



Kiertotalous vähähiilisyiden edistäjänä ja luonnon monimuotoisuuden turvaajana

Ympäristöministeriön julkaisuja
2021:6



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet

Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:6

Kiertotalous vähähiilisyyden edistäjänä ja luonnon monimuotoisuuden turvaajana

Enni Ruokamo, Hannu Savolainen, Jyri Seppälä, Susanna Sironen,
Milja Räisänen, Ari-Pekka Auvinen ja Riina Antikainen

Ympäristöministeriö Helsinki 2021

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Julkaisumyynti

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston
verkkokirjakauppa**

Statsrådets
nätbokhandel

vnjulkaisumyynti.fi

Ympäristöministeriö

© 2021 tekijät ja ympäristöministeriö

ISBN pdf: 978-952-361-205-1

ISSN pdf: 2490-1024

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2021

Kiertotalous vähähiilisyiden edistäjänä ja luonnon monimuotoisuuden turvaajana

Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:6		Teema	Ympäristönsuojelu
Julkaisija	Ympäristöministeriö		
Tekijät	Enni Ruokamo, Hannu Savolainen, Jyri Seppälä, Susanna Sironen, Milja Räisänen, Ari-Pekka Auvinen ja Riina Antikainen		
Yhteisötekijä	Suomen ympäristökeskus SYKE		
Kieli	Suomi	Sivumäärä	138

Tiivistelmä

Kiertotaloudella pyritään siirtymään kohti ilmastoneutraalia, luonnon kantokykyä edistävää, resurssitehokasta ja kilpailukykyistä taloutta. Kiertotalouden vaikutukset ympäristöön tunnetaan kuitenkin vielä suhteellisen huonosti. Selvityksen tavoitteena on tarjota tietoa kiertotalouden mahdollisuuksista vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja turvata luonnon monimuotoisuutta. Selvityksessä tarkastellaan erilaisten kiertotaloustoimenpiteiden vaikutuksia rakentamisen, metalli- ja metsäteollisuuden, ruoka- ja liikennejärjestelmän, muovien, elektroniikan ja tekstiilien osa-alueilla. Vaikutusten arvioinneissa hyödynnetään kirjallisuutta, asiantuntija-arvioita, työpajamateriaalia ja mallinnuksia. Arvioiden mukaan kiertotalouden avulla voidaan vähentää kotimaan kasvihuonekaasupäästöjä selvästi lähes kaikilla tarkasteltavilla osa-alueilla. Luonnon monimuotoisuutta voidaan turvata toimilla, jotka vähentävät raaka-aineiden ottoa ja keventävät painetta ottaa uusia alueita maankäytön piiriin. Toimilla, joilla parannetaan materiaalitehokkuutta, optimoidaan materiaalikäyttöä, lisätään tuotteiden uudelleenkäyttöä ja pidennetään käyttöikää, pystytään samanaikaisesti vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä ja turvaamaan luonnon monimuotoisuutta. Kiertotalouden ympäristövaikutusten arviointi on haasteellista, ja tarve lisätutkimukselle sekä aineistojen ja arviointimenetelmien kehittämiseksi on selkeä.

Asiasanat

biodiversiteetti, kasvihuonekaasupäästöt, päästövähennys, kiertotaloustoimenpide, materiaalitehokkuus, ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli, kiertotalous, luonnon monimuotoisuus, päästöt, ympäristövaikutusten arviointi, ympäristönsuojelu

ISBN PDF	978-952-361-205-1	ISSN PDF	2490-1024
Julkaisun osoite	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-205-1		

Cirkulär ekonomi för att främja låga koldioxidutsläpp och trygga naturens mångfald

Miljöministeriets publikationer 2021:6		Tema	Miljövård
Utgivare	Miljöministeriet		
Författare	Enni Ruokamo, Hannu Savolainen, Jyri Seppälä, Susanna Sironen, Milja Räisänen, Ari-Pekka Auvinen och Riina Antikainen		
Organisation	Finlands miljöcentral		
Språk	Finska	Sidantal	138
Referat	<p>Syftet med cirkulär ekonomi är att övergå till en klimatneutral, resurseffektiv och konkurrenskraftig ekonomi som främjar naturens bärkraft. Den cirkulära ekonomins konsekvenser för miljön är dock fortfarande relativt okända. Syftet med utredningen är att erbjuda information om den cirkulära ekonomins möjligheter när det gäller att minska växthusgasutsläppen och trygga naturens mångfald. I utredningen granskas vilka konsekvenser olika åtgärder för cirkulär ekonomi har inom delområdena byggande, metall- och skogsindustri, livsmedels- och trafiksystem, plast, elektronik och textilier. I konsekvensbedömningarna utnyttjas litteratur, expertbedömningar, material från workshoppar och modelleringar. Det beräknas att Finland med hjälp av cirkulär ekonomi kan minska växthusgasutsläppen avsevärt inom nästan alla granskade delområden. Naturens mångfald kan tryggas genom åtgärder som minskar uttaget av råvaror och minskar trycket på att låta nya områden omfattas av markanvändningen. Genom åtgärder som förbättrar materialeffektiviteten, optimerar materialanvändningen, ökar återanvändningen av produkter och förlänger produkternas livslängd kan man samtidigt minska växthusgasutsläppen och trygga naturens mångfald. Bedömning av miljökonsekvenserna av cirkulär ekonomi är utmanande, och det finns ett klart behov av ytterligare forskning och utveckling av materialen och bedömningsmetoderna.</p>		
Nyckelord	biodiversitet, växthusgasutsläpp, utsläppsminskning, åtgärd för cirkulär ekonomi, materialeffektivitet, miljöutvidgad input-outputmodell, cirkulär ekonomi, naturens mångfald, utsläpp, miljökonsekvensbedömning, miljövård		
ISBN PDF	978-952-361-205-1	ISSN PDF	2490-1024
URN-adress	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-205-1		

A circular economy promotes decarbonisation and protects biodiversity

Publications of the Ministry of the Environment 2021:6	Subject	Environmental protection
Publisher	Ministry of the Environment	
Authors	Enni Ruokamo, Hannu Savolainen, Jyri Seppälä, Susanna Sironen, Milja Räisänen, Ari-Pekka Auvinen and Riina Antikainen	
Group Author	Finnish Environment Institute SYKE	
Language	Pages	138

Abstract

The aim of a circular economy is a transition towards a climate-neutral, resource efficient and competitive economy that supports the carrying capacity of ecosystems. However, we do not yet know enough about the impacts of a circular economy on the environment. The purpose of the study was to collect information on how a circular economy can reduce greenhouse gas emissions and protect biodiversity. The study explores the impacts of different circular economy measures in the building, metal and forest industry, food and transport system, plastic, electronics and textile sectors. Literature sources, expert assessments, workshop materials and modelling were used to conduct the impact assessments. Based on the assessments, a circular economy will lead to a significant reduction in domestic greenhouse gas emissions in almost all the sectors covered. Actions that reduce the extraction of raw materials and ease the pressure to extend land use measures to new areas contribute to the protection of biodiversity. Actions that improve material efficiency, optimise the use of materials, increase the reuse of products and extend the useful life of products reduce greenhouse gas emissions while at the same time protecting biodiversity. Assessing the environmental impacts of a circular economy is a challenging task and there is a clear need for further study and development of both the data and assessment methods.

Keywords greenhouse gas emissions, emission reduction, circular economy measure, material efficiency, environmentally extended input-output model, circular economy, biodiversity, emissions, environmental impact assessment, environmental protection

ISBN PDF	978-952-361-205-1	ISSN PDF	2490-1024
URN address	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-205-1		

Riina Antikaisen muistolle

Sisältö

ESIPUHE	9
1 Johdanto	12
2 Kiertotalouden toimenpiteiden ja vaikutusten arvioinnin lähtökohdat	17
2.1 Tarkasteltavat osa-alueet ja lähestymistavat	17
2.2 Kiertotalousmääritelmän ja käytettyjen arviointimenetelmien vaikutukset lopputulokseen.....	18
2.3 Käsiteltävät kiertotaloustoimenpiteet ja niiden jaottelu	20
2.4 Kiertotalous, luonnonvarojen käyttö ja luonnon monimuotoisuus	27
3 Yleiskuva suomalaisen tuotantotoiminnan ja kulutuksen ympäristövaikutuksista	31
3.1 Tausta ja ENVIMAT-laskentamenetelmän kuvaus.....	31
3.2 Toimialojen kasvihuonekaasupäästöt.....	33
3.3 Toimialojen raaka-aineiden käyttö	37
3.4 Toimialojen maankäyttö- ja biodiversiteettivaikutukset	39
3.5 Kotitalouksien kulutuksen kasvihuonekaasupäästöt ja raaka-aineiden käyttö	43
4 Kiertotalouden osa-aluekohtaiset arvioinnit kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen mahdollisuuksista	46
4.1 Arviointimenetelmä	46
4.2 Metalliteollisuus.....	47
4.3 Rakentaminen ja kiinteistöjen käyttö	53
4.4 Metsäteollisuus	63
4.5 Ruokajärjestelmä	68
4.6 Liikennejärjestelmä	75
4.7 Muovit.....	83
4.8 Elektroniikka	88
4.9 Tekstiilit	91
4.10 Muut osa-alueet.....	95
5 Kiertotalouden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen	98
5.1 Arviointimenetelmä	98
5.2 Metalliteollisuus ja elektroniikka	100
5.3 Rakentaminen ja kiinteistöjen käyttö	102

