihuonekaasuinventaarioon. Tässä raportissa puhutaan vain talousmetsistä ja ojitetuista soista.

88 Metsien ja kosteikkojen käytön lisäksi maankäyttösektoriin luetaan myös maatalouden maaperä ja rakentamisen maankäytön muutos, jotka ovat päästölähteitä – ks. kuva 3.

89 Jos maankäyttösektori on koko unionin alueella yhteenlaskettuna nettonielu (verrattuna referenssitasoihin), jäsenmaan on mahdollista kompensoida vertailutasoa pienempi metsänielu jäsenmaakohtaiseen maksimijousto asti.

metsän uudistamiselle. Yksityisten metsänomistajien metsänhoitoa tuetaan kestävänsä metsätalouden rahoitusjärjestelmällä eli Kemeralla, josta myönnetään tukea muun muassa taimikon hoitoon ja suometsien kunnostusajituksiin. Suomen metsien vuosittainen kasvu onkin noin kaksinkertainen tunnut 1950-luvulta yli 100 miljoonaan kuutiometriin soiden ojituksen, parantuneen metsänhoidon, vajaatuottoisten metsien uudistamisen ja ilmastons lämpenemisen seurauksena (Findikaattori 2020). Samana ajanjaksona myös metsien vuosittainen poistuma on kasvanut noin 50 miljoonasta kuutiometristä 90 miljoonaan kuutiometriin kasvaneiden hakkuiden seurauksena. 2000-luvulla metsien, puutuotteiden ja kosteikkojen nettonielun suuruus on ollut keskimäärin 28,8 Mt, mutta vaihdellut pienimmillään 17,5 (2018) ja suurimmillaan yli 42 (2009) miljoonan tonnin välillä.

Suomessa laaditaan parhaillaan maankäyttösektorille ilmasto-ohjelmaa, jonka toimenpiteillä on tarkoitus muun muassa vahvistaa metsien kasvua ja hiilensidontaa. Ohjelman on tarkoitus valmistua vuonna 2022. Myös metsänhoidon suositusten ja Kemeran uudistaminen on käynnissä. Uudistusten tarkoituksena on painottaa aktiivisen metsänhoidon lisäksi hiilensidontan kasvattamista ja luonnon monimuotoisuuden vahvistamista.

8.2 Ratkaisut ja niiden tilanne

Kuvassa 16 on esitetty päästöjen vähentämisen ja nielsen kasvattamisen mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä. Päästöjä voidaan vähentää siirtymällä jatkuvapeliteeseen kasvatukseen suometsissä, ennallistamalla heikkotuottoiset suometsät, lopettamalla uusien turvetuotantoalueiden raivaus

ja jälkikäsittelemällä tuotannosta vapautuva turvetuotantoala. Työkoneiden päästöjen vähentämisestä katso [maatalouden ratkaisu](#). Nielua puolestaan voidaan kasvattaa vahvistamalla monimuotoisuutta, mikä edistää metsien kasvua ja torjuu metsätuhoja, ja muuttamalla metsien käsittelyä sitomaan enemmän hiiltä. Myös metsäkadon vähentäminen, käytöstä poistuvan maatalous- ja turvetuotantoalan metsitys ja pitkäikäisemmät puutuotteet auttavat. Fossiilisten polttoaineiden käyttöä korvaavat puutuotteet vähentävät päästöjä myös muilla sektoreilla. Seuraavaksi esitellään ratkaisut tarkemmin.

Uusien turvetuotantoalueiden raivaamisen lopettaminen

Uusia turvetuotantoalueiden raivaamisesta tulisi luopua. Tuotannon kesto turvetuotantoalueella on 15–30 vuotta, joten tuotanto ei lopu heti, vaikka uusia alueita ei enää avattaisi. Raivaamisen lopettaminen kytkeytyy kuitenkin hallittuun [turpeen käytöstä luopumiseen](#).

Uusien alueiden raivaamatta jättämisellä ei voida vaikuttaa päästöihin vanhoilla tuotantoalueilla, joilla turve jatkaa hajoamista, mutta sillä voidaan kuitenkin ehkäistä uusien päästölähteiden syntyminen. Kasvihuonekaasuinventarion ([Tilastokeskus 2020f](#)) mukaan turvetuotantoalue aiheuttaa keskimäärin 9,5–10,9 tCO₂e päästön vuosittain hehtaaria kohden⁹⁰.

Vuonna 2018 turvetuotantoon kunnostettavana oli 2 300 hehtaaria suopinta-alaa ([Soimakallio ym. 2020](#)). Energiaturpeen kysynnän ennakoitu lasku vähentää painetta uusien tuotantoalueiden raivaamiselle. Toisaalta muusta turpeen käytöstä luopumisesta keskustelua on käyty vasta vähän, ja turpeen kysyntä kasvualustoiksi ja uusiin käyttötarkoituksiin on kasvanut ja kasvun ennakoidaan jatkuvan.

90 Ilmastovyöhykkeestä riippuen. Lisäksi huomattavia päästöjä muodostuu tuotantoalueilla varastoitavasta turpeesta ja pienempiä päästöjä ojitsta.

Turvetuotantoalueiden jälkikäsitteily

Turpeen tuotannon päättyessä jälkikäsitteilyllä voidaan vähentää turvetuotantoalueen päästöjä erityisesti pitkällä aikavälillä. Lisäksi jälkikäsitteilyllä voidaan parantaa alueen luonnon monimuotoisuutta. Pääsääntöisesti ohutturpeiset ja vähäpäästoiset alueet kannattaa ilmaston näkökulmasta metsittää, paksuturpeiset ja runsaspäästoiset vettä eli ennallistaa. Myös kosteikkoviljely voi olla mahdollista paksuturpeisilla alueilla. (Soimakallio ym. 2020.)

Käsittelemättömän turvetuotantoalueen päästöt pysyvät tuotannon päättyessä korkeina. Turvetuotannosta poistuneen alueen metsittämisellä saadaan hiiltä kerrytettyä puustoon ja sen kautta maaperään, mutta turve pysyy hapellisissa oloissa ja jatkaa hajoamistaan. Lehtonen ym. (2021) arvioivat, että metsittämisellä saadaan keskimäärin 7,8 tCO₂e/ha vuotuinen päästövähennys ensimmäisen 15 vuoden ajan, jonka jälkeen vähennys nousee 10,8 tCO₂e/ha tasolle. Ennallistetussa suossa turpeen hajoaminen pysähtyy ja suo alkaa kerätä hiiltä maaperään jo muutamassa vuodessa, mutta metaani-päästöt kasvavat. Lehtosen ym. (2021) mukaan entisen turvetuotantoalueen ennallistaminen vähentää vuotuisia päästöjä 9,4 tCO₂e/ha. Metsittämällä 600 ja ennallistamalla 800 hehtaaria vuodessa saavutetaan vuosien 2021–2035 ajan keskimäärin 0,1 Mt suuruinen vuosittainen päästövähennys.

Turvetuotantoalaa on tällä hetkellä noin 60 000 hehtaaria, ja turvealan toimijat ovat arvioineet, että vuoteen 2025 mennessä kolmannes nykyisistä tuotantoaloista poistuu käytöstä (Bioenergia ry 10.3.2021). Vuoden 2020 alussa uutta maankäyttöä odottavia vanhoja tuotantoalueita oli lähes 10 000 hehtaaria (Lumperoinen & Hämäläinen 2020). Turvetuotantoalueiden jälkikäytölle ei ole velvoitteita, eikä vapautuvien alueiden pinta-aloja tai käyttömuotoja tilastoida. Bioenergia ry kartoittaa jälkikäyttöä vuosittain maanomistajille suunnatulla kyselyllä, ja tämän perusteella 75 prosenttia turvetuotan-

toalueista metsitetään tai on metsittynyt. Loput otetaan maatalouskäyttöön, niille perustetaan kosteikko tai ne jätetään kasvittumaan itsestään (Soimakallio ym. 2020).

Metsäkadon vähentäminen ja metsitys

Metsäkatoa syntyy, kun metsää raivataan rakentamisen ja yhteiskunnan infrastruktuurin, viljelysmaiden sekä turvetuotannon alta. Metsäkadon nykypäästöistä muutos viljelysmaaksi muodostaa noin puolet, ja muutos rakennetuksi maaksi ja turvetuotantoon kumpikin viidenneksen. 2010-luvulla metsäkato on vuosittain ollut keskimäärin 14 000 hehtaaria ja uutta metsää on syntynyt vuosittain 3 600 hehtaaria. (Tilastokeskus 2020h, Tilastokeskus 2020f.)

Metsäkatoa voidaan vähentää alueiden resurssiviisaalla suunnittelulla ja tekemällä metsiä suojelevia kaavoitusvaalintoja sekä lopettamalla turvetuotantoalueiden raivaus, lopettamalla pellonraivaus eloperäisillä mailla ja vähentämällä sitä myös kivennäismailla. Pellonraivauksen vähentämistä mahdollistavat muun muassa tilusjärjestelyt, lannan käsittely biokaasuksi ja kierrätysravinteiksi sekä nurmirehumarkkinoiden kehitys. Uutta metsää voidaan istuttaa pääosin entisille maatalousmaille ja käytöstä poistuneille turvetuotantoalueille.

Metsäkatoa vähentämällä voidaan kasvattaa maankäyttösektorin nettonielua. Lehtonen ym. (2021) arvioivat, että vähentämällä turvepeltojen raivausta 75 prosenttia ja puolittamalla vuotuiset raivausalat maatalous- tai rakennetuksi maiksi vuoteen 2050 saakka voidaan saavuttaa noin 1,4 Mt vuosittainen nettonielun kasvu verrattuna nykykehityksen jatkumiseen. Samassa selvityksessä arvioitiin, että intensiivisellä metsityksellä (6000 ha/v) voidaan saavuttaa 0,2 Mt suuruisen vuosittainen nettonielun kasvu vuosina 2021–2035 ja 0,4 Mt vuosina 2036–2050. Metsäkadon vähentämisellä on metsitystä suurempi ja nopeavaikutteisempi merkitys päästötaseelle.

INFOBOKSI

Kaikki puun käyttö ei ole hiilineutraalia

Puun käytön ilmastovaikutusta seurataan maankäyttösektorilla, jossa kirjataan, paljonko hiiltä sitoutuu metsiin ja maaperään, paljonko hiiltä hakkuiden ja luonnonpoistuman seurauksena poistuu metsästä, paljonko siitä siirtyy puutuotteisiin ja milloin hiili niistä todennäköisesti vapautuu takaisin ilmakehään. Koska tilinpito hoidetaan maankäyttösektorilla, sitä ei tuplalaskennan välttämiseksi enää huomioida muilla sektoreilla, ja puun käyttöä kohdellaan muiden sektoreiden päästölaskennassa nollapäästöisenä. Se ei kuitenkaan tarkoita, ettei puun käytöllä olisi ilmastovaikutusta.

Puun käytön kokonaisilmastovaikutuksen selvittämiseksi on tarkasteltava, kuinka paljon ilmakehässä on tietyllä aikavälillä kasvihuonekaasuja eri skenaarioissa. Vaihtoehtoisia skenaarioita ovat tilanne, jossa puuta hakataan enemmän ja puu valmistetaan fossiilipäästöjä korvaaviksi tuotteiksi, sekä tilanne, jossa puuta hakataan vähemmän, puut jatkavat metsässä kasvuaan pidempään ja fossiilipäästöjä aiheuttavia tuotteita jää korvaamatta.

Tarpeeksi pitkällä, useiden satojen vuosien, aikavälillä fossiilipäästöjä tuottavien tuotteiden tai fossiilisten polttoaineiden korvaaminen puulla tuottaa yleensä positiivisen ilmastovaikutuksen, olettaen että puun käytöstä vapautunut hiili sitoutuu uuteen puuhun, hakkaamatta jätetyn metsän hiilivarasto ei kasva loputtomasti ja muita vaihtoehtoja fossiilipäästöjen välttämiseen ei ole. Lyhyemmällä aikavälillä vaikutus riippuu siitä, paljonko puuta käytetään ja mihin.

Jotta ilmaston kuumeneminen onnistutaan rajoittamaan 1,5 asteeseen, kriittinen aikaväli on kuluva vuosisata, ja erityisesti lähivuosikymmenet. [Heinonen ym. \(2017\)](#) mallinsivat Suomen metsien ja puutuotteiden yhteenlaskettua hiilitasetta erilaisilla hakkuutasoilla, huomioiden myös puutuotteiden korvausvaikutuksen, joka pidettiin vakiona. Hiilitase oli sitä suurempi, mitä vähemmän metsiä hakattiin 90 vuoden tarkastelujaksolla. Metsätalous sitoi hiiltä tai vältti päästöjä 90 vuodessa yli 2 000 Mt enemmän, jos hakkuutaso oli 60 Mm³ vuodessa 73 Mm³:n sijaan.

[Seppälä ym. \(2019a\)](#) laskivat, että hakkuiden kasvattaminen 58 Mm³:sta 67 tai 77 Mm³:iin olisi ilmastonäkökulmasta 100 vuoden tarkastelujaksolla kannattavaa, jos jokainen hakkuiden lisäyksestä saatu tonni puun sitomaa hiiltä korvaisi keskimäärin vähintään 2 tai 2,4 tonnia fossiilista hiiltä. Nykykäytön keskimääräiseksi korvauskertoimeksi arvioitiin 1,1, ja nosto kahteen nähtiin erittäin vaikeaksi – esimerkiksi puurakentamisen korvauskertoimeksi arvioitiin 1,45, ja korvausvaikutus pienenee sitä mukaa, kun korvattavien tuotteiden päästöt pienenevät. Jos keskimääräinen korvausvaikutus ei parane nykyisestä, hakkuiden noston 77 Mm³:iin laskettiin lisäävän päästöjä 1 800 Mt sadan vuoden tarkastelujakson yli.

[Soimakallio ym. \(2021\)](#) ottivat huomioon myös metsien nykyiseen hiilinieluun, puutuotteiden hiilivarastoon ja puutuotteiden korvausvaikutukseen sisältyviä epävarmuuksia ja simuloivat erilaisten hakkuutasojen ilmastovaikutuksia, kun tärkeiden oletusten annettiin vaihdella. Lopputuloksena oli, että hakkuiden nosto 72 Mm³:sta 77,5 Mm³:iin tuottaisi ilmastohaittaa vuoteen 2044 mennessä 97 prosentin todennäköisyydellä. Tätä suurempi nosto haittaisi ilmastoa varmasti.

Näiden arvioiden mukaan puun käytön lisääminen kiihdyttää ilmaston kuumenemista ainakin tämän vuosisadan aikana. Fossiilipäästöjä aiheuttavia tuotteita ja polttoaineita kannattaakin ensisijaisesti pyrkiä korvaamaan tai niiden päästöjä vähentämään keinoilla, jotka eivät vaadi puun käytön lisäämistä. Puun käyttöä nykyisissä talousmetsissä ei kuitenkaan ilmastomielessäkään kannata lopettaa. Hoitamattomissa metsissä tuhoriskit kasvavat, ja ilmastomuutoksen ennakoidaan lisäävän hyönteistuhojen, metsäpalojen ja muiden tuhojen todennäköisyyttä ([Venäläinen 2020](#)).

Huonosti tuottavien suometsien ennallistaminen ja ennallistumaan jättäminen

Ojitetuista suometsistä lähes viidennes (0,8 miljoonaa hehtaaria) tuottaa heikosti puuta ja on siis metsätalouden näkökulmasta huonosti kannattavaa. Nämä metsät kannattaa poistaa metsätalouden piiristä.

Neljä viidesosaa (0,67 miljoonaa hehtaaria) huonotuottoisista suometsistä on karuilla soilla, joiden maaperäpäästöt eivät ole merkittävät. Ilmastonäkökulmasta näissä metsissä kannattaa olla tekemättä kunnostusojituksia ja jättää metsät hiljalleen palautumaan luonnontilaan ilman erillisiä toimenpiteitä. (Tolvanen ym. 2018.)

Aktiivisia ennallistamistoimenpiteitä kannattaa ilmastovaikutusten näkökulmasta kohdistaa ravinteikkaisiin suometsiin. Lehtosen ym. (2021) mukaan ravinteikkaita heikkotuottoisia suometsiä on kaikkiaan 80 000 hehtaaria. Näiden ennallistaminen pienentäisi vuosittaisia päästöjä 4,7 tCO₂e/ha, jolloin ennallistamalla vuosittain 5 000 hehtaaria suometsiä vuoteen 2035 asti saavutetaan keskimäärin 0,18 Mt vuosittainen päästövähennys. Ennallistamisesta on lisäksi hyötyä luonnon monimuotoisuuden vahvistamisen ja hieman pidemmällä aikavälillä vesistöjen kuormituksen vähentämisen kannalta (Tolvanen ym. 2018).

Ojitetun suometsän ennallistamiseen voidaan myöntää muun muassa Kemera-tukea, mutta kustannusten kattaminen ei vielä tee ennallistamisesta maanomistajalle taloudellisesti kannattavaa. Riski heikkotuottoisten metsien ojien turhalle uudistamiselle on kuitenkin pieni, sillä metsänhoidon suosituksissa ja Kemera-tuen ehtoissa edellytetään suometsiltä hyvää kasvua kunnostusojituksen tekemiseksi.

Siirtyminen jatkuvapeitteiseen kasvatukseen suometsissä

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on keino suometsän vedenpinnan säätelyyn ilman

kunnostusojituksia, sillä puut haihduttavat vettä. Jatkuvapeitteisyydellä vältetään siis vedenpinnan vaihtelusta aiheutuvat maaperäpäästöt. Avohakkuun jälkeen vedenpinta nousee, mikä tuottaa metaanipäästöjä. Tätä seuraava taimikon perustaminen puolestaan edellyttää kunnostusojitusta, jossa vedenpinta lasketaan usein alemmas kuin se ennen hakkuuta oli, mikä lisää hiilidioksidipäästöjä.

Lehtonen ym. (2021) arvioivat, että siirtyminen jatkuvapeitteiseen kasvatukseen rehevillä ojitetuilla turvemaidella kasvattaisi metsien nettohiililukua jopa 9 Mt vuoteen 2035 mennessä. Tästä vajaa 3 Mt on maaperäpäästöjen vähenemää ja loput puuston biomassan kasvua, sillä hakkuukertymän arvioidaan pienenevän noin 3–4 Mm³. Vuoteen 2050 mennessä nettohiilu kasvaa jopa 12 Mt, josta noin 6 Mt on maaperäpäästöjen vähenemää.