5.4	Metsäteollisuus.....	105
5.5	Ruokajärjestelmä	108
5.6	Liikennejärjestelmä	113
5.7	Muovit	116
5.8	Tekstiilit.....	118
6	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	119
	LÄHTEET	122
Liite 1	ENVIMAT-mallin toimialaluokitus.....	131
Liite 2	Toimialojen tuotos ja bruttoarvonlisäys.....	135
Liite 3	MSA-kertoimet.....	136
Liite 4	Työpajat ja keskustelutilaisuudet	137

ESIPUHE

Olemme saaneet lukea vuosi vuodelta hälyttävämpiä tutkimustuloksia hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n ja biodiversiteettipaneeli IPBES:n raporteista, Maailman luonnonvararaportista sekä Euroopan ympäristökeskuksen raporteista. YK:n viidennen biodiversiteettiraportin mukaan ihmiskunta on tienristeyksessä. Luonnon suojeleminen ei riitä, vaan tarvitaan mittavia taloudellisia, sosiaalisia, poliittisia ja teknisiä muutoksia, jotta maapallon luonto saadaan käännettyä oikealle kurssille. Aikamme suurimmat haasteet ovat ilmastonmuutoksen eteneminen, luonnon monimuotoisuuden kato sekä maapallon kantokyvyn ylittäminen monin tavoin. Näitä viheliäisiä ongelmia ei voida ratkaista yksi kerrallaan osatavoittein, vaan ne edellyttävät kokonaisvaltaisia ja sektorit ylittäviä muutoksia tuotanto- ja kulutustavoissa ja toimintamalleissamme. Tavoitteeksi on asetettava luonnonvarojen käytön sovittaminen maapallon kantokyvyn rajoihin.

Kiertotalous tarjoaa ratkaisuja, joilla voidaan merkittävästi vähentää painetta neitseellisten luonnonvarojen käyttöön ja hillitä kulutuksen ja tuotannon ympäristövaikutuksia. Kiertotaloudessa primääriraaka-aineiden tarve vähenee monin eri tavoin, kuten resurssitehokkuuden parantamisen, kierrätysmateriaalien ja sivuvirtojen hyödyntämisen kautta sekä tuotteiden pitkäikäisyyden ja korjattavuuden, uusien liiketoimintamallien, kulutuksen muutosten ja jakamistalouden ansiosta.

Kansallisella tasolla kiertotaloudella onkin vahva rooli pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelmassa. Yksi hallitusohjelman strategisista painopisteistä on hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi, jossa kiertotalous muodostaa talouden uuden perustan. Muutosta vauhdittamaan Suomelle on vuoden 2021 alussa laadittu strateginen Kiertotalouden edistämishjelma vuoteen 2035. Ohjelmassa asetetaan tavoitteet ja mittarit, määritellään tarvittavat toimet ja varataan resurssit kiertotalouden edistämiseksi ja systeemisen muutoksen aikaansaamiseksi.

Myös Euroopan vihreän kehityksen ohjelmassa on tartuttu kunnianhimoisesti ilmasto- ja kestävyyskriisin haasteisiin. Tavoitteena on Eurooppa, jossa resurssitehokas ja kilpailukykyinen talous toimii ilmastoneutraalisti vuoteen 2050 mennessä ja jossa huomioidaan luonnonvarojen kestävyys ja varmistetaan sosiaalinen oikeudenmukaisuus. EU:n biodiversiteettistrategian mukaan on lisäksi varmistettava, että samanaikaisesti kaikki maailman ekosysteemit ovat ennallistettuja, selviytymiskykyisiä ja asianmukaisesti suojeltuja. Maailman olisi sitouduttava periaatteeseen, jossa luontoympäristöjä ei heikennetä enemmän

kuin niitä ennallistetaan. Kiertotalous on nostettu vihreän siirtymän sekä ilmasto- ja luonnon monimuotoisuuskriisien yhdeksi keskeisistä ratkaisukeinoista. Maaliskuussa 2020 julkaistu EU:n uusi kierrätystalouden toimintaohjelma sisältää 35 laajaa lainsäädäntö- ja muuta aloitetta. Tärkeäksi muutosvoimaksi komissio nostaa kestäväen tuotepolitiikan ja -suunnittelun, joiden lisäksi toimia suunnataan laajasti yhteiskunnan eri tasoille ja toimijoille. Myös EU:n uudessa teollisuusstrategiassa kierrätystaloudella on tärkeä rooli teollisuuden uudistamisessa kohti ilmastoneutraalia, kilpailukykyistä ja kestävää toimintamallia.

Meillä on siis vahva sitoutuminen sekä EU-tasolla että kansallisesti siihen, että kierrätystalous valjastetaan ilmasto- ja luonnon monimuotoisuuskriisien ratkaisijaksi. Tässä selvityksessä nivotaan nämä kolme tärkeää teemaa yhteen ja tarkastellaan kierrätystaloustoimien mahdollisuuksia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja turvata luonnon monimuotoisuutta. Kierrätystalouden toimenpiteiden ja ratkaisujen vaikutusketjut ovat moniulotteisia ja niistä on vielä vähän tutkittua tietoa valmistelun ja päätöksenteon pohjaksi. Tämän selvityksen tavoitteena on vahvistaa ymmärrystämme siitä, millä toimialoilla ja minkälaisin kierrätystalouden ratkaisujen avulla voimme merkittävästi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja turvata luonnon monimuotoisuutta. Tarkasteluun on valittu Suomen talouden keskeisiä osa-alueita ja materiaalivirtoja, kuten metalliteollisuus, rakentaminen ja kiinteistöjen käyttö, metsäteollisuus, ruokajärjestelmä, liikennejärjestelmä sekä muovit, elektroniikka ja tekstiilit.

Selvityksen tulokset ovat lupaavia ja auttavat tunnistamaan vaikuttavia kierrätystalouden ratkaisuja eri toimialoilla ja materiaaliketjuissa. Yleisellä tasolla myönteisiä vaikutuksia tarjoavat materiaalihokkuuden parantaminen, materiaalikäytön optimointi, uudelleenikäytön lisääminen ja käyttöiän pidentäminen sekä korvaavien materiaalien käyttöönotto ja kaskadikäyttö. Näillä toimenpiteillä pystytään vähentämään tuotantotoiminnan ja raaka-ainesten oton kautta syntyviä ympäristövaikutuksia yli toimialojen ja tuotantoketjujen. Luonnon monimuotoisuuden kannalta osa-alueista merkittävimmit osoittautuvat metsäteollisuus, rakentaminen ja ruokajärjestelmä. Vaikutukset tapahtuvat maankäytön kautta, joka on avainasemassa, kun monimuotoisuuden köyhtymistä halutaan ehkäistä.

Selvityksen tulokset palvelevat hallitusohjelman toimeenpanoa ja useita käynnissä olevia ja tulevia valmistelutöitä ja päätöksentekoa. Tietoa voidaan hyödyntää etenkin KAISUn eli Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman, kansallisen kierrätystalouden edistämishjelman, kansallisen luonnon monimuotoisuusstrategian ja toimintaohjelman sekä biotalousstrategian valmistelussa ja toimeenpanossa. Tulokset palvelevat myös EU:n uuden kierrätystalouden toimintasuunnitelman, teollisuusstrategian, biodiversiteettistrategian ja biotalousstrategian kansallista toimeenpanoa.

Ympäristöministeriö tilasi tutkimuksen Suomen ympäristökeskukselta¹. Jyri Seppälä johti hanketta ja tutkijoina toimivat Enni Ruokamo, Hannu Savolainen, Susanna Sironen, Milja Räisänen, Ari-Pekka Auvinen ja Riina Antikainen. Lisäksi työssä auttoivat SYKEstä Petri Ahlroth, Jukka-Pekka Jäppinen, Tytti Kontula, Mikko Kuussaari ja Kati Vierikko. Kiitos heille asiantuntevasta ja uraauurtavasta työstä.

Hanketta ohjasi laaja ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana toimi Sarianne Tikkanen ympäristöministeriöstä. Jäseninä olivat Heta Heiskanen, Kristiina Niikkonen, Olli-Pekka Pietiläinen, Heikki Sorasahi, Sirje Stén ja Marina von Weissenberg ympäristöministeriöstä sekä Jyrki Alkio ja Sari Tasa työ- ja elinkeinoministeriöstä ja Birgitta Vainio-Mattila ja Kaisu Pirkola maa- ja metsätalousministeriöstä sekä Sari Kauppi ja Minna Pekkonen SYKEstä. Lisäksi työtä ovat matkan varrella kommentoineet myös laajemmin näiden kolmen ministeriön asiantuntijat. Hankkeen osana on pidetty yksi kokonaisuutta käsittelevä työpaja sekä kuusi teematyöpajaa eri toimialojen ja materiaalivirtojen kiertotaloustoimista ja vaikutusten arvioinneista. Työpajoihin osallistui tutkijoita, viranhaltijoita ja muita asiantuntijoita. Ohjausryhmän kokoukset ja työpajat toimivat erinomaisina keskustelufoorumeina ja auttoivat määritelmien sekä kiertotaloustoimien ja vaikutusketjujen tunnistamisessa.

Raportti on ensimmäinen laaja tarkastelu keskeisten kiertotaloustoimien vaikutuksista niin kasvihuonekaasupäästöihin kuin myös luonnon monimuotoisuuteen. Sen viesti on toiveikas. Meillä on jo monia ratkaisuja, joilla voimme siirtyä eri toimialoilla kohti vähähiilisiä ja luonnon monimuotoisuuden turvaavia toimintamalleja. Toivomme, että selvitys auttaa tunnistamaan vihreän siirtymän mahdollisuuksia ja osoittaa konkreettisia askeleita kohti kestävää tulevaisuutta. Lämmin kiitos raportin tekijöille ja kaikille, jotka ovat osallistuneet julkaisun valmistumiseen.

Tarja Haaranen
Luontoympäristöosaston ylijohtaja

Leena Ylä-Mononen
Ympäristönsuojeluosaston ylijohtaja

¹ Hankkeen päärahoittaja oli ympäristöministeriö. Muusta rahoituksesta vastasivat Suomen ympäristökeskus ja Suomen Akatemian rahoittama "Kiertotalouteen siirtymisen skenaarioanalyysi" (TRANSCIRC) -tutkimushanke (310405).

1 Johdanto

Vallitseva talouden lineaarinen toimintatapa, jossa luonnonvaroja otetaan käyttöön, jalostetaan erilaisiksi hyödykkeiksi ja lopulta hävitetään, ei pysty vastaamaan kestävä kehityksen haasteeseen (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Tuotanto- ja kulutustapoja pitää muuttaa siten, että luonnonvarojen käytön haitalliset ympäristövaikutukset voidaan minimoida maapallon kantokyvyn mukaiseksi ja samalla saavuttaa kestävällä tavalla taloudelliset ja sosiaaliset tavoitteet. Kiertotalous on tunnustettu tärkeäksi tarvittavan muutoksen mahdollistajaksi. Kiertotaloudella ei ole yhtä täsmällistä määritelmää, mutta yleisesti sen tavoitteena on pitää resurssit mahdollisimman pitkään talouden käytössä niiden arvoa säilyttäen ja lisäten kierrosta toiseen ja samalla jätteen määrää minimoiden. Taustalla on luonnonvarojen kestävä käytön tavoite maapallon kantokyvyn puitteissa, mikä edellyttää etenkin uusiutumattomien luonnonvarojen käytön vähentämistä osana kestävyyskriisin ratkaisua. Kiertotalouteen liittyy siten ajatus talouskasvun irtikytkemisestä neitseellisten luonnonvarojen käytöstä. Kiertotalous sisältää myös ratkaisukeskeisen liiketoiminta-ajatuksen, jossa tuotteita myydään osana palvelua, ja lisäksi vuokraus, leasing ja jakamismallit ovat keskeisessä asemassa.

Nykytuotoinen globaali talouskasvu pohjaa pitkälti neitseellisten raaka-aineiden hyödyntämiseen ja jalostamiseen erilaisiksi tuotteiksi. Neitseellisten raaka-aineiden ottoon liittyy kuitenkin paljon ympäristövaikutuksia (Allwood ym., 2011), kuten vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin. Lisäksi tuotteen elinkaaren aikana, raaka-aineen hankinnasta tuotteen päättymiseen jätteeksi, syntyy suuria määriä kasvihuonekaasupäästöjä (KHK-päästöjä).

Kiinnostus kiertotalouden mahdollisuuksiin hillitä ilmastonmuutosta on kasvanut viime aikoina (ks. esim. Material Economics, 2018), kun tutkimustulokset ovat kertoneet karulla tavalla ilmastonmuutoksen etenemisestä ja KHK-päästöjen mittavasta vähentämistarpeesta (IPCC, 2018). Euroopan komissio esitteli jo vuonna 2015 ensimmäisen kiertotalouspaketin, johon kuului kiertotalouden toimintasuunnitelma sekä ehdotukset jätealan direktiivien muuttamisesta jätteiden määrän vähentämiseksi ja kierrätyksen parantamiseksi². Kiertotalouspaketti käynnisti EU-laajuisen muutosprosessin kohti kiertotaloutta, kestävä kasvua

² Kiertotalouspaketti sai päivityksen huhtikuussa 2018, joka asettaa mm. tavoitteet kierrätykselle ja kaatopaikalle päätyvän jätteen määrälle EU:ssa.

sekä uudenlaista kilpailukykyä ja työllisyyttä (Euroopan komissio, 2015). Keväällä 2020 julkaistussa EU:n uudessa kiertotalouden toimintasuunnitelmassa painopiste on kestävässä tuotepolitiikassa³. Keskeisiksi toimialoiksi on valittu paljon resursseja käyttävät toimialat: elektroniikka ja tieto- ja viestintäteknikka, akut ja ajoneuvot, pakkaukset, muovit, tekstiilit ja huonekalut, rakentaminen ja rakennukset sekä elintarvikkeet, vesi ja ravinteet. Tuoreessa Euroopan vihreän kehityksen ohjelmassa tavoitteena puolestaan on resurssitehokas ja kilpailukykyinen talous, joka toimii ilmastoneutraalisti vuoteen 2050 mennessä ja jossa huomioidaan luonnonvarojen kestävyys ja sosiaalinen oikeudenmukaisuus (Euroopan komissio, 2020b).

Suomi julkaisi kansallisen kiertotalouden tiekartan ensimmäisenä maailmassa vuonna 2016 ja se päivitettiin vuonna 2019 (Sitra, 2016; Sitra 2019). Tiekartan tavoitteena on tehdä Suomesta kiertotalouden globaali edelläkävijä vuoteen 2025 mennessä. Lisäksi Suomessa on vuoden 2021 alussa julkaistu Kiertotalouden edistämishjelma vuoteen 2035⁴. Tavoitteena ohjelmassa on muutos, jolla kiertotaloudesta luodaan talouden uusi perusta. Ohjelmassa asetetaan tavoitteet ja mittarit, määritellään tarvittavat toimet ja varataan resurssit kiertotalouden edistämiseksi ja systeemisen muutoksen aikaansaamiseksi.

EU:n kiristyvät päästövähennystavoitteet ja Suomen halu saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä edellyttävät kiertotaloustoimien voimakkaampaa käyttöä osana ilmastotoimien laajaa palettia. Lisäksi maankäyttösektorin (LULUCF)⁵ mukaantulo EU:n ilmastopolitiikkaan uudella tavalla merkitsee sitä, että uusiutuvien energiatuotanto- ja energiatehokkuustoimenpiteiden rinnalle tarvitaan kokonaan uusia keinoja, joilla pienennetään energiaperäisiä ja LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöjä. Kiertotalous tarjoaa uusia keinoja vähentää energian käyttöä ja prosessipäästöjä materiaalitehokkuuden parantamisen kautta.

Vastaavalla tavalla luonnon monimuotoisuuden eli biodiversiteetin kiihtyvä kato on herättänyt kiinnostuksen kiertotalouden mahdollisuuksiin hillitä myös tätä kielteistä kehitystä. Tuoreen kansainvälisen luontopaneelin arviointiraportin (IPBES, 2019) mukaan biodiversiteetin ja sen tuottamien ekosysteemipalveluiden heikentyminen on tällä hetkellä ennennäkemättömän nopeaa. Raportissa esitetään, että luonnon köyhtyminen voidaan pysäyttää ainoastaan tekemällä ympäristön tilaa tukevia järjestelmätason muutoksia. Tilanne

3 ”Puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta” (COM(2020) 98 final). Avainasemaan on nostettu tuotesuunnittelu, koska sillä voidaan vaikuttaa jopa 80 prosenttiin tuotteen koko elinkaaren aikaisista ympäristövaiikutuksista. Kestävän tuotepolitiikan toimia suunnataan tuotteiden koko arvoketjuun materiaaleista, tuotannosta ja palvelukonsepteista kulutukseen ja turvalliseen kierrätykseen (Euroopan komissio, 2020a).