Suometsät ojitettiin 1950–70-luvuilla ja ovat nyt tulossa harvennus- ja päätehakkuukään, joten uudistustavan valinta on ajankohtainen. Turvemaidella edellytykset siirtymään jatkuvaan kasvatukseen ovat otolliset, sillä maaperä tarjoaa hyvät olosuhteet puuston luontaiseen uudistumiseen, puusto on valmiiksi eri ikäistä ja pohjaveden hallinta ilman kunnostusojituksia parantaa taloudellista kannattavuutta (Nieminen ym. 2018, Juutinen ym. 2020).

Jatkuvasta kasvatuksesta ei kuitenkaan ole mittavaa kokemusta, eikä metsänomistajilla tai metsäammattilaisilla aina ole tarvittavaa tietoa ja osaamista jatkuvaan kasvatukseen siirtymiseksi. Lisäksi nykytuotoiset Kemera-tuet kunnostusojituksille sekä taimikon ja nuoren metsän hoidolle ohjaavat päätehakkuuseen tähtäävään metsänhoitotapaan. Metsälain uudistus teki jatkuvapeitteisestä kasvatuksesta laillisen vaihtoehdon vuonna 2014 ja Luonnonvarakeskus on vasta viime vuosina siirtynyt suosittelemaan sitä suometsien hoitomuotona. Valtio on linjannut jatkuvan kasvatuksen lisäämisestä Metsähallituksen suometsissä sekä virkistyskäytön kannalta tärkeissä kohteissa (Valtioneuvosto 28.4.2020).

Metsien kasvun edistäminen ja tuhojen torjunta

Ilmastomuutos lisää erilaisten tuhojen riskejä suomalaisissa metsissä ([Venäläinen 2020](#)).

Metsien kasvua edistävillä ja metsätuhoja ehkäisevillä toimenpiteillä pidetään huolta metsien hiilensidontakyvystä. Lisäksi metsätuhoja voidaan hallita ja ehkäistä panostamalla hyönteistuhojen ja metsäpalojen valvontaan.

Metsän keinollisessa uudistamisessa oikea ajoitus, maanmuokkausmenetelmä, puulajivalinta sekä jalostetut taimet ja siemenet edistävät kasvua sekä torjuvat muun muassa ilmastomuutoksen tuomaan kuivuuteen ja märkiin talviin liittyviä tuhoriskejä.

Oikea-aikaisella taimikonhoidolla ylläpidetään puuston elinvoimaisuutta, parannetaan puutavaran tulevaa laatua ja lisätään pitkäikäisiin tuotteisiin soveltuvan puun tuotosta.

Puuston kasvua voidaan lisätä myös lannoittamalla, ja tuhkalannoitus on suometsille hyvin soveltuva menetelmä.

Edellä mainittujen vakiintuneiden käytäntöjen lisäksi metsän puulajisuhteet ja lahoppuusto ovat tärkeitä monimuotoisuutta ja siten kasvua lisääviä tekijöitä. Monimuotoinen metsäekosysteemi on kestävämpi sekä sään ääri-ilmiöitä että hyönteistuhoja vastaan ([Jactel ym. 2017](#), [Brandl ym. 2020](#)), ja monen puulajin metsiköt ovat usein yksilajisia tuotoksampia myös puhtaasti taloudellisessa mielessä ([Parkatti & Tahvonen 2020](#)). Lehtipuusto ja lahoppuusto vaikuttavat metsän ravinnekiertoon ja kasvuun monin tavoin, esimerkiksi juurisienilajiston ja karikesyötön vaikutuksesta. Myös muut tekijät, kuten leppien typpitalous, vaikuttavat puuston hyödynnettävissä oleviin ravinteisiin ja siten kasvupotentiaaliin. On myös havaittu, että jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen soveltaminen monimuotoisessa metsässä lisää monimuotoisuutta entisestään ([Dymond ym. 2014](#)).

Kansallisessa metsästrategiassa ([Maa- ja metsätalousministeriö 2019](#)) on asetettu tavoitteeksi nostaa talousmetsän kasvu aktiivisella metsänhoidolla ja tuhojen hallinnalla

nykyisestä 100 miljoonasta kuutiometrillä 110 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2025 ja 120–130 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2050 mennessä. Osan lisääntyvästä kasvusta selittävää lämpenevä ilmasto.

Metsien käsittelyssä ja tavoitteissa on kuitenkin vaihtelua, ja metsänhoidon suosituksia ([Tapio](#)) toteutetaan vaihtelevasti. Uudistushakkuun jälkeisestä metsänviljelystä huolehditaan hyvin, mutta taimikonhoidossa ja ensiharvennuksissa on rästejä, eli ne ovat metsänhoidon suositusten näkökulmasta myöhässä ([Luke 2018](#)). Metsien lannoitusta on lisätty viime vuosina ([Luke 2020a](#)). Lehti- ja lahopuiden lisäämisen hyötyjä ei tunneta laajasti – ne nähdään yleisesti luonnon monimuotoisuutta edistävinä, mutta tulonmenetyksiä aiheuttavina toimenpiteinä – ja valtion kannustimet niille puuttuvat.

Hiilen sidontaa lisäävät metsien käsittelyn muutokset

Metsikön biologinen kasvu taantuu yleensä selvästi myöhemmin kuin taloudellisin perustein määritetty hakkuiden ajankohta. Paljon tutkittu ja kustannustehokkaaksi todettu keino metsän ja puutuotteiden hiilivaraston kasvattamiseen on kiertoaikojen pidentäminen eli se, että metsä uudistushakataan myöhemmin. Melko paljon tutkittu on myös yläharvennusten lykkäämisestä, jolloin puuston annetaan järeytyä pidempään ennen voimakkaita harvennuksia. ([Niinimäki ym. 2013](#), [Pihlainen ym. 2014](#), [Assmuth ym. 2018](#).) Uudempien tutkimusten perusteella myös siirtyminen jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon saattaa olla toimiva keino hiilensidonnän lisäämiseen ([Assmuth ym. 2018](#)).

Jotta metsänomistajalle olisi taloudellisesti kannattavaa muuttaa metsänhoitoa esimerkiksi pidentämällä kiertoaika, hiilen lisäsidonnasta pitäisi käytännössä maksaa jonkinlaista korvausta. [Pihlainen ym. \(2014\)](#) laskivat, että esimerkiksi 20 euron korvaus sidotusta hiilidioksiditonasta kasvattaisi ravinteikkuudeltaan keskimääräisen mänty-

metsän taloudellisesti kannattavaa kiertoaika 15 vuodella ja keskimääräistä kiertoajan yli laskettua hiilivarastoa 27 prosenttia⁹¹. Tutkimuksissa on tyypillisesti havaittu, että hiilikorvausten maksaminen kasvattaisi pitkän aikavälin keskimääräistä kokonaispuuntuotosta ja tukkipuun osuutta (Pihlainen ym. 2014, Assmuth ym. 2018). Koska kiertoajan pidentäminen tarkoittaa hakkuiden lykkäämistä, hiilensidonnan lisääminen metsänkäsittelyn muutoksien saattaisi kuitenkin lyhyellä aikavälillä hieman pienentää puun tarjontaa.

Tällä hetkellä hakkuut ovat kasvussa. Vuosina 2000–2014 hakkuut olivat keskimäärin 60 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta, mutta vuonna 2019 jo 73 Mm³ (Luke 2021a). Useiden tekijöiden uskotaan kasvattavan puun kysyntää tulevaisuudessa (Vasara ym. 2020c), mikä lisää painetta kasvattaa hakkuista entisestään. Kansallisessa metsästrategiassa tavoitellaan runkopuun hakkuukertymän nostoa 80 miljoonaan kuutiometriin vuonna 2025 (Maa- ja metsätalousministeriö 2019), ja Metsäteollisuuden tiekartassa (Hynynen ym. 2020) tarkastellaan hakkuiden nostoa suurimmalle puuntuotannollisesti ylläpidettävälle tasolle. Tämä johtaisi käytännössä pääte hakkuiden aikaisutumiseen ja pienempään kasvavan puuston määrään, ja siten pienempään hiilinieluun.

Enemmän fossiilisia polttoaineita korvaavat ja pitkäikäisemmät puutuotteet

Puun käytön ilmastohyötyjä on mahdollista kasvattaa, jos entistä suurempi osa korjatusta puusta käytetään merkittäviä fossiilipäästöjä aiheuttavia tuotteita korvaaviin tai pitkäikäisempiin tuotteisiin. Suuria fossiilipäästöjen vähenemisiä saadaan esimerkiksi korvaamalla tavallisesti öljyä raaka-aineenaan käyttäviä

tekstiilejä, kemikaaleja ja muoveja, ja samalla raaka-aineena käytetty puu ohjautuu pitkäikäisempään käyttöön (Hurmekoski ym. 2020). (Katso myös tuotteiden korvaaminen ja raaka-ainevaihdokset teollisuudessa.) Yksi pitkäikäisimmistä puun käyttökohteista on rakentaminen, ja myös kaskadikäyttö⁹² ja materiaalikierrätys pidentävät materiaalin elinikää.

On kuitenkin huomattava, että puutuotteet eivät yleensä tuota ilmastohyötyä, jos niiden tuotantoa lisätään kasvattamalla hakkuista (ks. kaikki puun käyttö ei ole hiilineutraalia). Rakentamiseen soveltuvan tukkipuun kysynnän kasvuun tulisi vastata rakennemuutoksilla puun korjuussa, esimerkiksi suosimalla alaharvennusten sijaan yläharvennuksia⁹³ tasaikäisrakenteisen metsänhoidon puitteissa sekä jatkuvapeitteistä metsänhoitoa, jossa korjataan etupäässä tukkikokoista puuta (Assmuth ym. 2018).

Tällä hetkellä Suomessa käytetystä puuaineksesta energiaksi päättyy yli puolet ja saha- tai levytavaraksi vain 14 prosenttia (Luke 2020b). Hurmekoski ym. (2020) arvioivat, että muuttamalla puun korjuun ja puutuotteiden tuotantorakennetta nykyisestä voidaan puutuotteiden avulla vähentää nettopäästöjä 26 Mt vuonna 2056 verrattuna nykyisellä tuotantorakenteella jatkamiseen. Suurimman hyödyn toi sellun ohjaaminen tekstiileihin sekä metsäteollisuuden sivuvirtojen käyttö puu-muovikomposiiteissa, puulevyissä ja kemikaaleissa energiakäytön sijaan. Päästövähennysvaikutus kuitenkin pienenee, jos ja kun korvattavien tuotteiden päästöt vähenevät.

VTT:n Metsäteollisuus ry:lle tekemän selvityksen (Alarotu ym. 2020) mukaan Suomen metsäteollisuuden tuotteiden fossiilipäästöjä vähentävä vaikutus ei juurikaan kasva vuoteen 2035 mennessä, vaikka

91 Kun korvaus maksetaan nettona, eli huomioidaan hiilen vapautuminen puutuotteista.

92 Kaskadikäytössä raaka-aineiden käyttö asetetaan tärkeysjärjestykseen resurssitehokkuuden aikaansaamiseksi. Esimerkiksi puusta tehdään ensin korkeamman jalostusasteen tuotteita, jotka uusiokäytetään tai kierrätetään ja vasta viimeiseksi hyödynnetään energiaksi.

93 Alaharvennuksessa poistetaan pieniä puita ja parhaat puut jätetään kasvamaan ja järeytymään. Yläharvennuksessa poistetaan kookkaimmat puut, ja jätetään pienemmät kasvamaan, jolloin laadukkaan tukkipuun tuotos lisääntyy.

tuotannon on oletettu kasvavan huomattavasti. Selvityksessä on oletettu, että tuotannon rakenne kehittyy globaalin markkinakäytännön mukaisesti. Toistaiseksi esimerkiksi tekstiilien ja muovien korvaami-

seen tai tuotteiden pitkäikäisyydelle ei ole asetettu kannustimia, vaan ilmastopolitiikka ohjaa metsäteollisuuden sivuvirtoja sähkön ja lämmön tuotantoon sekä liikenteen biopolttoaineiksi.

INFOBOKSI

Hiilikorvauksella kannustimia hiilen sidontaan

Hiilen sidonnan lisääminen on pitkän aikavälin ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi välttämätöntä. Hiilen sidonnalla on taloustieteen termein positiivinen ulkoisvaikutus, eli hyöty sen vahvistamisesta koituu sitä toteuttavan metsänomistajan lisäksi koko yhteiskunnalle. Näin ollen tarvitaan erillisiä kannustimia, jotta metsänomistaja sitoisi hiiltä yhteiskunnan näkökulmasta oikean määrän. Toistaiseksi ohjauskeinot hiilinielun kasvattamiseksi kuitenkin puuttuvat, joten metsänomistajilla ei ole riittävää kannustinta tuottaa ilmastopalveluja.

Hiilikorvaus eli hiilinieluhuvely tarkoittaa metsänomistajalle maksettavaa korvausta hiilen sidonnasta. Korvausta voidaan maksaa pääasiassa kahdella tavalla. Ensimmäisessä vaihtoehdossa metsänomistajalle maksetaan tukea sidotusta hiilestä, mutta hakuiden yhteydessä syntyvästä päästöstä maksetaan veroa. Toisessa vaihtoehdossa metsänomistajalle maksetaan vuokraa väliaikaisesti varastoidusta hiilestä. Hiilikorvausjärjestelmä voidaan laajentaa koskemaan myös puutuotteita. Tällöin tavoitteena on ohjata puun käyttöä pitkäikäisempiin tuotteisiin ja pidentää puutuotteiden elinkaarta. ([Lintunen ym. 2016](#).)

Korvausta voidaan maksaa joko kaikesta sidotusta hiilestä, tai vain niin sanotusta lisäisestä eli perusuran ylittävistä hiilensidonnasta. Lisäisyys nähdään usein tarpeellisenä kriteerinä hiilikorvaukselle, koska se laskee järjestelmän kustannuksia. Lisäisyyden takaaminen on haastavaa, koska metsänkäytön perusura voi olla vaikea määrittää ([Nurmi & Ollikainen 2019](#)). Lisäksi on mahdollista, että hiilikorvauksen rajaaminen vain lisäiseen hiilensidontaan johtaa markkinatasolla pienempään kokonaishiilensidontaan kuin mikä olisi yhteiskunnan kannalta optimaalista ([Tahvonen & Rautiainen 2017](#)). Hiilikorvausjärjestelmien suunnittelun käytännön haasteet ovatkin parhaillaan aktiivisen tutkimuksen kohteena, ja useimpiin on löydettävissä toimivia ratkaisuja. Olennaista on saavuttaa kompromissi järjestelmän johdonmukaisuuden ja tehokkuuden ja toisaalta toimeenpanon yksinkertaisuuden ja poliittisen hyväksyttävyyden välillä.

Tutkimukset osoittavat, että korvausten maksu voisi olla erittäin kustannustehokas ilmastotoimi. [Juutinen ym. \(2018\)](#) laskivat, että Etelä-Suomessa puuston kasvuun voitaisiin vuosittain sitoa noin 17 miljoonaa tonnia hiilidioksidia siten, että hiilen sidonnan kokonaiskustannukset olisivat 15 miljoonaa euroa, eli alle euro per hiilidioksiditonni. Vertailun vuoksi EU:n päästökaupassa hiilidioksiditonni maksoi heinäkuussa 2021 yli 50 euroa.

Jos hiilikorvausjärjestelmä otettaisiin käyttöön, vähentäisi se puun tarjontaa ainakin tilapäisesti, sillä hiilikorvaus kannustaa lykkäämään hakkuita. Pitkällä aikavälillä sen sijaan on todennäköistä, että puun tarjonta palautuisi aiemmalle tasolle tai jopa lisääntyisi ([Tahvonen & Rautiainen 2017](#), [Assmuth ym. 2018](#)). Ei ole kuitenkaan selvää, kuinka kauan siirtymävaihe kestäisi. Vähentyneen tarjonnan ajan toimenpide aiheuttaa hiilivuodon riskin, eli vähentyneeseen tarjontaan saatetaan vastata puuntuotannon lisäämisellä muualla maailmassa. Kuten kaikessa ilmastopolitiikassa, järjestelmästä kannattaakin tavoitella kansainvälistä – mutta jonkun on oltava edelläkävijä.

Järjestelmän suunnittelu ja toteuttaminen on haastavaa, mutta käyntiin olisi mahdollista lähteä pienempien pilottien avulla. Myös Marinin hallitusohjelmassa (Valtioneuvosto 2019) esitetään hiilen sidonnan ja varastoinnin markkinoiden pilotoitinta. Yksi vaihtoehto olisi toteuttaa pilotti Metsähallituksen kautta valtion omissa metsissä.

8.3 Esteet ja korjausliikkeet

Metsänomistajilta puuttuu kannustin sitoa hiiltä

ESTE Metsän hiilivarastoa tavanomaista enemmän kasvattavat toimet aiheuttavat metsänomistajalle pääsääntöisesti tulonmenetyksiä, kun puun myynti lykkääntyy ja joissain tapauksissa vähenee.

KORJAUSLIIKE Luodaan metsänomistajille taloudelliset kannustimet hiilensidonnan kasvattamiseen. Aloitetaan kehittämällä tietopohjaa ja pilotoimalla esimerkiksi Metsähallituksen kautta hiilikorvausjärjestelmää, jossa metsänomistajille maksetaan tukea hiilivaraston kasvattamisesta. Edistetään myös vapaaehtoisen hiilikaupan mahdollisuuksia kirittää ilmastotoimia sitoutumalla ylittämään EU:n asettama metsänielun referenssitaso tai nielutavoite metsistä myytyjä kompensatioyksiköitä vastaavalla määrällä, edistämällä yksikköjen laadukasta standardointia ja luomalla kotimaiselle kompensatiomarkkinalle laadun varmistavaa sääntelyä ja valvontaa.

Ympäristölle haitalliset tuet suometsissä

ESTE Kemera-tuet ohjaavat myös turvemailla perinteiseen tasaikäisen metsän kasvattamiseen, sillä ne parantavat tasaikäiskasvatuksen suhteellista kannattavuutta tukemalla taimikonhoitoa, nuoren metsän hoitoa sekä kunnostusojituksia. Jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa näille ei yleensä ole tarvetta.