4 <https://www.ym.fi/kiertotalousohjelma>

5 LULUCF kattaa maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsätalouden. Laskentaan sisältyvät metsistä, viljelysmaasta, ruohikkoalueista sekä metsityksestä ja metsien siirtymisestä muuhun maankäyttöön (metsäkato) aiheutuvat päästöt ja nielut (Maa- ja metsätalousministeriö, 2020).

Suomessa on samankaltainen kuin globaalisti – lajiston uhanalaistumiskehitystä (Hyvärinen ym., 2019) tai luontotyyppien häviämisuuhkaa ei ole onnistuttu pysäyttämään (Kontula ja Raunio, 2018). Keskeisimpiä uhanalaistumisen syitä ovat metsätalous, maatalous, rakentaminen sekä saastuminen ja ilmastonmuutos (Auvinen ym., 2020).

Yllä esitetyistä tavoitteista ja suunnitelmista huolimatta kiertotaloustoimenpiteiden taloudelliset, sosiaaliset ja etenkin ympäristöön liittyvät vaikutukset tunnetaan edelleen suhteellisen huonosti. Esimerkiksi vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin ovat pitkälti selvittämättä (Ruokamo ja Antikainen, 2020). Aikaisemmasta kirjallisuudesta löytyy vain rajattu määrä tieteellisiä artikkeleita ja asiantuntijaraportteja, joissa kiertotalouden päästövähennyspotentiaalia on selvitetty laajemmin (ks. esim. Ellen MacArthur Foundation, 2019a; Geerken ym., 2019; Material Economics, 2018; Material Economics, 2019; Trinomics, 2018). Kiertotalouden päästövähennyspotentiaalia on kartoitettu tiettyjen osa-alueiden kuten rakentamisen, teollisuuden, liikkumisen ja ruokajärjestelmän sekä materiaalien (sementti, teräs, alumiini, muovit) suhteen EU-tasolla (Material Economics, 2018; Material Economics, 2019) ja maailmanlaajuisesti (Ellen MacArthur Foundation, 2019a). Kansallisia tutkimuksia kiertotalouden päästövaikutuksista on tehty ainakin Suomessa, Saksassa ja Belgiassa. Seppälä ym. (2016) arvioivat valikoitujen kiertotaloustoimenpiteiden talous-, työllisyys- ja KHK-päästövaikutuksia Suomessa. Geerken ym. (2019) puolestaan arvioivat samaisia vaikutuksia rajatulle joukolle kiertotaloustoimenpiteitä Belgiassa. RESCUE (2019) taas selvitti tiettyjen materiaalitehokkuus- ja kysyntälähtöisten kiertotaloustoimien vaikutuksia KHK-päästöihin ja raaka-ainekäyttöön Saksassa.

Kaiken kaikkiaan kiertotalouden toimenpiteiden ympäristövaikutusten arviointi on vielä merkittävästi kesken. Arviointia hankaloittavat erityisesti kiertotalouden monimutkaiset syy-seuraussuhteet sekä puutteet kiertotalouden seurannassa ja saatavilla olevissa tiedoissa ja tilastoissa. Lisäksi yrityksessä, teollisuudessa tai kulutuksessa tehtävän yksittäisen kiertotaloustoimen vaikutusta ympäristöön ja luontoon on vaikea arvioida siihen liittyvän usein varsin pitkän ketjun vuoksi. Arviointia vaikeuttaa myös kiertotalouden määrittelyn ja rajausten vakiintumattomuus, mikä hankaloittaa eri tutkimusten, arviointien ja tietolähteiden vertailtavuutta.

Kiertotalous vähähiilisyiden edistäjänä ja luonnon monimuotoisuuden turvaajana (KI-VÄBO) -hankkeen tavoitteena on arvioida, miten ja minkälaisilla kiertotalouden ratkaisuilla Suomessa voitaisiin vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja turvata luonnon monimuotoisuutta talouden eri osa-alueille ja toiminnoissa. Tavoitteena on erityisesti:

- selvittää, millä talouden toimialoilla on suurin potentiaali vähentää kiertotaloustoimenpiteiden avulla kasvihuonekaasupäästöjä ja turvata luonnon monimuotoisuutta;

- määritellä talouden eri osa-alueiden keskeiset kiertotaloustoimenpiteet ja arvioida niiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen vaikuttavuuspotentiaali;
- tunnistaa ja arvioida keskeisten kiertotaloustoimenpiteiden vaikutus luonnon monimuotoisuuteen;
- arvioida kiertotaloustoimenpiteiden kasvihuonekaasupäästö- ja biodiversiteettivaikutuksia myös maamme ulkopuolella;
- kirjata arviointiperusteiden epävarmuusnäkökohdat ja keskeisimmät arvioinniteja vaikeuttavat tietopuutteet.

Jotta kiertotalouteen liittyvissä panostuksissa onnistuttaisiin ja toimenpiteet suunnattaisiin vaikuttavimpiin osa-alueisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen ja luonnon monimuotoisuuden turvaamisen näkökulmasta, tarvitaan näkemys eri kiertotaloustoimenpiteiden vaikutusketjuista. Luonnonvarojen käyttö (otto, kuljetukset, prosessointi jne.) aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä. Tästä syystä työssä tuodaan esiin tiedot talouden eri toimialojen luonnonvarojen käytöstä, johon kiertotaloustoimilla pyritään ensisijaisesti vaikuttamaan. Luonnonvarojen käyttö vaikuttaa myös maankäyttöön, jolla tiedetään olevan suuri vaikutus luonnon monimuotoisuuteen. Tästä syystä työssä esitellään taustoittavana tietona talouden eri toimialojen maankäyttö. Lisäksi työssä tarkastellaan, miten luonnon monimuotoisuuden turvaaminen, KHK-päästöjen vähentäminen ja kiertotalouden edistäminen nivoutuvat toisiinsa. Tämä auttaa tunnistamaan toimia, joilla edistetään yhtäaikaaisesti kaikkia kolmea tavoitetta: kiertotaloutta, vähähiilisyttä sekä luonnon monimuotoisuutta.

Hankkeen tulokset palvelevat sekä kansainvälisiä että kansallisia ilmasto- ja ympäristöpolitiikan toimia ja tietotarpeita monipuolisesti. Tulokset tukevat kansallisesti etenkin KAISUn eli Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman päivitystä ja kiertotalouden edistämishjelmaa. Lisäksi tulokset edistävät kansallista tavoitetta pysäyttää luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen Suomessa (Hallitusohjelma, 2019).

Raportin rakenne on seuraava. Luvussa 2 esitellään selvityksen lähtökohdat, kuten käsiteltävät osa-alueet ja kiertotaloustoimenpiteet. Luku 3 sisältää taustoittavaa tietoa toimialakohtaisista kasvihuonekaasupäästöistä, raaka-ainekäytöstä sekä maankäyttö- ja biodiversiteettivaikutuksista. Luvut 4 ja 5 ovat raportin keskeiset tulososiot. Osa-aluekohtaiset arvioinnit kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista esitellään luvussa 4 ja biodiversiteettivaikutuksiin perehdytään luvussa 5. Luku 6 koostuu kokoavista johtopäätöksistä.