KORJAUSLIIKE Uudistetaan tukipolitiikka ja tarvittaessa sääntelyä siten, että ne ohjaavat jatkuvapeitteiseen kasvatukseen suometsissä. Luovutaan pikaisesti kunnostusojitusten tuesta, kuten muun muassa metsätalouden kannustinjärjestelmää pohtinut MET-KA-työryhmä on ehdottanut ([Maa- ja metsä-](#)

[lousministeriö 2021](#)). Luovutaan suometsissä myös taimikonhoidon ja nuoren metsän hoidon tuista, tai uudistetaan tukia niin, että ne eivät kannusta tasaikäiseen kasvatukseen. Ohjataan voimakkaammin tukea runsaspäästöisten suometsien ennallistamiseen kosteikoiksi. Harkitaan myös esimerkiksi kevyen metsätalouskäytön tukea, joka kannustaisi luopumaan ojituksista ja uudistushakkuista suometsissä, tai oijen syvyyden rajoittamista ja uudistushakkuiden kieltoa suometsissä ([Heiskanen ym. 2020](#)).

Vanhat tottumukset sekä tiedon ja osaamisen puute

ESTE Nykyinen informaatio-ohjaus ei saavuta riittävän laajaa metsänomistajakuntaa ja metsänomistajien kanssa työskenteleviä metsäammattilaisia. Talousmetsien luonnonhoitoa on kehitetty ilmaston ja luonnon monimuotoisuuden kannalta parempaan suuntaan sekä metsänhoitosuosituksissa että metsäsertifoinnissa, mutta parhaat käytännöt eivät ole kansallisesti valtavirtaistuneet. Metsätalouden monimuotoisuustoimia, kuten puulajisuhteiden monipuolistamista ja lahoppuuston lisäämistä, ei nähdä osana arkimetsänhoitoa, eikä niiden tuottama konkreettinen ilmasto- ja taloushyöty ole selkeästi hahmottunut. Jatkuvasta kasvatuksesta on hyvin vähän kokemusta, ja metsänomistajat kokevat, että jatkuvan kasvatuksen asiantuntevia neuvojia ja palveluntarjoajia ei ole riittävästi ([SOMPA 23.1.2020](#)).

KORJAUSLIIKE Käynnistetään metsätalouden ilmasto- ja luontoratkaisut -ohjelma, jonka tavoitteena on kasvattaa metsien netto-nielua sekä vahvistaa metsien resilienssiä informaatio-ohjauksen keinoin. Ohjelmassa kootaan tietoa, tuotetaan koulutus- ja viestintämateriaalia, järjestetään koulutusta metsäammattilaisille ja metsänomistajille, ja tarjotaan neuvontaa.⁹⁴ Lisätään koulutuksen suorittaminen Kemera-tukien myöntämiskriteeristöön.

94 Ohjelma kannattaa toteuttaa jatkona nykyiselle yhteistyölle. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio on tehnyt pitkäjänteistä kehitystyötä myös ilmastokestävän metsätalouden edistämiseksi.

Heikot kannustimet metsien monimuotoisuutta vahvistaville toimenpiteille

ESTE Monipuolisen puulajisuhteen tai riittävän lahoppuuston ylläpitämiseen ei ole velvoitteita, ja ne nähdään usein tulonmennyksinä huolimatta tutkituista kasvua ja resilienssiä lisäävistä vaikutuksista. Jatkuvapeitteisen eri-ikäiskasvatuksen houkuttelevuutta heikentävät taimikon ja nuorten metsien hoidon tuet, jotka parantavat tasaikäisen metsänkasvatuksen suhteellista kannattavuutta.

KORJAUSLIIKE Vahvistetaan kannustimia metsien monimuotoisuutta edistävälle toimenpiteille. Asetetaan riittävien säästöpuuryhmien, luonnontilaisten riistatiheiköiden ja monipuolisen puulajisuhteen ylläpito ehdoksi Kemera-tukien myöntämiselle. Uudistetaan Kemera-tukia niin, että ne kohtelevat erilaisia metsänkasvatusmenetelmiä tasapuolisesti. Taimikonhoidon ja nuoren metsän hoidon tuista on myös mahdollista Ruotsin tavoin luopua kokonaan.

Turvetuotantoalueiden vaillinaisen sääntely

ESTE Turvetuotantoalueita tulee todennäköisesti poistumaan käytöstä aiempaa nopeammin, kun energiaturpeen käyttö vähenee. Toistaiseksi alueille ei ole jälkikäsittelyvelvoitteita, mikä mahdollistaa merkittävien maaperäpäästöjen jatkumisen pitkään tuotannon loppumisen jälkeen. On myös mahdollista, että kotimaisen kasvuturpeen tai vientiin suuntautuvan turpeen tuotanto jatkuu ja johtaa uusien turvetuotantoalueiden avaamiseen (ks. myös [kasvu- ja kuiviketurpeen korvaaminen](#)).

KORJAUSLIIKE Tuetaan turvetuotantoalueiden ilmasto- ja luontovaikutukset minimoivan jälkikäsittelyn tapauskohtaista määrittämistä ja toteuttamista niin, että siitä tulee taloudellisesti kannattavaa, tai asetetaan turvetuotantoalueille jälkikäsittelyvelvoite.

Tehdään selkeä linjaus tahtotilasta luopua turpeen käytöstä (ks. myös [turpeen käytöstä on luovuttava hallitusti](#)). Vähennetään uusien turvetuotantoalueiden avaamisen kannustimia esimerkiksi asettamalla kaikelle maankäytön muutokselle päästöperusteinen maksu ja vaatimus ekologisesta kompensatiosta, tai lakataan myöntämästä lupia uusien turvetuotantoalueiden avaamiseen.

Puun ohjautuminen heikosti fossiilipäästöjä vähentäviin ja lyhytkestoisiin tuotteisiin

ESTE Puun kysyntä on kasvussa, osittain siksi että puuta kohdellaan politiikassa hiilineutraalina tai hiiltä sitovana materiaalina. Hyvin harva puutuote tuottaa kuitenkaan niin suuria ilmastohyötyjä, että sen tuottamisen takia puun käyttöä kannattaisi ilmastomielessä kokonaisuutena lisätä (ks. [kaikki puun käyttö ei ole hiili-neutraalia](#)). Puun käytölle ei ole luotu kokonaisvaltaista ilmasto-ohjausta, ja toistaiseksi ilmastopolitiikka on asettanut kannustimia puun käytölle lähinnä sähkön ja lämmön tuotantoon sekä liikenteen polttoaineiksi, ja uusia kannustimia kehitetään puurakentamiseen.

KORJAUSLIIKE Tarkastellaan systemaattisesti puun nykyiset ja mahdolliset tulevaisuuden käyttökohteet, ja selvitetään, missä käyttö tuottaa suurimman lisäarvon ilmastolle ja toisaalta missä vaihtoehtoja on muitakin tai käyttökohteesta voisi kestävyysmielessä luopua. Tarkastellaan tätä vasten kriittisesti puun kysyntää kasvattavat politiikat ja korjataan ohjausta – esimerkiksi varmistetaan, että polttoon perustumaton lämmöntuotanto on lähtökohtaisesti puun polttoa kannattavampaa, ja toisaalta voidaan esimerkiksi asettaa biosekoitevelvoitteita materiaaleille, joissa korvaaminen on järkevää. Selvitetään, miten puun käytön kokonaisvaltainen ilmasto-ohjaus voitaisiin toteuttaa osana monitavoitteista metsien käyttöä.⁹⁵

⁹⁵ Metsien käytön kokonaiskestävyydessä on huomioitava sekä ekologiset että taloudelliset ja sosiaaliset tavoitteet. Teollisuuden puuraaka-aineen ja hiilinielun rinnalla muun muassa metsien keruutuotteet, luonnon monimuotoisuuden ylläpito, vesien ja maaperän suojelu, pölytys, virkistyspalvelut ja ihmisten terveyteen liittyvät palvelut ovat keskeisiä metsien tuottamia hyötyjä. Metsien ja puun käytön ilmasto-ohjaus tuleekin integroida tähän laajaan ekosysteemi-palveluiden kokonaisuuteen.

INFOBOKSI

Maankäyttösektorin ilmastoratkaisujen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

Ilmastokriisin lisäksi ihmiskunnan hyvinvointia uhkaa luontokato eli luonnon monimuotoisuuden hupeneminen. Maankäyttö ja sen muutokset ovat merkittävä luontokadon aiheuttaja, joten sektorin toimia tulee ilmastovaikutusten lisäksi tarkastella myös monimuotoisuusvaikutusten näkökulmasta.

Uusien turvetuotantoalueiden raivaamisen lopettaminen ja turvetuotantoalueiden jälkikäsittely

Turvetuotantoalueiden raivaaminen aiheuttaa luontokatoa, koska turpeenosto edellyttää ekosysteemin perustavanlaatuista muuttamista. Metsätalouden vuoksi jo ojitettujen turvemaiden ottaminen turvetuotantoon aiheuttaa vähäisempiä vaikutuksia, koska alkuperäinen suoluonto on jo muuttunut ojituksen takia. Vaikka uusien tuotantoalueiden raivaamisen lopettamisen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen koko maan tasolla ovat vähäisiä, paikallisesti vaikutukset luontoon ja mahdollisesti valuma-alueen vesistöihin voivat olla merkittäviä.

Turvetuotantoalueen metsittäminen luo kohteelle metsäekosysteemin metsälajeineen. Luomalla turvetuotannosta vapautuneille alueille kosteikkoja voidaan edistää kosteikkoluonnon tilaa. Kosteikot ovat erityisen kriittisiä linnustolle, joka on riippuvainen kosteikoista niin pesimä- kuin muutonaikaisena levähdys- ja ruokailupaikkana.

Metsäkadon vähentäminen ja metsitys

Pysyvä maankäytön muutos metsissä hävittää vallinneen ekosysteemin lajeineen. Metsän hävittämisen lajistolliset vaikutukset riippuvat siitä, millainen metsä on kyseessä, ja millainen rooli sillä on alueellisesti eri lajien kasvu- tai lisääntymispaikkana, kulkureittinä tai ruokailualueena.

Metsityskohteen lajisto muuttuu vaihteittain metsälajiston eliöyhteisöksi, mitä muutosta kohteen ominaisuudet, kuten vesi- ja ravinnetalous ja puulajisto määrittävät. Peltojen metsittäminen vaikuttaa negatiivisesti kohteella esiintyvään avointen alueiden lajistoon.

Huonosti tuottavien suopeltojen ja suometsien ennallistaminen tai ennallistumaan jättäminen

Soiden kuivatustoimenpitein muuttunut vesitalous voidaan palauttaa ennalleen lähelle sitä tilaa, missä suo on ollut ennen kuivatustoimia. Tällöin tavoitetilana luonnon monimuotoisuuden näkökulmasta voidaan pitää kohteen alkuperäistä ekosysteemiä ja siihen sopeutunutta lajistoa. Se, miltä osin soiden lajistoa on mahdollista elvyttää ja palauttaa, riippuu suotyyppistä. Uhanalaista ja harvinaista lajistoa esiintyy erityisesti rehevillä suotyypeillä. Erityisesti rehevien suotyyppien ennallistamisessa tulee varmistua siitä, ettei kohteen oja mahdollisesti tukittaessa tai muissa aktiivisissa toimissa hävitetä kohteen arvolajistoa.

Siirtyminen jatkuvapeitteiseen kasvatukseen suometsissä

Jaksottaiseen metsien käsittelyyn verrattuna jatkuvapeitteinen metsän kasvatus ylläpitää metsän puustoisuutta ja puuston latvuserroksen peitteisyyttä. Tämä suosii lajistoa, joka on sopeutunut kyseiseen metsän rakenteeseen ja pienilmastoon. Peitteisyys hyödyttää lisäksi puustoisten ympäristöjen lajeja, joilla on laaja reviiri, ja peitteinen metsä voi yhdistää eri alueita toisiinsa. Jaksottaisen mallin runsas varhaisvaiheen lajisto menestyy peitteisellä alueella huomattavasti nopeammin. Uudistusmenetelmä itsessään ei ratkaise sellaisia lajistoon liittyviä tekijöitä, jotka liittyvät puulajisuhteisiin ja lahoppuuston määrään ja laatuun.

Metsien kasvun edistäminen ja tuhojen torjunta

Metsätaloudessa käytetään teollisina puina Suomeen jääkauden jälkeen levinneitä puulajeja, joita kasvatetaan niille luontaisessa metsäympäristössä, mihin puulajit ovat sopeutuneet. Näiden puulajien käyttöön perustuva metsätalous ylläpitää merkittävää osaa Suomen metsälajien populaatioista. Talousmetsien luonnonhoidon tavoitteena on turvata myös lajistoa, joka tarvitsee säilyäkseen erityisiä toimenpiteitä.

Puustoltaan ja lajistoltaan monimuotoinen metsä kestää parhaiten muuttuvassa ilmastossa. Lehtipuuston ja lahoppuuston lisääminen ovat keskeisiä tekijöitä, jotka hyödyttävät merkittävästi osuutta metsälajistosta.

Hiilen sidontaa lisäävät metsien käsittelyn muutokset

Metsien kiertoajan pituus vaikuttaa metsälajistoon eri tavoin. Jos metsikön kiertoaika on lyhyempi kuin 60 vuotta, metsän kasvillisuussukcession myöhäisimmät lajit eivät ole ehtineet palautua kyseiselle kohteelle hakkuun jälkeen. Kiertoajan pidentäminen hyödyttää lajistoa, joka on sopeutunut kyseiseen metsän vaiheeseen ja pienilmastoon.

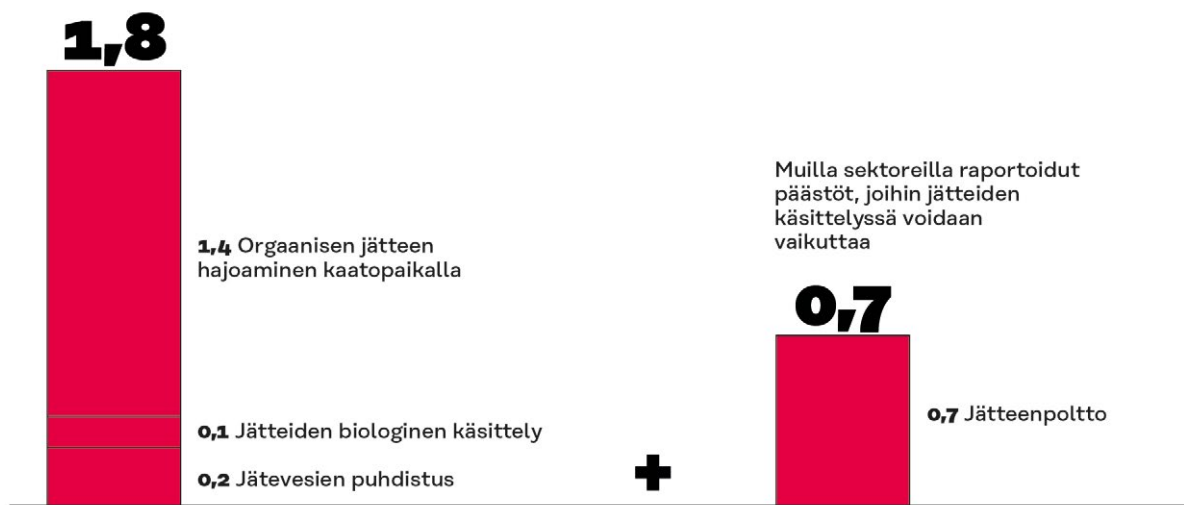
Energiapuun korjuu

Fossiilisista polttoaineista ja turpeesta luopuminen kaukolämmön tuotannossa lisää painetta kasvattaa biomassan energiakäyttöä ainakin väliaikaisesti, ennen kuin lämmöntuotannon sähköistyminen etenee tarpeeksi. Bioenergian käytön luontovaikutusten rajoittamiseksi tulee pidättäytyä järeän lahoppuun, haavan ja muiden harvalukuisten lehtipuiden energiakäytöstä sekä liiallisesta kantojen tai hakkuutähteiden keräyksestä. Näiden energiakäyttö vaikuttaa tuhansien lajien elinmahdollisuuksiin.

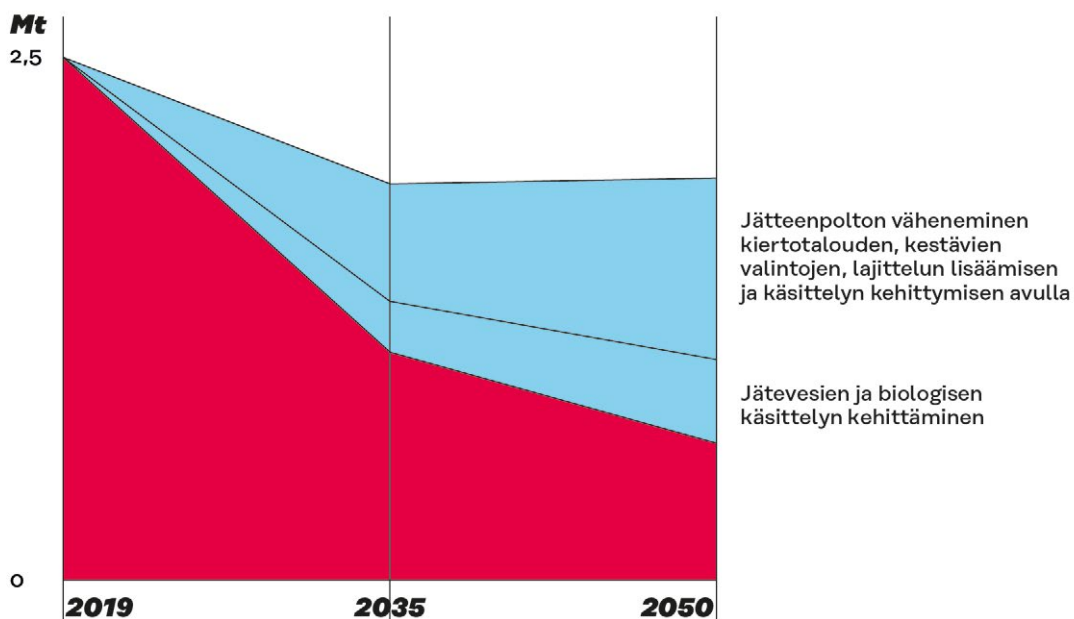
9 Jätteiden käsittely



Kuva 17. Jätteiden käsittelyn päästöt 2019 (Mt)



Kuva 18. Päästövähennysten mahdollinen jakautuminen ratkaisujen välillä



Kuvassa ratkaisujen päästövähennyspotentiaali on esitetty suhteessa nykyiseen päästöintensiteettiin. Lisätietoa laskelmista on liitteessä B.

9.1 Päästölähteet ja vähennystavoitteet

Jätteitä syntyi Suomessa vuonna 2018 noin 128 miljoonaa tonnia. Tästä 75 prosenttia on kaivostoiminnan ja louhinnan mineraalijätteitä. Seuraavaksi suurimmat jätteen tuottajat ovat rakentaminen (12 prosenttia) ja metsäteollisuus (4 prosenttia). Kotitalouksien, palveluiden ja hallinnon tuottama yhdyskuntajäte muodostaa 2 prosenttia kaikesta jätteestä, ja sitä syntyy vuosittain reilut 3 miljoonaa tonnia, tai 570 kiloa henkilöä kohden. (Tilastokeskus 2020g.)

Jätteiden käsittelyn merkittävimmät päästöt syntyvät eloperäisen jätteen hajotessa hapettomissa oloissa kaatopaikalla (1,4 Mt), jolloin muodostuu metaania. Lisäksi metaani- ja dityppioksidipäästöjä syntyy jonkun verran jätevesien käsittelyssä (0,2 Mt) sekä eloperäisen jätteen kompostoinnissa ja mädätyksessä (0,1 Mt). Yhteensä jätteiden käsittely tuotti vuonna 2019 1,8 Mt päästöjä, tai vajaat kolme prosenttia Suomen kokonaispäästöistä. Lisäksi jätteiden käsittelyyn liittyviä päästöjä, kuten kuljetukset ja jätteiden energiahäydintäminen, raportoidaan muilla sektoreilla (ks. kuva 17). Jätteenpolton päästöt olivat arviolta 0,7 Mt vuonna 2018 (Bröckl ym. 2021).

Kaatopaikkojen päästöt vähenevät ilman lisätoimenpiteitä (ks. kuva 18), sillä biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoitus kiellettiin vuonna 2016, eikä uutta biohajoavaa jätettä enää ohjata kaatopaikalle kuin erilaisina käsittelyjäänöksinä. Yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoitus onkin pääasiassa korvaantunut jätteenpoltolla, ja vuonna 2019 56 prosenttia yhdyskuntajätteestä poltettiin energiaksi.

Jätteiden käsittelyä ohjataan EU:n jätedirektiivillä ja siihen pohjautuvalla jätelailla, jotka myös asettavat kierrätystavoitteet yhdyskuntajätteille – muille jätteen tuottajille tavoitteita ei ole. Jätedirektiivin mukaan yhdyskuntajätteestä tulisi kierrättää 50 prosenttia vuonna 2020, 55 prosenttia vuonna 2025, 60 prosenttia vuonna 2030 ja 65 prosenttia vuonna 2035. Lisäksi kaikesta pakka-

usjätteestä tulee kierrättää 65 prosenttia vuoteen 2025 ja 70 prosenttia vuoteen 2035 mennessä, ja eri pakkausjätteille on asetettu myös materiaalikohtaiset kierrätystavoitteet. Tiettyjen tuoteryhmien (pakkaukset, paperi, akut ja paristot, renkaat, ajoneuvot, sähkö ja elektroniikkalaitteet) valmistajat ja maahan-tuojat on veloitettu järjestämään jätteen keräys ja kierrätys omalla kustannuksellaan. Tätä kutsutaan tuottajavastuujärjestelmäksi.

Jätelakia uudistetaan parhaillaan, mutta EU-tavoitteiden saavuttamista pidetään Suomelle haastavana. Tällä hetkellä Suomen yhdyskuntajätteen kierrätysaste on jumiutunut noin 40 prosenttiin. Jätteenpolto on toistaiseksi verotonta, eivätkä jätteenpoltto-ai- tokset kuuluu myöskään päästökauppaan. Hallitusohjelmassa kuitenkin linjataan, että kiertotalouden edistämistä veropoliittisin keinoin, kuten jätteenpolton energia- ja hiilidioksidipäästöön perustuvalla verolla selvitetään. Ympäristöministeriö on käynnistänyt hankkeen, jossa kehitetään jäte- ja tuotetiedon keräämiseen käytettäviä tietojärjestelmiä.

9.2 Ratkaisut ja niiden tilanne

Kuvassa 18 on esitetty päästövähennysten mahdollinen jakautuminen eri ratkaisuille. Päästöjen merkittäväksi vähentämiseksi on vähennettävä polttoon päätyvän jätteen määrää. Tätä varten kiertotalous – käytännössä esimerkiksi tuotteiden materiaalihokkuus, kestävyys ja kierrätettävyyys – tulee huomioida jo tuotteiden suunnittelussa. Näitä ratkaisuja käsitellään tarkemmin luvussa teollisuus. Myös kulutusvalintojen on muututtava kestävämmiksi. Kun jätettä kuitenkin syntyy, se pitää lajitella nykyistä paremmin. Lisäksi on otettava käyttöön käsittelyprosesseja, jotka mahdollistavat uusien jätejakeiden hyödyntämisen materiaalina, ja vähentää käsittelyprosessien päästöjä. Seuraavaksi esitellään ratkaisut tarkemmin.

Kohtuullinen kulutus ja kestävät valinnat

Jätteen syntyä voidaan vähentää vähentämällä kuluttamista itsessään, mikä vähentää jätteen käsittelyn päästöjen lisäksi kaikkia tuotteen elinkaareen liittyviä päästöjä. Kestävien tuotteiden suosiminen, tuotteiden korjaaminen sekä tuotteiden jakaminen usean käyttäjän kesken pienentävät tuotteiden määrän tarvetta.

Suomen raaka-aineiden kulutuksesta kotitaloudet aiheuttivat vuonna 2015 noin 60 prosenttia, julkiset hankinnat ja investoinnit loput. Kotitalouksien raaka-aineiden kulutuksesta tavarat ja palvelut aiheuttivat kolmanneksen, asuminen kolmanneksen, ja elintarvikkeet ja liikkuminen viimeisen kolmanneksen. (Nissinen & Savolainen 2019.)

Sitran teettämässä kyselytutkimuksessa (Hyry 2019) yli puolet vastaajista ilmoitti tietoisesti vähentäneensä kuluttamistaan ja pyrkivänsä tekemään vastuullisia kulutusvalintoja. Tavaroiden lainaamiseen ja vuokraamiseen ostamisen sijaan sekä omien tavaroiden lainaamiseen muille suhtauduttiin aiempaa positiivisemmin.

Valintojen tekeminen ei kuitenkaan usein ole yksinkertaista puutteellisen tiedon tai kestävämmän tuotteen korkeamman hinnan takia. EU-komissio on esittänyt EU:n kuluttajansuojalain uudistamista, mikä takaisi kuluttajille luotettavaa tietoa tuotteiden elinkaaresta sekä saatavilla olevista korjauspalveluista, varaosista ja huolto-ohjeista, ja asettaisi minimivaatimukset tuotteiden ekomerkinnoille. Komissio edistää myös korjauttamisoikeutta (right to repair), joka takaisi kuluttajalle esimerkiksi oikeuksia varaosiin sekä korjaus- ja päivityspalveluihin. (Euroopan komissio 2020a.)

Käsittelyn kehittäminen

Myös jätteiden käsittelyä on kehitettävä, jotta jätteitä ja sivuvirtoja voidaan hyödyntää enemmän aineena energian sijaan, tai nykyistä korkeampilaatuisena aineena tai energiana. Esimerkiksi sekajätteestä voidaan eritellä hyödynnettäviä materiaaleja mekaa-

nis-biologisissa esikäsittelylaitoksissa, biojäte mädättää biokaasuksi ja kierrätysravinteiksi, kuiva puu- ja puutarhajäte käsitellä pyrolyysillä biohiileksi, tekstiilijäte muuntaa kierrätyskuiduiksi ja muoveja kierrättää kemiallisesti laadun heikkenemättä. Katso myös [lannan käsittely biokaasuksi ja kierrätysravinteiksi](#).

Jätteen kehittyneempi kierrätys auttaa välttämään jätteenpolton päästöjä ja korvaamaan neitseellistä materiaalia, jolloin tyypillisesti vähennetään myös raaka-aineiden hankinnan ja tuotantoprosessin päästöjä. Lisäksi puujätteen käsittely biohiileksi ja sen käyttö maanparannukseen voi tuottaa negatiivisia päästöjä, eli varastoida maaperään hiiltä, joka olisi muuten vapautunut ilmakehään.

Toistaiseksi seka-, puu-, puutarha- ja tekstiilijäte sekä huomattava osa muovista ovat ohjautuneet energiahyödyntämiseen. Keskeinen jarruttava tekijä käsittelyn ja sen teknologian kehittämisessä on kierrätysmateriaalin vähäinen kysyntä.

Muutos on kuitenkin alkanut. Biojätteen mädätys on jo syrjäyttämässä kompostointia. Ympäristöministeriö valmistelee rakennusmuovialan kanssa green deal -sopimusta, ja Neste on käynnistänyt useita strategisia kumppanuuksia muovien kemiallisen kierrätyksen kehittämiseen liittyen. Pohjoismaiden ensimmäinen poistotekstiiliä uusiokäyttöön valmisteleva jalostuslaitos avataan Paimioon vuonna 2021, ja sen kokemusten pohjalta valmistellaan laitosta, joka voisi käsitellä kaikki kotitalouksien poistotekstiilit ([Lounais-Suomen jätehuolto 18.8.2020](#)). Biohiilen tuotantoteknologiaa kehittää suomalainen startup-yritys Carbofex. Viime vuosina yhdyskuntien sekajätettä sekä rakennusjätettä esikäsittelyä lajittelulaitoksia on avattu Suomeen muutamia ([Laaksonen ym. 2018](#)).

Lajittelun lisääminen ja erilliskeräysverkoston laajentaminen

Jätteen syntypaikkalajittelu on edellytys sille, että kierrätykseen saadaan puhtaita jakeita.

Lähellä sijaitseva erilliskeräys lisää mahdollisuuksia jätteen syntypaikkalajittelun toteuttamiseen, sillä mitä helpompaa lajittelu on, sitä useampi sen tekee. Selkeitä lajittelupisteitä tarvitaan runsaasti niin kotien lähelle kuin ihmisten kulkureittien varrelle.

Bröckl ym. (2021) arvioivat, että yhdyskuntajätteen polton päästöt vähenisivät 47 prosenttia vuoden 2018 tasosta vuoteen 2035 mennessä, jos yhdyskuntajätteen kierrätystavoitteet saavutetaan.

Yhdyskuntajätteen koostumus tunnetaan vielä huonosti, mutta on arvioitu, että kotitalouksien sekajätteen joukossa on jopa 70–80 prosenttia kierrätyskelpoisia jakeita, ja yli puolet kotien roskapussien sisällöstä koostuu

biojätteestä ja muovista (Sahimaa 2017).

Erilliskeräystä on toteutettu kunnissa vaihtelevasti, mutta uudessa jätelaissa valtakunnallisia erilliskeräysvaatimuksia laajennetaan. Esimerkiksi biojäte tulee vuodesta 2024 alkaen erilliskerätä kaikista kiinteistöistä taajamissa, joissa on yli kymmenen tuhatta asukasta.

Uusista keräystavoista kimppakeräystä on kokeiltu esimerkiksi Oulun Hiukkavarassassa, jossa asukkaat vievät jätteensä kortteli-kohtaisiin kimppapisteisiin (Kiertokaari 24.5.2018). Muun muassa Helsingin seudun ympäristöpalvelut kokeilee parhaillaan pientalojen monilokerokeräystä (HSY a).

9.3 Esteet ja korjausliikkeet

Tuotesuunnittelun puuttuvat kannustimet ja kierrätysmateriaalin riittämätön kysyntä

ESTE Tuotteita ei laajamittaisesti suunnitella kestäviksi, korjattaviksi ja kierrätettäviksi eikä niissä hyödynnetä kierrätysmateriaaleja, koska siihen ei ole kannustimia. Tämä johtaa sekä suureen jätteen määrään että kierrätysmateriaalien heikkoon kysyntään. Kierrätysmateriaalien kehittymättömät markkinat eivät houkuttele esimerkiksi jätehuoltotoimijoita investoimaan kierrätystä tehostaviin ratkaisuihin. Kierrätystavoitteiden nostaminen ei auta, jos kierrätysmateriaaleille ei ole käyttökohteita.

KORJAUSLIIKE Heikennetään jätteenpolton suhteellista kannattavuutta korottamalla ja laajentamalla jätevero jätteenpoltoon tai siirtämällä jätteenpolto päästökauppaan. Luodaan teollisuuden resurssitehokkuuteen kannustimia ja sääntelyä – ks. materiaalitehokkuuden puuttuvat kannustimet teollisuudessa.

Kannustimet ilmastoystävällisiin valintoihin ovat heikkoja

ESTE Kuluttajien on usein haastavaa tehdä ilmaston kannalta kestäviä kulutusvalintoja, sillä tuotteiden hiilijalanjäljestä, kestävydestä tai kierrätettävyydestä ei yleensä ole helposti saatavilla luotettavaa tietoa. Laadukkaammat ja kestävämmät tuotteet ovat hankintahinnaltaan usein kalliimpia, eivätkä tuotteiden elinkaaren ilmastovaikutukset heijastu tuotteiden hintaan. Tuotteiden korjaaminen voi olla jopa kalliimpaa kuin uuden hankkiminen. Tottumukset ohjaavat ostamaan tuotteita omiksi sen sijaan, että ne hankittaisiin palveluna.

KORJAUSLIIKE Selvitetään mahdollisuutta toteuttaa kulutus tuotteille elinkaaren ilmastovaikutuksia vastaava hiilivero ja hiilijalanjäljestä kertova pakollinen pakkausmerkintä, sekä mahdollisuutta tukea korjauspalvelujen käyttöä verotuksen, esimerkiksi kotitalousvähennyksen kautta. Edistetään EU-tasolla kuluttajan oikeutta saada tietoa tuotteen kestävydestä ja korjattavuudesta. Tarjotaan neuvontaa kulutusvalintojen ilmastovaikutuksista ja kiertotalouden strategisen ohjelman (Valtioneuvosto 2021a)

mukaisesti kootaan ja tarjotaan tietoa kierto-
talouden palveluista. Kehitetään vapaaehtoi-
sia ympäristösertifiointeja vaatimaan kierrä-
tysmateriaalien käyttöä, pitkää tuotetakuuta,
korjattavuutta ja kierrätettävyyttä.

Kannustimet lajitteluun ovat heikkoja

ESTE Kuluttajilla ei ole vahvoja kannusti-
mia aktiiviseen jätteiden lajitteluun, ja vaikka
erilliskeräys olisi tarjolla, lajitteluaste on
heikko ([HSY b](#)). Monet jätehuoltoyhtiöt
kannustavat lajitteluun veloittamalla sekajä-
teastian tyhjennyksestä erilliskeräysjakeita
enemmän, mutta hintaero on pieni eikä
kotitalous usean asunnon kiinteistöissä näe
hintaeroa suoraan.

KORJAUSLIIKE Nostetaan sekajätteen
jätemaksua kunnissa selvästi ja tarjotaan

säännöllistä lajitteluinformaatiota ja -neu-
vontaa. Selvitetään mahdollisuuksia ottaa
käyttöön uusia lajitteluun taloudellisesti
kannustavia järjestelmiä, ja kehitetään
ratkaisuja yhdessä yksityisen sektorin kanssa.
Euroopassa erilaisista pay-as-you-throw-
järjestelmistä, joissa kotitaloudet maksavat
jätehuoltokustannuksensa syntyvän jätteen
määrän mukaan, on hyviä kokemuksia, ja
esimerkiksi uusilla tiheästi asutuilla alueilla
käytössä oleviin jätteen putkikeräysjärjestel-
miin⁹⁶ on mahdollista melko vaivattomasti
toteuttaa jätemaksun keräys jätteen tuonnin
yhteydessä ([Salmenperä ym. 2019](#)). Myös
nykyisin pulloille ja tölkeille käytössä olevan
palautuspakkausmallin laajentamista voi-
daan kokeilla muihin soveltuviin materiaa-
leihin.

96 Esimerkiksi Helsingin Jätkäsaaren putkikuljetusjärjestelmässä teräksinen, halkaisijaltaan 400–500 millimetrin
putki kiertää katuverkostossa ja kuljettaa jätteet runkoputken kautta keräysasemalle.

Lähteet

Aamulehti 16.6.2021. [Tampereelle porataan kolme kilometriä syvä kaivo – Tampereen Sähkölaitokselle täysin uusi aluevaltaus](#), haettu 2.8.2021.

AFRY 2020. [Finnish Energy – Low carbon roadmap \(pdf\)](#), haettu 29.6.2021.

Alarotu M., Pajula T., Hakala J., ja Harlin A. 2020. [Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutukset \(pdf\)](#), haettu 3.5.2021.

Andersson A., Jääskeläinen S., Saarinen N., Mänttari J., ja Hokkanen E. 2020. [Fossiilitoman liikenteen tiekartta -työryhmän loppuraportti](#), haettu 4.5.2021.

ARA 2020. [Rakennusten energiatodistukset käyttötarkoituksen mukaan, 17.8.2020](#), haettu 29.6.2021.

ARA 2021. [Avustus sähköautojen latausinfraan rakentamiseen](#) (ks. 'HUOM. Vuodelta 2020 siirtyneet avustushakemukset ja niiden käsittely 2021'), 11.3.2021, haettu 4.5.2021.

Assmuth A., Rämö J., ja Tahvonen O. 2018. [Economics of size-structured forestry with carbon storage](#), Canadian Journal of Forest Research 48(1): 11-22, haettu 3.5.2021.

Autoalan Tiedotuskeskus. [Tilastoja autokannan kehityksestä](#), haettu 4.5.2021.

Autoalan Tiedotuskeskus 2020a. [Ensirekisteröityjen henkilöautojen käyttövoimatilastot](#), 03.5.2021, haettu 4.5.2021.

Autoalan Tiedotuskeskus 2020b. [Liikenne- ja kuljetusalan vähäpäästöisen liikenteen tiekartta \(pdf\)](#), haettu 4.5.2021.

Bioenergia ry 10.3.2021, [Turpeen tuotannon ja käytön ilmastopäästöt kolmasosaan jo vuoteen 2025 mennessä](#), haettu 3.5.2021.

Bioenergy International 10.12.2019. [Sweden's first bioenergy carbon capture and storage pilot inaugurated](#), haettu 7.5.2021.

Bionova Oy 2017. [Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa \(pdf\)](#), haettu 29.6.2021.

BloombergNEF 2020. [Electric Vehicle Outlook 2020](#), haettu 4.5.2021.