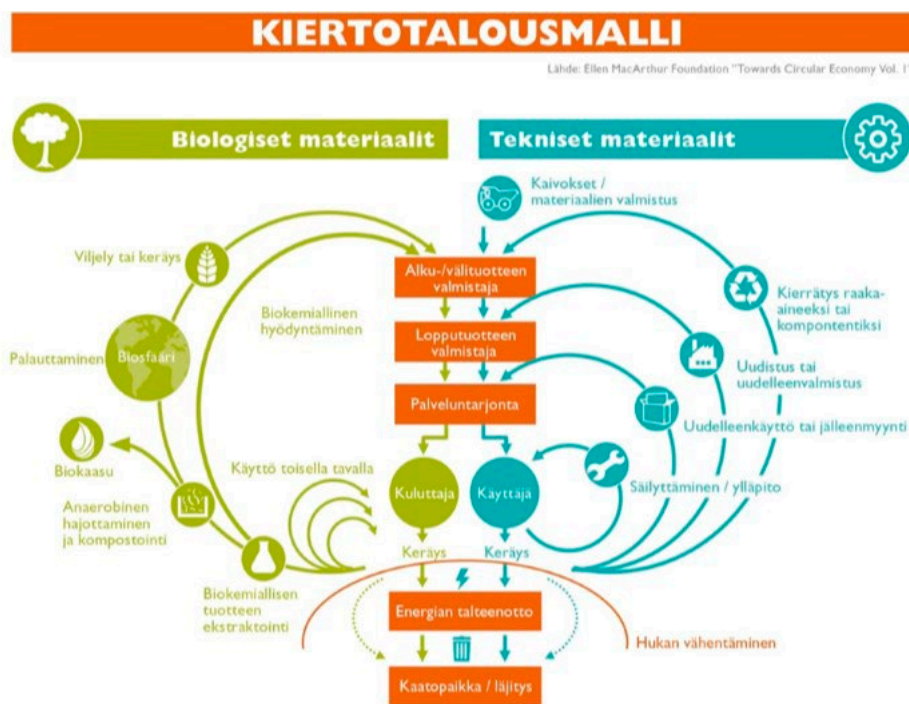


2 Kiertotalouden toimenpiteiden ja vaikutusten arvioinnin lähtökohdat

2.1 Tarkasteltavat osa-alueet ja lähestymistavat

Kiertotaloutta kuvataan usein Ellen MacArthur -säätiön esittelemällä perhoskuviolla, jossa on eroteltu biologiset ja tekniset materiaalikierrat toisistaan (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Kuva 1. Hankkeen kiertotalousmalli (muokattu Ellen MacArthur säätiön (2013) luomasta perhosmallista).



Tässä hankkeessa huomioidaan sekä biologisten että teknisten materiaalien kiertoja hyvin monipuolisesti, mutta tietyt rajaukset ovat silti tarpeen. Hankkeessa on esimerkiksi jätetty energiasektori analyysien ulkopuolelle, koska energiasektorin päästövähennyspolut ja energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutukset päästöihin ovat laajasti tutkittuja osa-alueita (Fleiter ym., 2019; Seppälä ym., 2019c).

Hankkeessa keskitytään seuraaviin keskeisiin Suomen talouden osa-alueisiin ja materiaalivirtoihin:

- metalliteollisuus;
- rakentaminen ja kiinteistöjen käyttö;
- metsäteollisuus;
- ruokajärjestelmä;
- liikennejärjestelmä;
- muovit, elektroniikka ja tekstiilit.

Eri osa-alueiden kiertotalouden vaikuttavuuspotentiaalia kasvihuonekaasupäästöihin ja biodiversiteettiin arvioidaan mahdollisuuksien mukaan. Selvityksen pohjana ovat olemassa olevat kansalliset ja kansainväliset tutkimukset ja niiden pohjalta tehdyt arviot. Kirjallisuusselvityksen lisäksi hyödynnetään Suomen kansantalouden ympäristölaajennetta ENVIMAT-panos-tuotosmallia (Savolainen ym., 2019a; Seppälä ym., 2011), jolla mallinnetaan toimialakohtaisia tietoja KHK-päästöihin, raaka-ainekäyttöön, maankäyttöön ja biodiversiteettiin liittyen (luku 3). Kirjallisuusselvitystä ja ENVIMAT-analyysiä täydennetään asiantuntijahaastatteluilla ja sidosryhmätyöpajoilla. Arviointimenetelmät avataan tarkemmin lukujen 4 ja 5 yhteydessä.

2.2 Kiertotalousmääritelmän ja käytettyjen arviointimenetelmien vaikutukset lopputulokseen

Kiertotalouden merkityksestä KHK-päästöjen vähentämisessä löytyy kirjallisuudesta hyvin erilaisia arvioita riippuen siitä, kuinka kiertotalous määritellään. Lopputulokseen vaikuttaa etenkin, kuinka energian tuotanto ja käyttö sekä maankäyttö on sisällytetty kiertotalousmääritelmään. Toinen tärkeä lopputulokseen vaikuttava kokonaisuus liittyy itse arviointimenetelmiin, joilla kiertotalouteen liittyvien toimenpidekokonaisuuksien vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin arvioidaan (Trinomics, 2018).

Laaja määrittely kiertotaloudelle löytyy muun muassa Rooman klubin raportista (Wijkman ja Skånberg, 2015), jossa kiertotalouteen on sisällytetty yleinen energiatehostuminen (25 % parannus yksittäisen valtion tasolla), uusiutuvan energian lisääminen (fossiilisten polttoaineiden puolittaminen ja tämän energian korvaaminen uusiutuville energialähteillä) ja tuotantotoiminnan materiaalitehostuminen (25 % materiaalitehostuminen, 50 % kaikesta neitseellisestä materiaalista korvataan kierrätysmateriaalilla ja kuluttajatuotteiden kestoian kaksinkertaistuminen). Energiatehokkuutta lisäämällä saavutettaisiin -32 % päästövähennykset, uusiutuviin energialähteisiin siirtyminen tuottaisi puolestaan -50 %

päästövähennykset ja materiaalitehokkuuden parantaminen vaikuttaisi päästöihin vain -4 % verran Suomessa.

Rooman klubin väljää rajausta tyypillisempi lähestymistapa on, ettei kiertotalouteen sisällytetä toimenpiteitä, joilla vähennetään suoraan energiankäyttöä esimerkiksi rakennusten energiaremonttien, uudisrakentamisen, yhdyskuntien kaavoituksen ja liikennejärjestelmien suunnittelun seurauksena. Uusiutuvan energian lisääminen energiatuotannossa, jota muut tahot käyttävät toimintaansa, on myös rajattu selkeästi pois (esim. Ellen MacArthur Foundation, 2019a). Suomessa tätä ostoenergiaa edustaa energiahuollon toimiala, joka vuonna 2017 aiheutti noin 31 % maamme päästöistä (Statistics Finland, 2019). Lisäksi suurin osa muista ns. polttoperäisistä energian käyttöön liittyvistä päästöistä rajautuu (yhteismäärä Suomen päästöistä 41 % vuonna 2017) kiertotalouden välittömästä vaikutuspiiristä ulos. Esimerkiksi liikenteen sähköistyminen ei kuulu suoraan kiertotalouteen, mutta siihen liittyvä käyttövoima-akkujen kestävä ja kiertotalouden mukainen arvoketju sisältää kiertotaloustoimia. Samoin biokaasun edistäminen liikenteen polttoaineeksi voidaan katsoa kuuluvaksi ravinne- ja hiilikertojen kautta kiertotalouteen (ks. jäljempänä maankäyttö). Kiertotalouteen ei kuulu välitön fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuville energialähteillä teollisuuden, rakentamisen, asumisen, maatalouden, kaupan ja palveluiden erillislämmityksessä ja -sähköntuotannossa, ellei se liity biologisten materiaalien ”kestävään” kiertoon tai teollisuusprosesseihin. Ellen MacArthur -säätiö (2019a) näkee, että teollisuuden tuotteiden ja palveluiden oma energia- ja prosessipäästöjen hallinta kuuluvat suoraan kiertotalouden piiriin. Lisäksi hukkalämmön hyödyntäminen katsotaan kuuluvaksi kiertotalouteen.

Kapea kiertotalouden energia-asioiden tulkinta ei kuitenkaan poista sitä tosiasiaa, että kiertotalous vaikuttaa välillisesti kuluttaja- ja tuotantolähtöisten kiertotalousratkaisujen kautta eri toimialojen ”ulkoisen” ja ”sisäisen” energian käyttöön tehostuvan materiaalitalouden seurauksena. Tämän takia kiertotalousratkaisujen merkitys energiapäästöissä on todennäköisesti suurempi kuin energian tuotannon ja käytön rajaus antaa ensituntumalla ymmärtää.

Edellä esitetty rajaus kiertotaloudesta on ollut myös Euroopan ympäristöviraston teettämässä selvityksessä (Trinomics, 2018), jossa hahmoteltiin kirjallisuustietojen perusteella kiertotalouden päästövähennyspotentiaalia. Selvityksessä havaittiin, että eri tutkimuksissa käytettyjen menetelmien välillä on paljon vaihtelua, ja että eri tutkimukset eivät tästä syystä ole keskenään johtopäätösten näkökulmasta välttämättä vertailukelpoisia. Selvityksen yhtenä johtopäätöksenä oli, että vaikutusarviointiin tarvitaan yhtenäisempää ns. hybridilähestymistapaa, jossa ns. bottom-up -tyyliset lähestymistavat kuten elinkaariarvioinnit (LCA) ja top-down -tyyliset kansantaloutta kuvaavat mallit kuten ympäristölaajennetut panos-tuotos (EEIO) -mallit (kuten ENVIMAT-malli) yhdistetään. Kummassakin lähestymistavassa on omat heikkoutensa ja vahvuutensa. Dynaamisessa EEIO-mallinuksessa

voidaan ottaa toimenpiteiden välilliset vaikutukset parhaimmillaan koko kansantalouden (ml. tuonti ja vienti) tasolla huomioon, mikä tuo esiin myös kiertotalouden negatiiviset päästövaikutukset muuttuneen tilanteen perusteella (ns. rebound-vaikutus). Elinkaariarvioinnit puolestaan antavat eri tavalla tuoteketjun ympäristövaikutuksista ymmärrettävän kokonaisuuden ja toisaalta saatuja tuloksia käytetään ylätasoon mallien lähtötietoina.