Brandt S., Paul C., Knoke T., ja Falk W. 2020. [The influence of climate and management on survival probability for Germany's most important tree species](#). Forest Ecology and Management 458, haettu 3.5.2021.

Bröckl M., Kiuru H., Heads S., Kämäräinen K., Patronen J., Luoma-aho K., Armila N., Sipilä E., ja Semkin N. [Jätteenpolton kiertotalous- ja ilmastovaikutuksiin vaikuttaminen eri ohjauskeinoin](#), haettu 4.5.2021.

Burns W. & Corbett C. R. 2020. [Antacids for the Sea? Artificial Ocean Alkalinization and Climate Change. One Earth 3\(2\): 154-156](#), haettu 18.5.2021.

Calefa 29.3.2021. [Runosmäen asuinalue siirtyy edulliseen ja päästöttömään energiaan](#), haettu 2.8.2021.

CarbonCure. [CarbonCure – About](#), haettu 7.5.2021.

Caruna 28.8.2020. [Fortumin ja Carunan akkuvarasto parantaa sähköjärjestelmän luotettavuutta](#), haettu 2.8.2021.

Elenia 29.5.2018. [Fortum ja Elenia rakentavat sähkön varastointia sähköjärjestelmän tasapainon ylläpitoon ja sähkökatkojen vähentämiseen](#), haettu 7.5.2021.

Elintarviketeollisuusliitto 2020. [Elintarviketeollisuuden tiekartta vähähiilisyteen \(pdf\)](#), haettu 17.5.2021.

Energiateollisuus. [Puhdistuva kaukolämpö](#), haettu 2.8.2021.

Energiateollisuus 2020. [Kaukolämpö 2019 \(ppt\)](#), 5.11.2020, haettu 2.8.2021.

Energiateollisuus 2021. [Energy Year 2020: District Heating \(pdf\)](#), 18.2.2021, haettu 2.8.2021.

Energiavirasto 2020. [Laitoskohtaiset todennetut päästöt \[t CO₂\] vuosilta 2013-2019 \(pdf\)](#), haettu 2.8.2021.

Euroopan komissio 2014. [Ecodesign your future. How ecodesign can help the environment by making products smarter](#), haettu 7.5.2021.

Euroopan komissio 2018. [KOMISSION TIEDONANTO EUROOPAN PARLAMENTILLE, NEUVOSTOLLE, EUROOPAN TALOUS- JA SOSIAALIKOMITEALLE JA ALUEIDEN KOMITEALLE kiertotalouspaketin täytäntöönpanosta: vaihtoehtoja kemikaali-, tuote- ja jätelainsäädännön rajapinnalla yksilöityjen ongelmien ratkaisemiseksi. COM/2018/032 final](#), haettu 7.5.2021.

Euroopan komissio 2020a. KOMMISSION TIEDONANTO EUROOPAN PARLAMENTILLE, NEUVOSTOLLE, EUROOPAN TALOUS- JA SOSIAALIKOMITEALLE JA ALUEIDEN KOMITEALLE Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma Puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta. COM/2020/98 final, haettu 7.5.2021.

Euroopan komissio 2020b. KOMMISSION TIEDONANTO EUROOPAN PARLAMENTILLE, NEUVOSTOLLE, EUROOPAN TALOUS- JA SOSIAALIKOMITEALLE JA ALUEIDEN KOMITEALLE Vetystrategia ilmastonutraalille Euroopalle COM/2020/301 final, haettu 7.5.2021.

Euroopan komissio 2020c. KOMMISSION TIEDONANTO EUROOPAN PARLAMENTILLE, NEUVOSTOLLE, EUROOPAN TALOUS- JA SOSIAALIKOMITEALLE JA ALUEIDEN KOMITEALLE Euroopan rakennusten perusparannusalo – ympäristöystävällisempiä rakennuksia, lisää työpaikkoja ja parempaa elämänlaatua, haettu 29.6.2021.

Euroopan komissio 28.10.2020. Commission sets Forest Reference Levels in a delegated act, haettu 3.5.2021.

Euroopan komissio 14.7.2021. European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions, haettu 2.8.2021.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, haettu 7.5.2021.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/851, haettu 7.5.2021.

Euroopan unioni. CE-merkintä, haettu 7.5.2021.

Eurooppa-neuvosto 13.6.2019. Cutting emissions: Council adopts CO2 standards for trucks, haettu 4.5.2021.

Findikaattori 2020. Puuston kasvu ja poistuma, 3.12.2020, haettu 3.5.2021.

Fingrid 2021a. Verkkovisio (pdf), haettu 2.8.2021.

Fingrid 2021b. Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2022–2031 (pdf), haettu 2.8.2021.

Fiksuruoka.fi. Fiksuruoka.fi – Etusivu, haettu 3.5.2021.

Fleming G. G. & de Lépinay I. 2019. Environmental Trends in Aviation to 2050 (pdf), haettu 4.5.2021.

Forsman J., Närhi J., Uimonen H., Semkin N., Miettinen V., ja Toivola S. 2021. Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään, haettu 2.8.2021.

Fortum 2020. Carbon removal – Imperative in combating climate change, haettu 22.6.2021.

Fuss S., Lamb W. F., Callaghan M. W., Hilaire J., Creutzig F., Amann T., Beringer T., de Oliveira Garcia W., Hartmann J., ja Khanna T. 2018. Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects, Environmental Research Letters 13(6), haettu 18.5.2021.

Gas for Climate 2021. Extending the European Hydrogen Backbone, haettu 7.6.2021.

Gasum. Biokaasun tie auton tankkiin käy ekologisesti, haettu 4.5.2021.

Gold Standard 2020. Operationalising And Scaling Post-2020 Voluntary Carbon Market (pdf), haettu 3.5.2021.

Gorre J., Orloff F., ja van Leeuwen C. 2019. Production costs for synthetic methane in 2030 and 2050 of an optimized Power-to-Gas plant with intermediate hydrogen storage, Applied Energy 253, haettu 4.5.2021.

Graichen V., Grachen J. ja Healy S. 2019. The role of the EU ETS in increasing EU climate ambition, haettu 7.6.2021.

Grassi G., Stehfest E., Rogelj J., van Vuuren D., Cescatti A., House J., Nabuurs G.-J., Rossi S., Alkama R., Viñas R. A., Calvin K., Ceccherini G., Federici S., Fujimori S., Gusti M., Hasegawa T., Havlik P., Humpenöder F., Korosuo A., Perugini L., Tubiello F. N. ja Popp A. 2021. Critical adjustment of land mitigation pathways for assessing countries' climate progress, Nature Climate Change 11, haettu 2.8.2021.

Haakana M., Laitila P., ja Forssell K.-M. 2018. EPBD implementation in Finland – status at the end of 2016 (pdf), haettu 7.5.2021.

HE 70/2021. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista, haettu 22.6.2021.

HeidelbergCement 15.12.2020. HeidelbergCement to install the world's first full-scale CCS facility in a cement plant, haettu 22.6.2021.

HeidelbergCement 2.6.2021. HeidelbergCement to build the world's first carbon-neutral cement plant, haettu 22.6.2021.

Heinonen T., Pukkala T., Mehtätalo L., Asikainen A., Kangas J., ja Peltola H. 2017. Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry, Forest Policy and Economics 80, haettu 3.5.2021.

Heiska S. & Huikuri N. 2017. Hyönteistuotannon esiselvitys, haettu 3.5.2021.

Heiskanen M., Bergström I., Kosenius A-K., Laakso T., Lindholm T., Mattsson T., Mäkipää R., Nieminen M., Ojanen P., Rankinen K., Tolvanen A., Viitala E-J., ja Peltoniemi M. 2020. Suometsien hoidon tuet ja niiden ilmasto-, vesistö- ja biodiversiteettivaikutukset : Kestävän metsätalouden määräaikaisen rahoituslain (Kemera-lain) mukaisten tukien tarkastelu, haettu 3.5.2021.

Helen 30.9.2019. Mustikkamaan luolalämpövaraston rakentaminen vauhdissa, haettu 7.5.2021.

Helen 17.1.2020. Kilpilahden hukkalämpöhanke etenee – kattaisi toteutuessaan neljäsosan pääkaupunkiseudun kaukolämmön tarpeesta, haettu 2.8.2021.

Helen 10.06.2020. Helen luo uuden lämmöntuotannon mallin pilottihankkeella - Maalämpö osaksi yhtiön hiilineutraalia energiavalikoimaa, 10.06.2020, haettu 29.6.2021.

Helen 28.12.2020. Tutkimuskohde avomerellä: mittausantureilla kerätään dataa merenpohjan talvikauden olosuhteista, haettu 2.8.2021.

Helen 11.3.2021. Mustikkamaan jättimäiset lämpöluolat ovat nyt täynnä vettä, haettu 2.8.2021.

Helen 18.3.2021. Skanska ja Helen toteuttavat ainutlaatuisen energiavaraston Kruunuvuoren kallioluoliin, haettu 2.8.2021.

Helsingin kaupunki 2018a. Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma, haettu 7.5.2021.

Helsingin kaupunki 2018b. Toimitilamarkkinat Helsingissä ja pääkaupunkiseudulla 2017 (pdf), haettu 2.8.2021.

Helsingin kaupunki 2021. Asumisen ja rakentamisen tilastotietoa Helsingistä, 12.2.2021, haettu 22.6.2021

HSY a. Monilokeroinen jäteastia, haettu 4.5.2021.

HSY b. Pääkaupunkiseudun sekajätteen koostumus vuonna 2018 - Kotitalouksien sekajätteen koostumustutkimuksen loppuraportti (pdf), haettu 4.5.2021.

Huttunen M.J., Kuittinen V., ja Lampinen A. 2018. Suomen Biokaasulaitosrekisteri N:O 21, haettu 4.5.2021.

Hynynen J., Salminen H., Haikarainen S., Huuskonen S., Lehtonen M., Siipilehto J., Ahtikoski A., ja Korhonen K.T. 2020. Metsien käsittelyskenaariot. Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartta. Hiilivaraston kasvattaminen (pdf), haettu 3.5.2021.

Hyry J. 2019. Resurssiviisaskansalainen, seurantatutkimus (pdf), haettu 4.5.2021.

Hyundai Hydrogen Mobility. Hyundai Hydrogen Mobility – About us, haettu 4.5.2021.

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, haettu 3.5.2021.

IEA 2020. Direct Air Capture, haettu 17.5.2021.

IPCC 2018. Global Warming of 1.5°C, haettu 18.5.2021.

IPCC 2021. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis, haettu 9.8.2021.

Jactel H., Bauhus J., ja Boberg J. 2017. Tree Diversity Drives Forest Stand Resistance to Natural Disturbances. Curr Forestry Rep 3: 223–243, haettu 3.5.2021.

Jeffery L., Höhne N., Moisio M., Day T., ja Lawless B. 2020. Options for supporting Carbon Dioxide Removal (pdf), haettu 18.5.2021.

Juutinen A., Ahtikoski A., Lehtonen M., Mäkipää R., ja Ollikainen M. 2018. The impact of a short-term carbon payment scheme on forest management. Forest Policy and Economics 90: 115–127, haettu 3.5.2021.

Juutinen A., Shanin V., Ahtikoski A., Rämö J., Mäkipää R., Laiho R., Sarkkola S., Laurén A., Penttilä T., Hökkä H., ja Saarinen M. 2020. Profitability of continuous cover forestry in Norway spruce-dominated peatland forest and the role of water table. Canadian Journal of Forest Research, haettu 3.5.2021.

Jääskeläinen S. 2017. Liikenteen vaihtoehtojen käyttövoimien jakeluverkko. Suomen kansallinen ohjelma, haettu 4.5.2021.

Kangas, H., Turunen, T., Karhinen, S., Kotilainen, A., Piikkilä, V., Pihlajamaa, P., Harsia, P., Vainio, T., Vesanen, T., Mattinen-Yuryev, M., ja Ohrling, T. 2020. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi: Automaatiovelvoite, tekniset järjestelmät sekä lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien tarkastukset (pdf), haettu 29.6.2021.

Kareinen J. 2020. Turvedialogien yhteenveto. Keskusteluseria turvealan oikeudenmukaiseen siirtymään liittyvistä haasteista ja mahdollisuuksista (pdf), haettu 3.5.2021.

Kiertokaari 24.5.2018. Oulussa testataan omakotitaloalueella jätteiden kimppakeräystä, haettu 4.5.2021.

Kiinteistöliitto 2020. Korjausrakentamisbarometri / Syksy 2020 (pdf), haettu 4.5.2021.

Klimscheffskij M., Raivio T., Laine A., Heino A., Lehtomäki J. 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 – Vähähiilisuuden skenaariot (pdf), haettu 22.6.2021.

Koljonen T., Aakkula J., Honkatukia J., Soimakallio S., Haakana M., Hirvelä H., Kilpeläinen H., Kärkkäinen L., Laitila J., Lehtilä A., Lehtonen H., Maanaviija L., Ollila P., Siikavirta H., ja Tuomainen T. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035: Skenaariot ja vaikutusarviot. VTT Technology 366, haettu 3.5.2021.

Kovalainen A., Poutanen S., ja Arvonen J. 2021. Covid-19, luottamus ja digitalisaatio : Tutkimus etätyöstä ja sen järjestymisestä Suomessa keväällä ja syksyllä 2020, haettu 4.5.2021.

Laaksonen J., Salmenperä H., Stén S., Dahlbo H., Merilehto K., ja Sahimaa O. 2018. Kierrätyksestä kiertotalouteen. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023, haettu 4.5.2021.

Laki metsityksen määräaikaisesta tukemisesta 1114/2020, haettu 3.5.2021.

Lappeenrannan Energia 23.6.2021. Uusiutuva sähköä käyttävä lämpöakku vähentää CO₂-päästöjä, haettu 2.8.2021.

Leanheat 20.3.2020. Tekoäly vie kohti hiilineutraalia lämmitystä, haettu 2.8.2021.

Lehtilä A., Koljonen T., Laurikko J., Vainio T., ja Markkanen J. 2021. HIISI-hankkeen WEM-skenaario : Energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitykset, Työversio 9.7.2021 (pdf), haettu 29.9.2021.

Lehtonen H., Saarnio S., Rantala J., Luostarinen S., Maanaviija L., Heikkinen J., Soini K., Aakkula J., Jallinoja M., Rasi S., ja Niemi J. 2020. Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa, haettu 3.5.2021.

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, haettu 3.5.2021.

Lettenmeier M., Akenji L., Toivio V., Koide R. ja Amellina A. 2019. 1,5 asteen elämäntavat. Miten voimme pienentää hiilijalanjälkeämme ilmastotavoitteiden mukaiseksi? (pdf), haettu 6.5.2021.

Liikenne- ja viestintäministeriö 2021. Fossiilittoman liikenteen tiekartta. Asiakirjat: 2020 10 05 HCT-kuljetukset Vaikutusarviopohja – final, haettu 4.5.2021.

Liikenne- ja viestintäministeriö 6.5.2021. Hallitus päätti tieliikenteen päästöjen vähennyskeinoista – päästöt puoleen 2030 mennessä, haettu 2.8.2021.

Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021a. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen perusennuste 2020-2050 (pdf), 22.4.2020, haettu 4.5.2021.

Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT 2021b. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen politiikkaskenaario 2020-2050 (pdf), 14.1.2021, haettu 4.5.2021.

Liikennevirasto 2018. Henkilöliikennetutkimus 2016. Suomalaisten liikkuminen (pdf), haettu 4.5.2021.

Liimatainen H. & Viri R. 2017. Liikenteen päästötavoitteidensaavuttaminen 2030 – politiikkatoimenpiteiden tarkastelu (pdf), haettu 4.5.2021.

Liljeström E. & Monni S. 2020. Jätteen energiahyötykäytön päästöjen kohdentaminen kunnille (pdf), haettu 4.5.2021.

Lintunen J., Uusivuori J., Laturi J., Pohjola J., ja Rautiainen A. 2016. Metsät ja hiilivirtoja ohjaava ilmastopolitiikka, haettu 3.5.2021.

Lounais-Suomen jätehuolto 18.8.2020. Pohjoismaiden ensimmäinen laajamittainen poistotekstiilien jalostuslaitos avataan Paimioon 2021, haettu 4.5.2021.

Luke a. Ruokahävikki ja ruokajärjestelmän kiertotalous, haettu 3.5.2021.

Luke b. Suomen kansallinen hävikkitiekartta, haettu 11.5.2021.

Luke c. Turveke. Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit, haettu 3.5.2021.

Luke 2018. Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12): Puuvarat kasvavat edelleen, 9.10.2018, haettu 3.5.2021.

Luke 2020a. Metsänhoito- ja metsänparannustyöt 2015-, 27.8.2020, haettu 3.5.2021.

Luke 2020b. Metsätilinpito 2019, 27.11.2020, haettu 3.5.2021.

Luke 2020c. Ojitustilanne metsätalousmaalla (1000 ha), 13.11.2020, haettu 3.5.2021.

Luke 2021a. Hakkuukertymä ja puuston poistuma 2020 (ennakko), 16.02.2021, haettu 3.5.2021.

Luke 2021b. Ravintotase 2019 lopullinen ja ennakko 2020, 24.06.2021, haettu 30.6.2021.

Lumperoinen M. & Hämäläinen M. 2020. Metsitys kestävästi 2020. Joutoalueiden määrittäminen – paikatietoanalyysin tulokset (pdf), 24.4.2020, haettu 3.5.2021.

Lund P., Kivimaa P., Arasto A., Lipsanen A., Heliste P., ja Tsupari E. 2021. Sähköllä merkittävä rooli Suomen kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamisessa (pdf), haettu 2.8.2021.

Luostarinen S., Tampio E., Niskanen O., Koikkalainen K., Kauppila J., Valve H., Salo T., ja Ylivainio K. 2019. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot, haettu 3.5.2021.

Maa- ja metsätalousministeriö 2019. Kansallinen metsästrategia 2025 – päivitys. Valtioneuvoston periaatepäätös 21.2.2019 (pdf), haettu 3.5.2021.

Maa- ja metsätalousministeriö 2021. Metsätalouden kannustejärjestelmä 2020-luvulla: Työryhmän muistio, haettu 3.5.2021.

Maaseudun tulevaisuus 2020. Tekeillä uusi turvetta korvaava bisnes: Ravinteikkaita ruovikkoja korjataan kasvualustaksi, 06.10.2020, haettu 3.5.2021.

Material Economics 2018. The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation (pdf), haettu 29.6.2021.

Material Economics 2019. Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry (pdf), haettu 7.5.2021.

Material Economics 2021. EU Biomass Use in a Net-Zero Economy - Priorities for EU biomass resources in a low-carbon transition (pdf), haettu 2.7.2021.

Miljödepartementet 2020. Vägen till en klimatpositiv framtid. SOU 2020:4, 29.1.2021, haettu 22.6.2021.

Motiva 2019. Yritysten energiatulevaisuuden näkymät. Kysely energiatehokkuussopimukseen liittyneille yrityksille. Yhteenveto tuloksista (pdf), haettu 7.5.2021.

Motiva 2021. Uusi avustus asuinrakennusten energiaremontteihin, 07.05.2021, haettu 29.6.2021.

Nature 8.7.2020. Pulling carbon from the sky is necessary but not sufficient. Pääkirjoitus, Nature 583: 167-168, haettu 18.5.2021.

Naturvårdsverket. Konsumtionsbaserade utsläpp av växthusgaser, haettu 2.8.2021.

Neste. Konserni: Hiilijalanjälki, haettu 4.5.2021.

Neste 6.3.2020. Neste invests in Sunfire, leading technology developer of high-temperature electrolysis and Power-to-X solutions, haettu 4.5.2021.

Neova 5.3.2020. Uusi rahoitus- ja tutkimusyhteistyö vauhdittaa Vapon korkean jalostusasteen tuotteiden kehitystä, haettu 7.5.2021.

Nieminen M., Hökkä H., Laiho R., Juutinen A., Ahtikoski A., Pearson M., Kojola S., Sarkkola S., Launiainen S., Valkonen S., Penttilä T., Lohila A., Saarinen M., Haahti K., Mäkipää R., Miettinen J., ja Ollikainen M. 2018. Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peatlands?, Forest Ecology and Management 424: 78-84, haettu 3.5.2021.

Niemistö J., Seppälä J., Karvonen J., ja Soimakallio S. 2021. Päästökompensaatiot ilmastonmuutoksen hillinnän keinona Suomessa – nyt ja tulevaisuudessa, haettu 3.5.2021.

Niinimäki S., Tahvonen O., Mäkelä A., ja Linkosalo T. 2013. On the economics of Norway spruce stands and carbon storage. Canadian Journal of Forest Research 43(7): 637-648, haettu 3.5.2021.

Nissinen A. & Savolainen H. 2019. Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö - ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia, haettu 6.5.2021.

Nousiainen J. 2020. Hiilineutraali maidontuotanto tukee myös vesienhoitoa (pdf), 6.10.2020, haettu 3.5.2021.

Nurmi V. & Ollikainen M. 2019. Kohti hiilipörssiä? : Suomessa esitetyt hiilipörssiin liittyvät aloitteet tutkimuskirjallisuuden ja kansainvälisten kokemusten valossa, haettu 6.5.2021.

Nykvist B. & Olsson O. 2021. The feasibility of heavy battery electric trucks, Joule 5(4): 901-913, haettu 4.5.2021.

Oikeusministeriö 2017. 1048/2017. Liite 1. Laskennallisen energiatehokkuudenvertailuluvun (e-luvun) määrittäminen energiatodistuksessa (pdf), haettu 7.5.2021.

Ollikainen M., Weaver S., ja Seppälä J. 2019. An Approach to Nationally Determined Contributions Consistent with the Paris Climate Agreement and Climate Science: Application to Finland and the EU (pdf), haettu 2.8.2021.

Pahkala T., Uimonen H., ja Väre V. 2018. Joustava ja asiakaskeksinen sähköjärjestelmä: Älyverkkotyöryhmän loppuraportti, haettu 7.5.2021.

Paloneva M. & Takamäki S. 2020. Yhteenveto toimialojen vähähiilitiekartoista, haettu 22.6.2021.

Parkatti V-P. ja Tahvonen O. 2020. Optimizing continuous cover and rotation forestry in mixed-species boreal forests. Canadian Journal of Forest Research 50(11): 1138-1151, haettu 3.5.2021.

Pihlainen S., Tahvonen O., ja Niinimäki S. 2014. The economics of timber and bioenergy production and carbon storage in Scots pine stands. Canadian Journal of Forest Research 44: 1091-1102, haettu 3.5.2021.

Puro.earth. Biochar – Finland, haettu 17.5.2021.

Pöyskö T., Sirkkiä A., Riihelä A., Kujala R., ja Utriainen M. 2020. Logistiikan digitalisaation ilmastovaikutuksia koskeva selvitys, haettu 4.5.2021.

Q Power 2020. Metanoinnin hyötysuhde – mitä väliä?, 17.11.2020, haettu 4.5.2021.

Raivio T., Laine A., Klimscheffskij M., Lehtomäki J., Heino A., Jonsson H., Pokela P., ja Ahlfors M. 2020a. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 2: Vähähiilisuuden mahdollisuuksien tarkastelu (pdf), haettu 7.5.2021.

Raivio T., Laine A., Klimscheffskij M., Heino A., Lehtomäki J. 2020b. Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisuuden tiekartta 2020-2035-2050 (pdf), haettu 7.5.2021.

Rakennusteollisuus a. Jätedirektiivi ja jätelainsäädäntö, haettu 7.5.2021.

Rakennusteollisuus b. Korjausvelka, haettu 7.5.2021.

Rakennusteollisuus c. Rakentamisen materiaalitehokkuuden toimenpideohjelma, haettu 7.5.2021.

Rehunen A., Strandell A., Tiitu M., Nissinen A., ja Helminen V. 2019. Yhdyskuntarakenne luo edellytykset kestäväälle liikkumiselle ja päästövähennyksille, 4.3.2019, haettu 7.5.2021.

Roelofsen O., Somers K., Speelman R., ja Witteveen M. 2020. Plugging in: What electrification can do for industry, haettu 7.5.2021.

Saarinen M., Kaljonen M., Niemi J., Antikainen R., Hakala K., Hartikainen H., Heikkinen J., Joensuu K., Lehtonen H., Mattila T., Nisonen S., Ketoja E., Knuuttila M., Regina K., Riikkonen P., Seppälä J., ja Varho V. 2019. Ruokavaliomuutoksen vaikutukset ja muutosta tukevat politiikkayhdistelmät : RuokaMinimi-hankkeen loppuraportti, haettu 3.5.2021.

Sahimaa O. 2017. Recycling potential of municipal solid waste in Finland. Väitöskirja, Aalto Yliopisto, haettu 3.5.2021.

Salmenperä H., Dahlbo H., Turunen S., Ukkonen A., Hämäläinen T., Nummela E., Ojala S., Haavisto T., Laaksonen J., ja Vanhatalo M. 2019. Punnitukseen perustuva kotitalouksien jätemaksujärjestelmä : Toteuttajan tietopaketti, haettu 4.5.2021.

Sartor O. & Bataille C. 2019. Decarbonising basic materials in Europe: How Carbon Contracts-for-Difference could help bring breakthrough technologies to market (pdf), haettu 6.5.2021.

Seppälä J., Heinonen T., Pukkala T., Kilpeläinen A., Mattila T., Myllyviita T., Asikainen A., ja Peltola H. 2019a. Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. Journal of Environmental Management 247: 580-587, haettu 3.5.2021.

Seppälä J., Savolainen H., Sironen S., Soimakallio S., ja Ollikainen M. 2019b. Päästövähennyspolku kohti hiilineutraalia Suomea – hahmotelma (pdf), haettu 3.5.2021.

Sipilä E., Kiuru H., Jokinen J., Saarela J., Tamminen S., Laukkanen M., ja Palonen P. 2018. Biopolttoaineiden kustannustehokkaat toteutuspolut vuoteen 2030, haettu 4.5.2021.

Sitra 2019. Julkiset ja yksityiset liikkumispalvelut samalle tarjottimelle -hanke, haettu 4.5.2021.

Sitoutumus2050 a. Kestävän purkamisen green deal -sopimus, haettu 7.5.2021.

Sitoutumus2050 b. Päästöttömät työmaat – kestävien hankintojen green deal -sopimus, haettu 7.5.2021.

Soimakallio S., Sankelo P., Kopsakangas-Savolainen M., Sederholm C., Auvinen K., Heinonen T., Johansson A., Judl J., Karhinen S., Lehtoranta S., Rasanen S., ja Savolainen H. 2020. Turpeen rooli ja sen käytöstä luopumisen vaikutukset Suomessa (pdf), haettu 3.5.2021.

Soimakallio S., Kalliokoski T., Lehtonen A., ja Salminen O. 2021. On the trade-offs and synergies between forest carbon sequestration and substitution. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 26(4), haettu 3.5.2021.

SOMPA. SOMPA. Uudet maatalous- ja metsämaan viljely- ja hoitomenetelmät – avain kestävään biotalouteen ja ilmastomuutoksen hillintään, haettu 3.5.2021.

SOMPA 23.1.2020. Blogi: Metsänomistajatyöpajasta näkökulmia suometsien ilmastokestävään hoitoon ja sen kannusteisiin, haettu 3.5.2021.

SSAB. [Timeline for HYBRIT and fossil-free steel](#), haettu 29.9.2021.

St1 24.6.2021. [St1:n Otaniemen geotermisen lämpölaitoksen pilottiprojekti etenee virtaustestivaiheeseen](#), haettu 2.8.2021.

Strefler J., Thorben A., Bauer N., Kriegler E., ja Hartmann J. 2018. [Potential and costs of carbon dioxide removal by enhanced weathering of rocks](#). Environmental Research Letters 13(3), haettu 17.5.2021

Suomen ilmastopaneeli 2021. [Ilmastolakiin kirjattavat pitkän aikavälin päästö- ja nielutavoitteet – Ilmastopaneelin analyysi ja suositukset](#). Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2021. Haettu 9.7.2021.

Suomen Tuulivoimayhdistys. [Tuulivoimaloiden rakenne](#), haettu 2.8.2021.

Suomen Tuulivoimayhdistys 2021. [Suunnittelussa olevat hankkeet](#), haettu 2.8.2021.

Särkijärvi J., Jääskeläinen S., ja Lohko-Soner K. 2018. [Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045 : Liikenteen ilmastopoliittikan työryhmän loppuraportti](#), haettu 4.5.2021.

Söderena P., Nylund N-O., Pettinen R., Muona T., Markkanen J., Paakkinen M., Similä L., Koljonen T., Sokka L., ja Pihlatie M. 2021. [Selvitys ja tiekartta Vuosaaren sataman työkoneliikenteen päästövähennyksille \(pdf\)](#), haettu 4.5.2021.

Tahvonen O. & Rautiainen A. 2017. [Economics of forest carbon storage and the additionality principle](#). Resource and Energy Economics 50: 124-134, haettu 3.5.2021.

Talouselämä 27.2.2021. [Vantaalle valmistuu pian 1,4 miljoonaa euroa maksava ja kahden kilometrin syvyinen lämpökaivo – Suomalainen startup-yhtiö on geotermisen lämmön uranuurtaja](#), haettu 2.8.2021.

Tamminen S., Honkatukia J., Leinonen T., ja Haanperä O. 2019. [Kestävän kehityksen verouudistus. Kohti päästötöntä Suomea \(pdf\)](#), haettu 7.5.2021.

Tapio. [Metsänhoidon suositukset](#), haettu 3.5.2021.

Tekniikka&Talous 18.3.2021. [Ammoniakista on yllättäen tulossa meriliikenteen mullistava polttoaine, jonka avulla päästötavoitteet voisi saavuttaa nopeasti – Näin Wärtsilä reagoi](#), haettu 4.5.2021.

The Climate Change Committee 2019. [Peatland Case Study \(pdf\)](#), haettu 18.5.2021.

Thema M., Bauer F., ja Sterner M. 2019. [Power-to-Gas: Electrolysis and methanation status review](#). Renewable and Sustainable Energy Reviews 112: 775-787, haettu 3.5.2021.

Tilastokeskus 2019. [Rakennukset ja kesämökit. Rakennuskanta 2018](#), haettu 7.5.2021.

Tilastokeskus 2020a. [12qw -- Jätteiden synty toimialoittain, 2018, 17.6.2020](#), haettu 25.11.2020.

Tilastokeskus 2020b. [Energia 2020. 1.8.1 Energian kokonaiskulutus sektoreittain](#), haettu 7.5.2021.

Tilastokeskus 2020c. [Energia 2020. 7.1 Asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen energialähteet](#), haettu 7.5.2021.

Tilastokeskus 2020d. [Energia 2020. 7.2 Rakennusten lämmityksen energialähteet rakennustyypeittäin](#), haettu 7.5.2021.

Tilastokeskus 2020e. [Energia 2020. 8.1 Asumisen energiankulutus energialähteittäin](#), haettu 7.5.2021.

Tilastokeskus 2020f. [Greenhouse Gas Emissions In Finland 1990 to 2018. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol \(pdf\)](#), haettu 3.5.2021.

Tilastokeskus 2020g. [Jätettilasto. Liitetaulukko 1. Jätteiden synty toimialoittain 2018](#), haettu 7.5.2021.

Tilastokeskus 2020h. [Suomen kasviuonekaasupäästöt 1990 – 2019 \(pdf\)](#), haettu 3.5.2021.

Tilastokeskus 2020i. [Kansantalouden materiaa livirrat. Liitetaulukko 1. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö materiaa liryhmittäin 2007–2019](#), haettu 7.5.2021.

Tilastokeskus 2021a. [111k -- Kasviuonekaasupäästöt Suomessa, 1990-2019](#), 19.3.2021, haettu 3.5.2021.

Tilastokeskus 2021b. [12b7 -- Kaukolämmön tuotanto Suomessa, 2000-2019](#), 3.11.2020, haettu 4.5.2021.

Tilastokeskus 2021c. [12sz -- Liikenteen energiankulutus, 1990-2019](#), 21.12.2020, haettu 4.5.2021.

Tilastokeskus 2021d. [12vq -- Energian kokonaiskulutus energialähteittäin \(kaikki luokat\), 1970-2020*](#), 16.4.2021, haettu 4.5.2021.

Tilastokeskus 2021e. [Greenhouse Gas Emissions In Finland 1990 to 2019. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol \(pdf\)](#), haettu 27.5.2021.

Tilastokeskus 2021f. [Kasviuonekaasu inventaario. Raportointi \(ks. CRF-taulut\)](#), haettu 4.5.2021.

Tilastokeskus 2021g. [Polttoaineluokitus 2021](#), haettu 4.5.2021.

Tilastokeskus 2021h. Rakennuskanta 2020, 3.6.2021, haettu 1.7.2021.

Tilastokeskus 2021i. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990 – 2020 (pdf), haettu 4.6.2021.

Tirkkonen J., Laitila P., ja Outinen P. 2019. Energiatohokkuustyöryhmän raportti, haettu 7.5.2021.

Tolvanen A., Saarimaa M., Ahtikoski A., Haara A., Hotanen J.-P., Juutinen A., Kojola S., Kurttila M., Nieminen M., Nousiainen H., Parkkari M., Penttilä T., Sarkkola S., Tarvainen O., Minkkinen K., Ojanen P., Hjort J., Kotavaara O., Rusanen J., Sormunen H., Aapala K., Heikkinen K., Karppinen A., Martinmäki-Aulaskari K., Sallantausta T., Tuominen S., Vilmi A., Kuokkanen P., Rehell S., Ala-Fossi A., ja Huotari N. 2018. Metsätalouden soveltumattomien ojitettujen soiden jatkokäyttö - Quantification and valuation of ecosystem services to optimize sustainable re-use for low-productive drained peatlands, haettu 3.5.2021.

Traficom 2020 a. Fossiilittoman liikenteen tiekartta: kävelyn ja pyöräilyn investointiohjelma (pdf), haettu 4.5.2021.

Traficom 2020 b. Julkisen liikenteensuoritetilasto 2018 (pdf), haettu 4.5.2021.

Traficom 2020 c. Rajapintakäytännöt, haettu 4.5.2021.

Traficom 2021. Kävelyn ja pyöräilyn investointiohjelman valtionavustus, 10.03.2021, haettu 4.5.2021.

Turun kaupunki. Skanssin uudentulokset energiaratkaisut, haettu 3.6.2021.

Työ- ja elinkeinoministeriö 2018. Joustava ja asiakaskeksinen sähköjärjestelmä - Älyverkkotyöryhmän loppuraportti, haettu 29.6.2021.

Työ- ja elinkeinoministeriö 2020. Biokaasuohjelmaa valmistelevalle työryhmälle loppuraportti, haettu 3.5.2021.

Vainio 11.6.2021. Sidosryhmätilaisuus 11.6.2021: Ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI-hanke), haettu 2.8.2021.

Valsta L., Kaartinen N., Tapanainen H., Männistö S., ja Sääksjärvi K. 2018. Ravitsemus Suomessa – FinRavinto 2017 -tutkimus, haettu 3.5.2021.

Valtioneuvosto 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019: Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta, haettu 3.5.2021.

Valtioneuvosto 2021a. Valtioneuvoston periaatepäätös kiertotalouden strategisesta ohjelmasta, 8.4.2021, haettu 17.5.2021.

Valtioneuvosto 2021b. Valtioneuvoston periaatepäätös lentoliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä, 6.5.2021, haettu 10.5.2021.

Valtioneuvosto 2021c. Valtioneuvoston periaatepäätös meri- ja sisävesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä, 6.5.2021, haettu 10.5.2021.

Valtioneuvosto 2021d. Suomen kestävä kasvun ohjelma: Elpymis- ja palautumissuunnitelma, haettu 2.6.2021.

Valtioneuvosto 28.4.2020. Metsähallitukselle uudet omistajapolitiittiset linjaukset, haettu 3.5.2021.

Valtioneuvosto 29.4.2021. Hallitus päätti vaalikauden lopun linjauksista ja vuosien 2022–2025 julkisen talouden suunnitelmasta, 29.4.2021, haettu 17.5.2021.

Valtiovarainministeriö 2020a. Kansallinen julkisten hankintojen strategia 2020, haettu 7.5.2021.

Valtiovarainministeriö 2020b. Talousarvioesitys 2021. Osasto 11. Verot ja veronluonteiset tulot, haettu 4.5.2021.

Vantaan Sanomat 15.5.2019. Keskellä Myyrmäkeä on ainutlaatuinen paikka, jossa perunat kasvavat ilmassa – antaa jopa 10-kertaisen sadon tavanomaiseen verrattuna, haettu 3.5.2021.

Vasara, Lehtinen, ja Laukkanen. 2020a. Teknologiaeollisuuden vähähiilitiekartta. Raportti – vaihe 2 (pdf), haettu 17.5.2021.