Kiertotalousratkaisujen vaikutukset eivät rajoitu siihen maahan, jossa toimenpiteet toteutetaan. Tämän takia kiertotaloustoimenpiteiden vaikutusarviointimenetelmien tulee pystyä kuvaamaan syy-seuraussuhteita ulkomailla. Tämä näkökulma jää kuitenkin väkisin melko yleiselle tasolle saatavissa olevien tietojen epätarkkuuden vuoksi.

Energian lisäksi maankäytön rooli kiertotaloudessa vaihtelee eri selvityksissä, mikä johtaa hyvin erilaisiin lopputuloksiin. Ellen MacArthur -säätiön uudessa kiertotaloutta ja kasvi-huonekaasupäästöjen yhteyttä käsittelevässä raportissa (Ellen MacArthur Foundation, 2019a) nostetaan yhdeksi kiertotalouden kolmesta ylätasoon periaatteesta ns. ”uudista (engl. regenerate) luontosysteemit” -periaate. Kaksi muuta ovat ”suunnittele jätteet ja saasteet pois”- ja ”pidä tuotteet ja materiaalit käytössä” -periaatteet. Uudistettavat luontosysteemit -periaatteella viitataan siihen, kuinka ihminen hyödyntää uusiutuvia resursseja, etenkin hiilenkierron näkökulmasta. Maatalous näyttää kiertotalouden maankäytön kytkentänsä takia keskeistä roolia maailmanlaajuisesti. Vaikka maankäytön kytkentä kiertotalouteen on hyvin tiedostettu, vaikutusten arvioinnin haasteena on siihen liittyvän tiedon puute. Elinkaari tietopankit ja panos-tuotosmallien tietovarastot eivät yleensä sisällä ns. maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsätalouden (LULUCF) päästö- ja nielutietoa, minkä takia maankäytön muutokset eivät ole yleensä mukana kiertotaloustarkasteluissa.

2.3 Käsiteltävät kiertotaloustoimenpiteet ja niiden jaottelu

Kiertotaloustoimenpiteiden kirjo yli toimialojen ja järjestelmien on hyvin laaja. Tästä syystä onkin tärkeää keskustella mahdollisista rajauksista ja ylätasoon jaottelusta. Esimerkiksi Material Economicsin (2018) raportissa kiertotaloustoimenpiteet on ylätasolla lajiteltu: i) kysyntäperusteisiin, ii) materiaalitehokkuuteen ja iii) materiaalien kierrätykseen liittyviin toimenpiteisiin. Jaottelu voi kuitenkin tapahtua myös sen perusteella, mihin tuotteen tai materiaalin elinkaaren vaiheeseen kiertotaloustoimenpide liittyy (Ramboll, 2020). Taulukossa 1 on esitelty näihin lähestymistapoihin perustuva kiertotaloustoimenpiteiden jaottelu geneerisesti yli toimialojen ja järjestelmien.

Taulukko 1. Lähestymistapoja kiertotaloustoimenpiteiden jaottelulle.

Elinkaaren vaiheeseen perustuva jaottelu:	
Tuotesuunnittelu	
Raaka-aineiden/materiaalien käytön vähentäminen	Materiaalitehokkuustoimenpide (MT)
Jätteenkäytön suunnittelu	Materiaalitehokkuustoimenpide (MT)
Tuotteiden käyttöiän pidentäminen	Materiaalitehokkuustoimenpide (MT)
Muuntojoustavuus ja modulaarisuus	Materiaalitehokkuustoimenpide (MT)
Uudelleenkäytön suunnittelu	Materiaalitehokkuustoimenpide (MT)
Kierrätysmateriaalien hyödyntäminen	Kierrätystoimenpide (KT)
Bioperusteisen raaka-ainekäytön vahvistaminen	Materiaalitehokkuustoimenpide (MT)
Tuotantoprosessit	
Korvataan neitseellisiä raaka-aineita sekundäärisillä	Kierrätys/mat. tehokkuustoimenpide (KT/MT)
Tuotteiden ja osien uudelleenkäyttö	Materiaalitehokkuustoimenpide (MT)
Materiaalitehokkuuden parantaminen tuotantoprosesseissa	Materiaalitehokkuustoimenpide (MT)
Loppukäyttö ja kuluttaminen	
Jakamis- ja alustatalous, tuotteiden palvelullistaminen	Käyttöperusteinen toimenpide (KPT)
Hyödynnetään uudelleenkäyttöä, kunnostamista ja korjaamista	Käyttöperusteinen toimenpide (KPT)
Jätehuolto	
Käytetään tuotteita pidempään	Käyttöperusteinen toimenpide (KPT)
Ohjataan käytetyt tuotteet uudelleenkäyttöön ja – valmistukseen	Kierrätystoimenpide (KT)
Parannetaan kierrätysasteita	Kierrätystoimenpide (KT)

Tässä hankkeessa hyödynnetään taulukossa 1 esiteltyä ylätasoa jaottelua käsiteltäville kiertotaloustoimenpiteille osa-aluekohtaisissa analyyseissä. Jaottelussa on tärkeää ottaa huomioon tietty päällekkäisyys, sillä monet kiertotaloustoimenpiteet ovat usein riippuvaisia toisistaan. Esimerkiksi tuotantoprosessien sekundäärisen raaka-aineen saatavuus on riippuvainen ko. raaka-aineen kierrätysasteesta jätehuoltovaiheessa, tai loppukäyttövaiheessa tuotteen uudelleenkäyttö- ja korjaamismahdollisuudet ovat usein vahvasti riippuvaisia tuotesuunnitteluvaiheesta. Tämän vuoksi kiertotalouden toimenpiteitä tulisi tehdä samanaikaisesti tuotteen eri elinkaaren vaiheissa, jotta saavutetaan päästövähennyksiä ja

turvataan luonnon monimuotoisuutta. Asia on tärkeää huomioida myös vaikutusten kokonaisarviota tehtäessä, jotta vältetään esim. päällekkäislaskenta.

Taulukkoon 2 on listattu kaikki tässä hankkeessa läpikäytävät kiertotaloustoimenpiteet selityksineen. Taulukon toimenpiteet on koottu olemassa olevan kiertotalouskirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden pohjalta. Valintaperusteita on käsitelty tarkemmin lukujen 4 ja 5 yhteydessä.

Taulukko 2. Hankkeessa käsiteltävät kiertotaloustoimenpiteet.

Osa-alue ja toimenpide	Toimenpiteen kuvaus
Metalliteollisuus	
Kierrätysmetallien hyödyntäminen (valmistuksessa)	Valmistuksessa käytetään kierrätysmetalleja neitseellisten metallimalmien sijaan. Edellyttää tehokasta kierrätysjärjestelmää. (KT/MT)
Materiaalitehokkuuden parantaminen (valmistuksessa)	Valmistuksessa pyritään minimoimaan prosesseissa syntyvää hävikkiä ja varmistamaan tehokas kierrätys. (MT)
Metallien käytön optimointi	Metallien käytön optimoinnissa älykäs tuotesuunnittelu mahdollistaa metallien käytön vähentämisen. Tuotteista ei myöskään valmisteta ”ylimitoitettuja”. (MT)
Komponenttien ja osien uudelleenkäyttö	Komponentit ja osat suunnitellaan siten, että niitä voidaan vaihtaa, huoltaa, korjata ja käyttää muissa tuotteissa, koneissa tai laitteissa (modulaarisuus). Vähentää tarvetta uuden tuotteen valmistamiseen. (MT)
CCU (hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö)	*Avataan metsäteollisuuden yhteydessä.
Rakentaminen ja kiinteistöjen käyttö	
Betonijätteen hyödyntäminen maarakentamisessa	Vaaratonta sementti- ja betonijätettä valmistellaan ja hyödynnetään maarakentamisessa. (KT)
Betonijäte ohjataan uudelleenvalmistukseen	Betonijäte talteenotetaan, kierrätetään ja valmistellaan hyödynnettäväksi uudelleen. Betonimursketta voidaan käyttää esimerkiksi uuden betonin valmistuksessa. (KT)
Betonin/sementin materiaalikäytön optimointi	Optimoidaan käyttöä kaikin mahdollisin tavoin esim. vältetään ”ylivahvoja” rakenteita. Käytetään oikeaa materiaalia oikeaan paikkaan. (MT)
Betonielementtien uudelleenkäyttö	Hyödynnetään laadukkaat ja turvalliset betonielementit sellaisenaan muissa rakennuskohteissa. (MT)