Vasara, Nyman, Lehtinen, Aktüre, Laukkanen. 2020b. Roadmap to reach carbon neutral chemistry in Finland 2045. Final report (pdf), haettu 7.5.2021.

Vasara, Patronen, Lehtinen, ja Laukkanen. 2020c. Tiekartta metsäteollisuudelle vähähiilistävyyssä yhteiskunnassa, osa: Päästöt (pdf), haettu 7.5.2021.

Vatajankoski 2021. Älykaukolämpö, haettu 29.6.2021.

Venäläinen A., Lehtonen I., Laapas M., Ruosteenoja K., Tikkanen O.-P., Viiri H., Ikonen V.-P., ja Peltola H. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. Glob Change Biol 26: 4178– 4196, haettu 3.5.2021.

Verra 2020. Public Consultation – Proposal for Scaling Voluntary Carbon Markets and Avoiding Double

Counting Post-2020, haettu 3.5.2021.

Virolainen-Hynnä A. 2020. Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 2030 (pdf), haettu 3.5.2021.

VTT 2020a. ALIISA autokantamallin tuloksia vuonna 2019, 15.6.2020, haettu 4.5.2021.

VTT 2020b. Suomen kotimaanliikenteen päästöt ja energiankäyttö vuonna 2019, 15.6.2020, haettu 4.5.2021.

VTT 2021. Sidosryhmätilaisuus: Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI-hanke) (pdf), 11.6.2021, haettu 29.6.2021.

VTT 26.11.2019. VTT ratkaisi päästöttömän vetyteknologian haasteita: Siirrettävä polttokenno-elektrolyyseri tuottaa vetyä ja vedystä sähköä päästöttömästi erinomaisella hyötysuhteella, haettu 4.5.2021.

VTT 25.2.2020. Fossiilisille kyytiä! VTT kehittää pienreaktoria kaukolämpökäyttöön, haettu 2.8.2021.

VTT 23.9.2020. Suomalainen pienreaktoriosaaminen vahvistuu uudella innovaatio- ja liiketoimintaverkostolla, haettu 2.8.2021.

Yhdistyneen kuningaskunnan hallitus 20.4.2021. UK enshrines new target in law to slash emissions by 78% by 2035, haettu 7.5.2021.

Yle 2.4.2015. Tutkijat selvittivät yli 50 000 puretun talon taustoja – toimistorakennukset jyrätään asuintaloja uudempina, haettu 22.6.2021.

Yle 22.9.2020. Vantaalle louhitaan maailman suurin lämpövarasto, turpeen käyttö lopetetaan ja jätevoimalaa laajennetaan – fossiiliset polttoaineet jäävät pois vuonna 2026, haettu 2.8.2021.

Yle 29.9.2020. Tulevaisuuden lämpöenergiavarasto otettiin käyttöön Vaasassa – vanhoista öljyvarastoista tuli päästöttömän lämmön lähde, haettu 2.8.2021.

Yle 23.12.2020. Miksi yhä vain harva ostaa sähkönsä pörssihintaan sidottuna, vaikka sen avulla voisi saada aikaan isot säästöt? Taustalla kolme syytä, haettu 2.8.2021.

Yle 19.3.2021. Visiot ovat muuttumassa todeksi juuri nyt: Vihreä vety on tuomassa ennennäkemätöntä mullistusta Suomen teollisuuteen ja energian tuotantoon, haettu 7.5.2021.

Yle 23.4.2021. Keski-Euroopan energia-alalla investoidaan nyt vetyyn – suomalaisyritykset perustivat verkoston tavoittelemaan alan isoja hankkeita, haettu 22.6.2021.

Yle 28.6.2021. Kasvi-proteiinien kulutus valtavirtaistuu ja kasvaa pikavauhtia, lihan kulutus laskenut kahtena vuotena – K-ryhmä: Peilaa osaltaan lihansyönttiin, haettu 30.6.2021.

Yli-Viikari A. 2019. Maaseutuohjelman (2014–2020) ympäristöarviointi, haettu 3.5.2021.

Ympäristöministeriö a. CE-merkintä, haettu 7.5.2021.

Ympäristöministeriö b. Rakennetun ympäristön tietojärjestelmä. Näin uusi tietojärjestelmä rakentuu, haettu 7.5.2021.

Ympäristöministeriö c. Öljylämmityksestä luopuminen, haettu 3.6.2021.

Ympäristöministeriö d. Vapaaehtoiset päästökompensaatiot, haettu 9.8.2021.

Ympäristöministeriö 2016. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus, haettu 7.5.2021.

Ympäristöministeriö 2017. Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030 – Kohti ilmastoviisasta arkea, haettu 22.6.2021.

Ympäristöministeriö 30.11.2017. Rakennusten energiamuutokset uudistettu, haettu 7.5.2021.

Ympäristöministeriö 2020. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020-2050 (pdf), haettu 2.8.2021.

Ympäristöministeriö 2021. Luonnos fossiilisesta öljylämmityksestä luopumisen toimenpideohjelmaksi (pdf), haettu 29.6.2021.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017, haettu 7.5.2021.

Liitteet

Liite A Kiitokset

Sitra haluaa kiittää työhön kommentteja antaneita asiantuntijoita. Tulokset eivät kuitenkaan välttämättä edusta heidän tai heidän edustamiensa organisaatioiden näkemyksiä.

Hanna Aho	Suomen luonnonsuojeluliitto ry
Jero Ahola	LUT-yliopisto
Jonni Ahonen	LeaseGreen Group Oy
Mika Airaksela	Arkta Reponen Oy
Miimu Airaksinen	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL
Katriina Alhola	Suomen ympäristökeskus
Antti Arasto	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Antti Asikainen	Luonnonvarakeskus
Aino Assmuth	Luonnonvarakeskus
Karoliina Auvinen	Suomen ympäristökeskus
Isa-Maria Bergman	Motiva Oy
Pia Björkbacka	Suomen Ammattiliittojen Keskusjärjestö SAK ry
Fredrik Blomfelt	Metsäteollisuus ry
Olli Dahl	Aalto-yliopisto
Juhani Damski	Ympäristöministeriö
Tapio Eerikäinen	Luonnonvarakeskus
Ahti Fagerblom	Metsäteollisuus ry
Nufar Finel	Suomen ympäristökeskus
Petri Hirvonen	Työ- ja elinkeinoministeriö
Henri Horn	Espoon kaupunki
Krista Huhtala-Jenks	MaaS Global Oy
Riku Huttunen	Työ- ja elinkeinoministeriö
Anne Jarva	Kuntaliitto ry
Eljas Jokinen	Soilfood Oy
Jatta Jussila	CLIC Innovation Oy
Saara Jääskeläinen	Liikenne- ja viestintäministeriö
Matti Kahra	Elinkeinoelämän keskusliitto ry
Jessica Karhu	Green Building Council Finland ry
Markku Kinnunen	Työ- ja elinkeinoministeriö
Paula Kivimaa	Suomen ympäristökeskus
Tiina Koljonen	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Janne M. Korhonen	Aalto-yliopisto
Jaakko Korpela	EntoCube Oy
Kaisa Kosonen	Greenpeace
Juha Kostiainen	YIT Oyj
Matti Kuittinen	Ympäristöministeriö
Petteri Kuuva	Työ- ja elinkeinoministeriö
Tiina Kähö	Pääkaupunkiseudun Smart & Clean -säätiö
Senja Laakso	Helsingin yliopisto
Pasi Laitala	Espoon kaupunki
Juha Lappalainen	Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry
Juhani Laurikko	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Teppo Lehtinen	Ympäristöministeriö
Heikki Lehtonen	Luonnonvarakeskus
Bettina Lemström	Työ- ja elinkeinoministeriö
Harri Leppänen	SSAB AB
Ulla Leveelahti	Finnsementti Oy
Heikki Liimatainen	Tampereen yliopisto
Jussi Lintunen	Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA
Jari Liski	Ilmatieteen laitos
Peter Lund	Aalto-yliopisto
Sari Luostarinen	Luonnonvarakeskus
Antti Majava	BIOS-tutkimusyksikkö
Pirjo Majuri	Turun yliopisto
Jukka Makkonen	Energiäteollisuus ry
Anni Mikkonen	Suomen tuulivoimayhdistys ry
Jorma Mikkonen	Lassila & Tikanoja Oy
Jarmo Muurman	Ympäristöministeriö
Taina Nikula	Ympäristöministeriö
Jani Nokkanen	NREP Oy
Juha Nousiainen	Valio Oy

Nils-Olof Nylund	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Paavo Ojanen	Helsingin yliopisto
Matti Oksanen	Gasum Oy
Markku Ollikainen	Suomen ilmastopaneeli
Merja Paavola	Fortum Oyj
Rasmus Pinomaa	Kemianteollisuus ry
Heidi Pirtonen	Tilastokeskus
Timo Pukkala	Itä-Suomen yliopisto
Katri Rankinen	Suomen ympäristökeskus
Jukka Rantala	Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry
Janne Rauhamäki	Helen Oy
Matti Rautkivi	Wärtsilä Oyj
Kristiina Regina	Luonnonvarakeskus
Antti Rehunen	Suomen ympäristökeskus
Lauri Reuter	Nordic Food Tech Venture Capital Oy
Miira Riipinen	Kuntaliitto ry
Jukka Ruusunen	Fingrid Oyj
Ilkka Räsänen	Neste Oyj
Merja Saarinen	Luonnonvarakeskus
Sami Sailo	There Corporation Oy
Hanna Salmenperä	Suomen ympäristökeskus
Jyri Seppälä	Suomen ympäristökeskus
Helena Soimakallio	Teknolוגiateollisuus ry
Sampo Soimakallio	Suomen ympäristökeskus
Mikko Somersalmi	RAKLI ry
Heikki Sorasahi	Ympäristöministeriö
Sirje Sten	Ympäristöministeriö
Ville Tulkki	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Joona Turtiainen	Energiateollisuus ry
Topi Turunen	Suomen ympäristökeskus
Tere Vadén	BIOS-tutkimusyksikkö
Birgitta Vainio-Mattila	Maa- ja metsätalousministeriö
Sauli Valkonen	Luonnonvarakeskus
Timo Vesala	Helsingin yliopisto
Perttu Virkajärvi	Luonnonvarakeskus
Petri Vuori	Calefa Oy
Pekka Vuorinen	Rakennusteollisuus ry
Maiju Westergren	Helen Oy
Leena Ylä-Mononen	Ympäristöministeriö

Liite B Laskelmien oletukset

Tässä osiossa on kuvattu päästövähennysten jakautumisen hahmotelussa käytetyt oletukset. Ilmastoratkaisujen potentiaalia on hahmoteltu suuntaa antavasti kirjallisuuden pohjalta. Työssä ei ole tehty uutta mallinusta, uusia arvioita ratkaisujen täsmällisestä potentiaalista tai kustannustehokkuudesta tai pyritty ennustamaan tulevaa kehitystä. Arviot sisältävät merkittäviä epävarmuuksia.

Laskelmissa päästöjä lähdetään vähentämään tasosta, joka toteutuisi "ilman toimia", eli ilman nykyistä laajempaa ratkaisujen käyttöönottoa. Toisin sanoen sektorin päästöintensiteetti pidetään nykytasolla, ja huomioidaan toiminnan odotettu laajeneminen - esimerkiksi teollisuuden tuotannon tai liikennemäärien kasvu. Näin saadaan kuvata kunkin ratkaisun koko päästövähennyspotentiaali suhteessa nykyiseen toimintatapaan. Taso ei kuvaa nk. BAU-skenaariota eli päästöjen kehitystä, joka toteutuisi ilman uusia poliittisia päätöksiä - monet ratkaisut otetaan nykyistä laajemmin käyttöön myös jo käytössä olevilla ohjauskeinoilla.

Sähkö ja kaukolämpö

Sähkön ja kaukolämmön päästöiksi on allokoitu kasvihuonekaasuinventaarion (Tilastokeskus 2021f) julkisen sähkön- ja lämmöntuotannon päästöt. Yhteistuotannon päästöt on jaettu sähkölle ja kaukolämmölle energiamenetelmällä Tilastokeskuksen energiataulun 3.4.2 kaukolämmön yhteistuotannon jaon suhteessa.

Kaukolämmön ja sähkön yhteenlaskettuja päästöjä oletettiin vähennettävän 90 % nykytasosta vuoteen 2035 mennessä Energiateollisuuden tiekartan päivitystä (Energiateollisuus) mukaillen ja laskevan tasolle 0,3 Mt Energiateollisuuden tiekartan (AFRY 2020) mukaisesti.

Ilman toimia sähkön ja kaukolämmön päästöjen oletettiin kasvavan teollisuuden ja rakennetun ympäristön oletusten mukaisesti, eli teollisuuden kulutuksen osalta 0,75 %

vuodessa ja rakennetun ympäristön kulutuksen osalta yhteensä 5 % 2050 mennessä.

Teollisuuden ja rakennusten energiatehokkuuden kasvun oletettiin välttävän päästöjen kasvu nykytasosta, ja lisäksi vähentävän kaukolämmön kysyntää ja päästöjä vuonna 2035 10 % ja vuonna 2050 20 % nykytasoon verrattuna.

Puhtaan sähköntuotannon (tuuli, aurinko, ydin) yhdistettyinä akkuihin, siirtoverkkojen lisäämiseen ja kulutusjousto- on oletettiin korvaavan 80 % nykyisestä fossiilisesta sähköntuotannosta vuoteen 2035 ja 90 % vuoteen 2050 mennessä.

Nykyisestä fossiilisesta kaukolämmön- tuotannosta oletettiin korvattavan hukka- lämmöillä, ympäristölämmöillä ja mahdollisesti ydinkaukolämpölaitoksilla yhdistettyinä lämpövarastoihin ja lämmön kulutusjousto- on 50 % vuoteen 2035 ja 70 % vuoteen 2050 mennessä.

Loput sähkön ja lämmöntuotannon päästöistä oletettiin korvattavan biomassalla ja puhtailla kaasuilla siten, että päästiin edellä kuvattuun päästötasoon.

Teollisuus

Teollisuuden prosessipäästöt sekä teollisuuden energiantuotannon päästöt perustuvat kasvihuonekaasuinventaarioon (Tilastokeskus 2021f). Myös öljynjalostuksen ja kiinteiden polttoaineiden valmistuksen päästöt on allokoitu teollisuudelle. Teollisuuden työko- neiden päästöistä on kuitenkin poistettu rakennetulle ympäristölle allokoitu Rakennusteollisuuden arvio rakennustyömaiden päästöistä (0,8 Mt, Raivio ym. 2020). Teolli- suuden käyttämään energiasektorilla tuotet- tuun sähköön ja lämpöön on allokoitu Teknologiateollisuuden, Kemiateollisuuden ja Metsäteollisuuden tiekartoissa ilmoitetut scope 1 ja scope 2 -päästöt, jotka ylittävät kasvihuonekaasuinventaariossa näille teolli- suudenaloille raportoidut päästöt.

Ilman uusien keinojen käyttöönottoa teollisuuden tuotannon ja siten päästöjen oletettiin kasvavan 0,75 % vuodessa, kuten teollisuuden tiekartoissa.

Kiertotalouden oletettiin vähentävän päästöjä 0,5 % vuodessa kaikilla aloilla. Energiatehokkuuden oletettiin vähentävän energiantuotannon ja käytetyn energian päästöjä 0,5 % vuodessa.

Tehostamisen jälkeen jäljelle jääneitä edellä mainittuja scope 2 -päästöjä oletetaan vähennettävän energiasektorilla Energiateollisuuden tiekartan uusimman version mukaisesti 90 % nykytasosta 2035 mennessä, ja 2050 mennessä energiasektorin päästön oletetaan poistuvan kokonaan.

Sähköistämällä ja polttoainevaihdoksella päästöjä oletetaan vähennettävän Teknologia-teollisuuden, Kemianteollisuuden ja Metsäteollisuuden tiekarttojen mukaisesti. Lisäksi Finnsementin Lappeenrannan tuotantolaitoksen energiapäästöt oletetaan poistettavan polttoainevaihdoksella.

Vedyn tuotanto oletetaan vaihdettavan elektrolyysiin vuoteen 2035 mennessä. Fossiilittomalla teräksellä oletetaan poistettavan SSAB:n Raahen laitoksen päästöt vuoteen 2050 mennessä, ja puolet päästöistä oletetaan poistuvan 2035 mennessä.

Tuotteiden korvaamisella ja raaka-ainevaihdoksilla on allokoitu F-kaasujen käytön vähentäminen Ilmastopaneelin hiilineutraaliuspolun (Seppälä ym. 2019) mukaisesti vuonna 2035, ja käytön vähentämisen jatkuvan niin että vuonna 2050 päästöjä F-kaasuista syntyy enää 0,1 Mt.

CCS:llä oletetaan vähennettävän päästöjä Kemianteollisuuden tiekartassa esiintyvän hiilen talteenoton verran, ja lisäksi Finnsementin Paraisten tuotantolaitoksen päästöt oletetaan poistettavan 2050 mennessä.

BECCS:llä oletetaan tuotettavan negatiivisia päästöjä karkeasti sen verran kuin teollisuudella on edellä lueteltujen keinojen jälkeen jäljellä vuonna 2050 (2 Mt), josta puolet jo vuonna 2035.

Rakennettu ympäristö

Rakennetun ympäristön päästöihin on allokoitu maankäyttösektorilta (LULUCF) rakennettujen alueiden päästöt, kotitalouksen polttoainekäyttö, kaupan, palveluiden ja

julkisen sektorin polttoainekäyttö sekä Rakennusteollisuuden tiekartassa (Raivio ym. 2020) arvioidut rakennustyömaiden päästöt. Muilla sektoreilla raportoiduiksi päästöiksi on esitetty Rakennusteollisuuden tiekartan arviot rakennusmateriaalien, rakentamisen kuljetusten ja rakennusten käyttämän kaukolämmön ja sähkön sekä teollisuusrakennusten polttoainekäytöstä.

Rakennusten kerrosalan ja rakennettujen alueiden päästöjen oletettiin ilman lisätoimia kehittyvän kuten HIISI-hankkeen WEM-skenaariossa (Lehtilä ym. 2021). Kerrosalan kasvun oletettiin ilman lisätoimia lisäävän suorassa suhteessa rakennusmateriaalien, rakentamisen kuljetusten, kaukolämmön, sähkön ja teollisuusrakennusten polttoainekäytön sekä rakennustyömaiden päästöjä. Asumisen ja palveluiden öljylämmitykseen kerrosalan kasvun ei oletettu vaikuttavan, koska uusiin rakennuksiin ei enää asenneta öljylämmitystä.

Alueiden resurssiviisaalle suunnittelulle sekä pitkäikäisemmille rakennuksille ja käyttöasteen nostolle allokoitiin päästövähenhennyksenä HIISI-hankkeen WAM-skenaariota (VTT 2021) ja WEM-skenaariota kerrosalojen eron (-5 % vs. +5 %) aiheuttama muutos edellä luetelluissa päästöluokissa. Lisäksi rakennettujen alueiden maankäytön muutoksen päästöjä oletettiin vähennettävän 0,3 Mt verrattuna WEM-skenaarioon.

Vähäpäästöisemmille rakennusmateriaaleille ja materiaali-tehokkuudelle allokoitiin jäljellä olevasta rakennusmateriaalien päästöistä 85 % vähennys vuoteen 2050 mennessä Rakennusteollisuuden tiekartan (Klimscheffskij ym. 2020) mukaisesti. Samoin vähäpäästöisille työkoneille ja kuljetuksille allokoitiin jäljellä olevista rakennustyömaiden ja kuljetusten päästöistä 85 % vähennys vuoteen 2050 mennessä.

Öljylämmityksestä oletettiin luovuttavan vuoteen 2035 mennessä.

Olemassaolevan rakennuskannan ja uudisrakennusten energiatehokkuudelle allokoitiin

WAM-skenaarion mukainen energiankäytön väheneminen verrattuna rakennuskannan nykyiseen energiaintensiteettiin sekä Rakennusteollisuuden tiekartassa sille arvioituun hiilijalanjälkeen.

Energiasektorin toimilla oletettiin vähentävän jäljellejäävän kaukolämmön ja sähkön päästöjä 90 % vuoteen 2035 ja 98 % vuoteen 2050 mennessä.

Liikenne

Hahmotelma liikenteen päästövähennyskeinojen roolista perustuu tuoreimpaan liikenteen politiikkaskenaarioon, jota Liikenne- ja viestintäministeriö & VTT (2021b) kuvaa. Kunkin ratkaisun päästövähennykset on arvioitu suhteessa vuoden 2019 päästöintensiteettiin, joka huomioi esimerkiksi silloin käytössä olleen biopolttoaineen jakeluvoitteen, mutta ei esimerkiksi uusien autojen vanhoja suurempaa energiatehokkuutta, joka on esitetty omana päästövähennystoimenaan.

Henkilöautoilua vähentävien ratkaisujen (liikkumistarpeen väheneminen, kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen edistäminen, uudet liikkumispalvelut) päästövähennys on määritetty henkilöautojen suoritteiden erotuksesta politiikka- ja perusskenaarioissa käyttäen henkilöautoliikenteen nykyistä päästöintensiteettiä. Tehokkaampien tavarakuljetusten päästövähennys on vastaavasti määritetty kuorma-autojen suoritteiden erotuksesta käyttäen kuorma-autojen nykyistä päästöintensiteettiä.

Sähköautojen, joihin sisältyvät myös mahdolliset vetyautot, päästövähennys on laskettu ajoneuvoluokittain perustuen sähkön osuuteen ajoneuvojen suoritteesta politiikkaskenaariossa. Päästövähennyksenä huomioidaan vuoden 2019 suhteellisen osuuden ylittävä sähkön käyttö kussakin ajoneuvoluokassa, ja vähennys lasketaan ajoneuvoluokkien nykyisestä päästöintensiteetistä.

Biokaasun päästövähennys on laskettu vastaavasti, huomioiden että biokaasun osuus ajoneuvojen käyttämästä kaasusta

kasvaa ajan myötä kuten politiikkaskenaariossa.

Biokaasua, biopolttoaineita ja mahdollisia synteettisiä polttoaineita käsitellään liikennesektorilla nollapäästöisinä, sillä niiden tuotannosta aiheutuvat päästöt raportoidaan muilla sektoreilla ja osin Suomen rajojen ulkopuolella.

Bensiini- ja dieselmootoreiden energiatehokkuuden paranemisen aiheuttama päästövähennys perustuu politiikkaskenaariossa esiintyvään ajoneuvoluokittaiseen polttoaineen kulutuksen vähenemiseen ajettua kilometriä kohti, ajoneuvoluokittaiseen dieselillä ja bensiinillä ajettuun suoritteeseen sekä dieselin ja bensiinin nykyiseen päästöintensiteettiin. Päästöintensiteetti on määritetty kasvihuonekaasuinventaarion dieselin ja bensiinin päästökertoimista (Tilastokeskus 2021f), joita on skaalattu vuoden 2019 bio-osuuden mukaan kummasakin polttoaineessa.

Uusiutuvien polttoaineiden, joihin sisältyvät myös synteettiset polttoaineet, päästövähennys on määritetty liikenteen politiikkaskenaariossa käytettyjen etanolin ja uusiutuvan dieselin mukaan niiltä osin kuin se ylittää vuoden 2019 suhteellisen uusiutuvien nestemäisten polttoaineiden osuuden. Vuodesta 2045 politiikkaskenaariossa esiintynyt pieni päästömäärä on oletettu poistettavan kokonaan synteettisillä polttoaineilla. Korvattavan fossiilisen dieselin ja bensiinin päästö on määritetty kasvihuonekaasuinventaarion päästökertoimilla.

Tätä laskelmaa varten ei ollut käytettävissä politiikkaskenaarion tarkkoja tietoja moottoripyöristä ja mopedeista, junista, vesiliikenteestä tai lentoliikenteestä. Moottoripyörien ja mopedioiden käyttövoimien on oletettu kehittyvän samoin kuin henkilöautojen, ja nykyisin dieselillä käyttävien junien samoin kuin kuorma-autojen. Päästöttömän liikenteen saavuttamiseksi vuonna 2045 myös kotimaan vesi- ja lentoliikenteen päästöt on oletettu poistettavan, mutta näitä ei olla tässä jaettu eri päästövähennyskeinoille.

Maatalous

Maatalouden päästöissä energiankäytölle on allokoitu maatalouden työkoneiden ja lämmityksen päästöt. Eläimet ja lanta sisältävät eläinten ruuansulatuksen, lannankäsittelyn ja lannan levityksen päästöt. Lannoittamisen päästöt sisältävät kalkituksen, väkılanoitteiden, kasvintähteiden sekä epäsuoran N_2O :n (valumien) päästöt. Turvemaiden maaperäpäästöt sisältävät orgaanisten maidon N_2O :n sekä orgaanisen viljelymaan ja ruohikkoalueiden (hylätyt turvepellot) CO_2 :n. Kivennäismaiden maaperäpäästöt sisältävät typen mineralisaation sekä kivennäismaan CO_2 :n.

Hahmotelma maatalouden päästövähennykeinojen roolista perustuu pääosin MTK:n ja SLC:n tiekartan (Lehtonen ym. 2020) ilmastoskenaarioihin, joiden lisäksi arvioitiin ruokavalion muutoksen ja ruokahävikin vähentämisen vaikutusta.

Turvepeltojen pellonraivauksen loppumista verrattiin nykytilaan, jossa pellonraivaus jatkuu 1000 hehtaarilla vuodessa, ja keskimääräinen raivatuksen alueen päästö on 30 tCO_2e/ha (Tilastokeskus 2020f) vuodessa.

Satotasojen noston aiheuttama pinta-alatarpeen pieneneminen saatiin vertaamalla viljojen, tuotantonurmen ja muiden viljelykasvien pinta-aloja MTK:n ja SLC:n tiekartan WAM2-skenaariossa vuonna 2050 vuoden 2018 alaan. Kesantoalan vähenemisen arvioitiin vastaavasti vertaamalla WAM2-skenaariossa kesantoalaa vuonna 2030 vuoden 2018 alaan. Muutos oletettiin lineaarisiksi.

Ruokahävikin vähentämisen vapauttavan pinta-alan arvioinnissa oletettiin saavutettavaksi Suomen tekemä sitoumus vähittäiskaupan ja kotitalouksien ruokahävikin puolittamisesta vuoteen 2030 mennessä. Kotitalouksien ja vähittäiskaupan hävikiksi arvioitiin Luken ja Päivittäistavarakaupan perusteella yhteensä 9 prosenttia tuotetusta ruuasta, jolloin hävikin puolittaminen vähentäisi satotasojen noston jälkeen tuotantoon tarvittavaa peltoalaa 4,5 prosenttia.

Kasvis- ja kalapainotteisemman ruokavalion sekä uusien ruuantuotantotapojen oletettiin vähentävän lihan ja maitotuotteiden kulutusta ja siten tuotantoa 40 prosentilla vuoteen 2050 mennessä (Koljosen ym. 2020) vähäpäästöskenaarioiden keskiarvo), jonka oletettiin Koljosen ym. (2020) pohjalta vähentävän tuotantoalan tarvetta 35 prosenttia satotasojen noston jälkeen. Eläinten ruuansulatuksen, lannankäsittelyn ja lannan levityksen päästöjen oletettiin vähenevän 40 prosenttia nykytasosta eläintuotannon vähenemisen seurauksena.

Turvemaiden päästövähennykset pellonkäytön muutoksen seurauksena arvioitiin käyttämällä Lehtosen ym. (2021) raportoitua päästökertoimia (Taulukko 4). Säättösalaojitukseen eli mären nurmen viljelyyn, ennallistamiseen, kosteikkoviljelyyn ja metsitykseen oletettiin ohjattavan saman verran turvemaita kuin MTK:n ja SLC:n tiekartan WAM2-skenaariossa. Päästöjen lähtötasona kullekin toimelle käytettiin keskiarvoa tuotannosta poistuvien maiden päästöistä. Kuten WAM2:ssa, yksivuotisten kasvien viljelyn ja kesantoalan oletettiin poistuvan turvemailta, ja aiemmin arvioitujen ruokahävikin vähenemisen ja ruokavaliomuutosten seurauksena tuotantonurmien alan oletettiin vähenevän 39,5 prosenttia WAM2-skenaariota enemmän. Kaikki WAM2-skenaariossa päälle poistuva ala, noin 50 000 hehtaaria, ohjattiin pellon hylkäykseen WAM2-skenaariossa määrän päälle.

Myös kivennäismailla ruokahävikin vähenemisen ja ruokavaliomuutosten oletettiin vähentävän WAM2-skenaariossa viljan ja nurmen tuotantoalaa 39,5 prosenttia, ja lisäksi vapautuva ala, noin 640 000 hehtaaria, ohjattiin kokonaisuudessaan metsitykseen. Päästövähennykseksi kivennäismaiden metsitykselle allokoitiin metsitettävän alan suhteellinen osuus kivennäismaiden nykyisestä (2019) hiilidioksidipäästöistä. Metsityksen nettohiililuksi käytettiin MTK:n ja SLC:n tiekartan mukaisesti arvioita $-1,2 tCO_2e/ha$, mutta tämä 0,8 Mt nettohiilu esitetään metsäsektorilla, koska metsitetyn alan ei

katsota enää kuuluvan maatalouteen. Arvio ei huomioi 20 vuoden jälkeen tapahtuvaa kasvua nielussa puuston kasvun lisääntyessä.

Kivennäismailla oletettiin hiiltä sitovilla viljelykäytännöillä saavutettavan WAM1-skenaarion mukainen nielu, $-0,81$ Mt. Lisäksi päästövähennykseksi allokoitiin se osuus kivennäismaiden nykypäästöistä, joka ei mennyt metsitykselle.

Maatalouden energiakäytön päästöt oletettiin nollattavan 2050 mennessä.

Metsien ja kosteikkojen käyttö

Metsien ja kosteikkojen ratkaisujen päästövähennysten ja nieluvaikutusten hahmotelussa hyödynnettiin pääasiassa [Lehtosen ym. \(2021\)](#) arvioita.

Metsämaan nielun kehityksen ilman lisätoimia oletettiin seuraavan [Maanaviljan ym. \(2021\)](#) WEM-skenaariota. Maanavilja ym. ei kuitenkaan erittele metsämaan eriosia. Puutuotteiden nielun ja suometsien maaperäpäästöjen oletettiin ilman lisätoimia pysyvän nykytasolla. Kivennäismaiden maaperän, puuston ja puutuotteiden nielun summa asetettiin niin, että kokonaisuutena metsämaa noudattaa Maanaviljan ym. WEMiä. WEM ei kuitenkaan huomioi mahdollisten metsätuhojen lisääntymisen mahdollisuutta – esimerkinomaisesti esitettiin näiden mahdolliseksi nieluvaikutukseksi 5 Mt vuonna 2035 ja 10 Mt vuonna 2050. Suomea koskevia metsätuhouhkia on arvioinut esimerkiksi [Venäläinen \(2020\)](#).

Metsä- ja kalatalouden työkoneiden päästöt oletettiin nollattavan nykytasosta lineaarisesti vuoteen 2050 mennessä. Uusien turvetuotantoalueiden raivauksen lopettamisella oletettiin vältettävän vuosittain 500 hehtaaria uusien alueiden raivausta ja päästöjen kasvua $10,2 \text{ tCO}_2\text{e/ha}$.

Turvetuotantoalueiden jälkikäsitteilyllä, eli ennallistamalla ja metsittämällä, oletettiin vähennettävän päästöjä [Lehtosen ym. \(2021\)](#) mukaisesti. Lehtosen ym. arvioita pinta-aloista (ennallistaminen 800 ha/v ja metsitys 617 ha/v vuosina 2021–2035) ja siten

saavutettavista päästövähennyksistä kuitenkin skaalattiin ylöspäin kertoimella 2,8 siten, että vuoteen 2035 mennessä jälkikäsitellään kaikki käytössä olevat 60 000 hehtaaria turvetuotantoalaa. Metsityksellä saavutettu puuston nielu sisällytettiin metsityksen päästövähennykseen.

Huonosti tuottavien suometsien ennallistamisessa ja ennallistumaan jättämisessä oletettiin [Lehtosen ym. \(2021\)](#) arvion mukaisesti ennallistettavan 5000 ha vuodessa vuosina 2021–2035.

Suometsien jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa oletettiin maaperäpäästöjä [Lehtosen ym. \(2021\)](#) mukaisesti, mutta konservatiivisemmin. Saavutettuna päästövähennyksenä käytettiin maaperäpäästöjen osalta SY- ja JURO-skenaarioiden erotusta, joka puolitettiin.

Metsäkadon välttämisen aiheuttaman nielun kasvun ja vältettyjen päästöjen oletettiin noudattavan [Lehtosen ym. \(2021\)](#) arviota ILMAVA turve-skenaariossa, mutta tästä vähennettiin tuplalaskennan välttämiseksi rakennetulle ympäristölle allokoitu maankäytön muutoksen välttäminen rakennetun ympäristön raivausalan pienenemisen seurauksena ($0,3 \text{ Mt}$) sekä maataloudelle allokoitu turvepeltojen raivauksen lopettaminen ($0,9 \text{ Mt} \times 75 \% - \text{ILMAVA turve-skenaariossa turvepeltojen raivausta oletettiin vähennettävän vain } 75 \text{ prosenttia}$). Metsityksen nieluksi allokoitiin aiemmin arvioitu maataloudessa kivennäismaiden metsityksellä saavutettu puuston nielu ($0,4 \text{ Mt } 2035$ ja $0,8 \text{ Mt } 2050$) sekä turvetuotantoalueiden metsityksellä saavutettu puuston nielu ($0,07 \text{ Mt } 2035$ ja 2050).

Metsien kasvun edistämisen ja tuhojen torjunnan oletettiin välttävän mahdollisen esimerkinomaisesti esitetyn metsätuhon. Lisäksi nielun oletettiin kasvavan [Lehtosen ym. \(2021\)](#) arvion mukaisesti, mutta konservatiivisemmin, lisäämällä lahoppuuta (50%). Saavutettuna nielun kasvuna käytettiin Lehtosen arviota puolitettuna.

Pitkäikäisempien puutuotteiden oletettiin kasvattavan puutuotteiden hiilinielua

Lehtosen ym. (2021) arvion mukaisesti (1,5 Mt 2035 ja 1,2 Mt 2035).

Hiilen sidontaa lisäävien metsänkäsittelyn muutosten potentiaali on suuri ja riippuu maksettavasta korvauksesta. Lehtonen ym. (2021) tarkastelivat hakkuista pidättäytymistä tai kiertoajan pidentämistä eri skenaarioissa, ja esimerkiksi korkotason lasku 3 prosentista 2,5 prosenttiin kasvatti puuston ja kangasmetsien maaperän yhteenlaskettua hiilinielua 24 Mt vuonna 2035 ja 31 Mt vuonna 2050. Tässä oletettiin esimerkinomaisesti lisättävän nielua 1 Mt vuonna 2035 ja 5 Mt vuonna 2050.

Jätteiden käsittely

Bröckl ym. (2021) mukaisesti oletettiin yhdyskuntajätteen kasvavan nykyisestä 3 miljoonasta tonnista 4 miljoonaan tonniin vuoteen 2035 mennessä, ja jatkavan kasvuaan 5 miljoonaan tonniin 2050 mennessä.

Kaatopaikkojen päästöjen oletettiin kehittyvän Koljosen ym. (2020) WEM-skenaarion mukaisesti jo tehtyjen toimien, pääasiassa biohajoavan jätteen kaatopaikka-kiellon myötä.

Jätevesien puhdistuksen ja jätteiden biologisen käsittelyn päästöjen oletettiin jätemäärän kasvusta huolimatta vähenevän Koljosen ym. (2020) vähäpäästöskenaarioiden mukaisesti käsittelyn teknisen kehittämisen ansiosta.

Yhdyskuntajätteiden polton päästöjen oletettiin vähenevän 47 % vuoden 2018 tasosta vuoteen 2035 mennessä kierrätystarvoitteiden saavuttamisen myötä Bröckl ym. (2021) mukaisesti. Vuoteen 2050 mennessä oletettiin saavutettavan Energiatieteiden ja teknologian tutkimuskeskuksen (AFRY) vähähiilitiekartassa esitetty jätteenpolton päästötaso sähkön ja kaukolämmön tuotannossa (AFRY 2020).

SITRa

SITRAN SELVITYKSIÄ 193

Sitran selvityksiä -sarjassa julkaistaan Sitran tulevaisuustyön ja kokeilujen tuloksia.

ISBN 978-952-347-236-5 (PDF) www.sitra.fi

SITRA.FI

Itämerenkatu 11–13
PL 160

00181 Helsinki

Puh. 0294 618 991

 @SitraFund