Osa-alue ja toimenpide	Toimenpiteen kuvaus
Materiaalikäytön optimointi metallirakenteissa	Rakennussuunnittelussa optimoidaan käyttöä kaikin mahdollisin tavoin esim. vältetään ”ylivahvoja” rakenteita. Käytetään oikeaa materiaalia oikeaan paikkaan. (MT)
Metallirakenteiden uudelleenkäyttö	Hyödynnetään laadukkaat ja turvalliset metallirakenteet sellaisenaan muissa rakennuskohteissa. (MT)
Klinkkerin korvaaminen muilla sidosaineilla	Pienennetään klinkkerin osuutta sementissä sekoittamalla sementtiin muita sidosaineita, kuten metalliteollisuuden tuhkia ja kuonia, lasi- ja mineraalivilloja, tai kaivosteollisuuden rikastushiekköjä. (MT)
Geopolymeerit	”Ekobetonია”, jonka valmistuksessa hyödynnetään epäorgaaniset jätteet ja sivuvirrat. Valmistetaan alkaliaktivaattorin avulla ilman polttoa. Geopolymeereillä voidaan korvata vain osa sementinvalmistuksesta. (MT)
Korvataan betoni- ja teräsrakentamista puurakentamisella	Puurakentamisella korvataan betoni- ja teräsrakentamista monissa eri käyttökohteissa. Suurimmat kasvumahdollisuudet ovat kerrostalo-, julkis-, piha- ja ympäristö- ja lisäkerrosrakentamisessa. (MT)
Rakennuspuumateriaalin kierrätys ja uusiokäyttö (kaskadikäyttö)	Rakennuspuumateriaali ja -jäte talteenotetaan, kierrätetään ja valmistellaan hyödynnettäväksi uudelleen. (KT/MT)
Rakennusten käyttöänsä pidentäminen ja korjausrakentaminen	Mahdollisuuksien mukaan suunnitellaan rakennukset pitkäikäisiksi ja panostetaan korjausrakentamiseen. Pitkäikäisessä rakentamisessa suunnitteluvaihe sekä rakennusmateriaalien ja rakentamisen laadukkuus ja korjattavuus korostuvat. (MT/KPT)
Asuntojen ja toimitilojen käytön optimointi (yhteiskäyttöisyys, pienemmät asunnot, tilojen tehokas käyttö ja muuntojoustavuus)	Asuntojen ja toimitilojen käytön optimointi sisältää erilaisia toimenpiteitä kuten tilojen käytön tehostamisen, asuntojen koon pienentämisen (”downsizing”), yhteiskäyttöiset tilat, modulaarisuuden ja monikäyttöisyyden. (MT/KPT)
Rakennusmaa-aineksen kierrätys ja hyötykäyttö	Rakennusmaa-ainekset talteenotetaan paikan päällä ja kierrätetään hyötykäyttöön. (KT)
Metsäteollisuus	
Materiaalitehokkuuden parantaminen (teollisuudessa)	Materiaalitehokkuudella tarkoitetaan luonnonvarojen säästeliästä käyttöä toimijan tasolla, tehokasta sivuvirtojen hallintaa ja jätteen määrän vähentämistä. Yleisesti ottaen myös materiaalin kierrätys elinkaaren eri vaiheissa kuuluu materiaalitehokkuuteen. (MT)

Osa-alue ja toimenpide	Toimenpiteen kuvaus
Fossiilisia raaka-aineita sisältäviä tuotteita korvataan puupohjaisilla ratkaisuilla (esim. muovit ja tekstiilit)	Korvataan puupohjaisilla ratkaisuilla fossiilisia raaka-aineita sisältäviä tuotteita, esim. biopohjaiset muovit, viskoosi (lyocell, ioncell). (MT)
Puutuotteiden (ml. kierrätyskuitujen) kaskadikäytön lisääminen	Kaskadiperiaatteella tarkoitetaan resurssien tehokasta hyödyntämistä edistämällä puumateriaalien- ja tuotteiden kertaantuvaa käyttöä ja mahdollisimman korkeaa arvonlisää sekä materiaalihyödyntämistä ennen energiakäyttöä. Metsäteollisuuden kierrätyskuituja hyödynnetään mm. paperissa, levyteollisuudessa ja vaateteollisuudessa (esim. ioncell). (KT/MT)
CCU (hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö)	Kehitteillä oleva teknologia, joka mahdollistaa hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön. Hiilidioksidista on mahdollista valmistaa lähes hiilineutraaleja polttoaineita, materiaaleja ja tuotteita. CCU kuuluu olennaisesti hiilen kiertotalouteen ⁶ . (MT)
Ruokajärjestelmä	
Maatalousmaata uudistava maatalous	Uudistavassa (regeneratiivisessa) maataloudessa parannetaan maaperän tilaa ja monimuotoisuutta, joka edelleen edesauttaa maaperän kykyä sitoa hiiltä, vettä ja ravinteita. Uudistavan maatalouden toimenpiteitä ovat esimerkiksi kasvipeitteisyyden lisääminen, kiertoviljely, muokkauksen vähentäminen, monipuolisemmat viljelylajit ja -lajikkeet, laidunnus, agrometsätalous, metsälaidunnus, permakulttuuri jne.
Ravinteiden kierrätys (esim. kierrätyslannoitteet)	Lannan, yhdyskuntien ja teollisuuden lietteiden ravinteiden kierrätys maatalouden ja ruoantuotannon käyttöön. Suurin ravinnepotentiaali on lannassa. Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesilietteissä on myös merkittävä potentiaali. (KT/MT)
Ruokahävikin minimoiminen	Ruokahävikin minimoiminen ruokaketjun kaikissa vaiheissa. (MT/KPT)
Elintarviketeollisuuden materiaalitehokkuuden parantaminen valmistuksessa (pl. ruokahävikki)	Materiaalitehokkuuden lisääminen muutoin kuin ruokahävikkiä pienentämällä esimerkiksi prosessiteknikassa, raaka-aineiden valinnassa, logistiikassa ja pakkausmateriaaleissa. (MT)

6 Hiilen kiertotalous (engl. circular carbon economy) tarkoittaa hiilidioksidin ja muiden KHK-päästöjen vähentämistä neljän R:n avulla, jotka ovat: reduce (vähennä), reuse (uudelleenkäytä), recycle (kierrätä) ja remove (poista) (IEF, 2020).

Osa-alue ja toimenpide	Toimenpiteen kuvaus
Biokaasu	Liittyy ravinteiden kierrätykseen. Biokaasua tuotetaan orgaanisista materiaaleista (mm. liete, lanta ja peltobiomassa) biokaasulaitoksessa. Kaasu voidaan hyödyntää energiansektorilla lämmön- ja sähköntuotannossa tai liikenteessä ajoneuvojen polttoaineena. Biokaasulaitoksessa syntyy myös sivutuotteena mädätejäännöstä, jota voidaan hyödyntää kierrätyslannoitteissa. (KT/MT)
Liikennejärjestelmä	
Uusiomateriaalien käyttö tieväylien rakentamisessa	Väylärakentamisessa hyödynnetään uusiomateriaaleja kuten rakentamisen purkumateriaaleja ja teollisuuden prosessien sivuvirtoja. (KT)
Yhteiskäyttöautot	Yhteiskäyttöautolla tarkoitetaan autoa, josta maksetaan käytön mukaan sovitulla minuutti-, tunti- tai päivähinnalla, ja jolla voi olla useampia käyttäjiä. Myös perinteinen autojen vuokraus ⁷ on eräs yhteiskäyttöautoilun muoto. (KPT)
Kimppakyydit	Samaan suuntaan tai kohteeseen kulkeminen yhdessä jonkun mukanaolijan omalla autolla. (KPT)
Biokaasu	*Avattu ruokajärjestelmän yhteydessä.
Sivu- ja jätevirroista valmistetut polttoaineet (pl. biokaasu)	Polttoaineet (esim. uusiutuva diesel), jotka on valmistettu sivu- ja jätevirroista. Sivuvirroilla tarkoitetaan raaka-ainevirtoja, joita syntyy pääasiällisen tuotteen valmistusprosessissa ohella. Jätteet ovat materiaalivirtoja, jotka on jo hylätty tuotteiden valmistusprosesseista. (KT/MT)
Power-to-x-teknologia ja synteettiset polttoaineet	Power-to-x-teknologiaa voidaan soveltaa synteettisten polttoaineiden valmistukseen. Raaka-aineiksi tarvitaan hiilidioksidia ilmasta ja vetyä vedestä. Valmistusprosessi toteutetaan uusiutuvan sähkön avulla. Lopputuotteina syntyviä metaania, metanolia ja dimetyylieetteriä voidaan käyttää nykyisten laivojen, kuorma-autojen ja henkilöautojen moottoreissa. (KT)
Sähköauton akkujen kierrätys ja uusiokäyttö	Sähköautojen akkujen kierrätys kattaa sähkö- ja hybridautojen liikuttamiseen tarvittavat energiavarastot. Käytöstä poistetut akut kunnostetaan uudelleen ajovoima-akuiksi tai hyödynnetään muussa käytössä. (KT)
Muovit	
Muovijätettä ei polttoon	Muovijätteen käyttö energiantuotannossa on yleistä, sillä sen energia-arvo on korkea. Polton välttäminen liittyy kolmeen seuraavaan toimenpiteeseen. (KT)

7 Myös leasing liittyy yhteiskäyttöautoihin. Leasing on kuitenkin omistumaisempi autoilun muoto, sillä leasingin aikana auton käyttäjäkunta on tyypillisesti rajattu. Hiilineutraalin kiertotalouden kannalta leasing ei todennäköisesti tarjoa merkittäviä KHK-päästövähennyksiä, sillä leasing ei suoranaisesti vaikuta ajosuorituksen tai autojen määrään, vaikka leasing-autot ovatkin usein keskimääräistä uudempia ja vähäpäästöisempiä.

Osa-alue ja toimenpide	Toimenpiteen kuvaus
Muovin mekaaninen kierrättäminen ja materiaalihyötykäyttö	Mekaanisella kierrätyksellä tarkoitetaan muovien käyttöä uudelleen mekaanisten prosessien avulla. Perinteisesti tämä tarkoittaa muovien rouhimista, sulattamista ja uudelleen muokkaamista. Mekaaninen kierrättäminen soveltuu parhaiten likaantumattomalle ja hyväkuntoiselle muovijätteelle. (KT/MT)
Muovin kemiallinen kierrättäminen ja materiaalihyötykäyttö	Kemiallinen kierrättäminen soveltuu myös huonolaatuiselle muoville, joka ei sovi mekaaniseen kierrätykseen. Siinä jätemuovi pilkotaan kemiallisessa prosessissa (kaasutus, pyrolyysi, solvolyyysi, depolymerisaatio jne.) takaisin molekyylitasolle. Kemiallisilla menetelmillä jätemuovista voidaan valmistaa uusien kemikaalien ja muoviraaka-aineiden lähtöaineita tai vaihtoehtoisesti polttoainetta, ja myös haitalliset aineet voidaan saada osin tai kokonaan poistettua. Kemiallinen kierrätys on energiaintensiivistä toimintaa. (KT/MT)
Muovituotteiden uudelleenkäyttö	Muovituote tai -pakkaus hyödynnetään sellaisenaan uudelleen. Uudelleenkäyttö on yleistä etenkin muovipakkauksiin liittyen teollisuuden ja kaupan välisessä logistiikassa. (MT)
Muovien käytön optimointi	Optimoidaan muovin materiaalikäyttöä kaikin mahdollisin tavoin. Vähennetään muovin käyttöä, mikäli vain mahdollista, esim. vältetään ylipakkaamista. Käytetään oikeaa materiaalia oikeaan paikkaan. (MT)
Biopohjaiset muovit	Biopohjainen muovi on tehty joko kokonaan tai osittain biopohjaisista raaka-aineista. Biopohjaisia muoveja on vielä toistaiseksi vain pieni osa muovintuotannosta. Biopohjaisten menetelmien prosessien tehokkuus on vielä jäljessä fossiilipohjaisen teollisuuden prosesseista. (MT)
Elektroniikka	
Elektroniikkatuotteiden käyttöiän kasvattaminen (ml. kuluttajanäkökulma)	Käyttöiän pidentäminen sisältää korjaamisen ja sen helpottamisen mm. modulaarisen suunnittelun avulla. (KPT)
Materiaalien kierrätys	Elektroniikkajätteen kierrätysasteen nostaminen. (KT)
Elektroniikkatuotteiden "kiertotaloussuunnittelu"	Kuluttajaelektroniikkatuotteiden kierrätettävyyden ja modulaarisuuden lisääminen. (MT/KT)
Leasing- ja jakamistalouden ratkaisut	Omien laitteiden hankkimistarpeen vähentäminen vuokraamisen, lainaamisen ja yhteiskäytön avulla. (KPT)
Tekstiilit	
Käyttöiän pidentäminen	Vaatteiden ja tekstiilien käyttöiän pidentäminen sisältää mm. vaatteiden käyttämisen itse pidempään ja siihen liittyvän mahdollisen korjaamisen, toiselle henkilölle kierrättämisen suoraan tai kirpputorien kautta sekä lahjoittamisen hyväntekeväisyyteen. (KPT)
Vaatevuokraus	Vaatteiden vuokraaminen elinkeinotoiminnan harjoittajalta. (KPT)

Osa-alue ja toimenpide	Toimenpiteen kuvaus
Tuotteiden uudelleenvalmistaminen tekstiilijätteestä	Uusien tuotteiden valmistaminen käytöstä poistetuista tekstiileistä korvaa neitseellisiä raaka-aineita. (MT/KT)
Tekstiilijätteiden kuitujen hyödyntäminen	Kuituja kierrättäminen mekaanisesti, kemiallisesti tai termisesti. (KT)
Uusien kuitumateriaalien (esim. puupohjaiset kuidut) hyödyntäminen	Tekstiilikuituja voidaan valmistaa mm. sellusta sekä erilaisista biojätevirroista. (KT)

2.4 Kiertotalous, luonnonvarojen käyttö ja luonnon monimuotoisuus

Luonnonvarojen käytön jatkuva kasvu on maailmanlaajuinen luontopääomaa kaventava trendi. Luonnonvarojen kasvava käyttö vaikuttaa kielteisesti ekosysteemeihin, lajien populaatioihin ja ekosysteemipalveluihin. Kansainvälinen luonnonvarapaneeli on arvioinut, että luonnonvarojen käyttö ja prosessointi aiheuttavat jopa 90 % globaalista biodiversiteettikadosta (International Resource Panel, 2019). Luonnon monimuotoisuuteen vaikuttavat etenkin luonnonvarojen kestäättömän käytön yhteydessä tapahtuvat maankäytön muutokset ja sitä kautta etenevä ekosysteemien muuttuminen, katoaminen ja jäljelle jäävien luontoalueiden pirstoutuminen (Haines-Yong, 2009). Muita merkittäviä luonnon monimuotoisuutta heikentäviä tekijöitä Suomessa ovat rehevöityminen ja muu saastuminen, ilmastonmuutos, luontoympäristön suora muuttaminen (mm. rakennusten ja infrastruktuurin rakentaminen) ja vieraslajit (Auvinen ym., 2020). Ilmastonmuutoksen vaikutukset kasvavat koko ajan siihen liittyvien sääilmiöiden ja -muutosten edetessä. Ilmastonmuutos vahvistaa myös maankäytön muutosten vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen ja sen kokonaisvaikutusta tulevaisuuden luonnon monimuotoisuusmuutoksiin on vielä vaikeaa arvioida (Aapala ym., 2020).

Määräajoin tehtävässä lajien uhanalaisarviossa (Hyvärinen ym., 2019) korostuvat Suomessa edelleen maankäyttötekijät, joihin luetaan mm. metsien talouskäytöstä johtuvat metsien rakenteen muutokset sekä maatalouden tehostumisesta ja typpilaskeumasta johtuva niittyjen ja muiden perinteisten avoimien alueiden sulkeutuminen. Maa-ainesten otto kohdistuu näitä pienialaisemmin erityisesti harjuelin ympäristöihin, joskin lajittuneiden alueiden maa-aineksia on viime vuosikymmeninä korvattu voimakkaasti kalliomurskeella, jonka oton luontovaikutukset ovat vähäisemmät. Kaivostoiminnan vaikutukset ovat paikallisia, mutta voivat olla merkittäviä silloin, kun ne kohdistuvat harvinaisiin elinympäristöihin kuten kalkki- ja serpentiinikallioihin (Kontula ym., 2018). Suorat

rakentamisen vaikutukset liittyvät etenkin taajamarakenteeseen, liikenneväylien ja vesivoiman tuotantoon.

Luonnon monimuotoisuus eli biodiversiteetti

Biodiversiteetillä tarkoitetaan elollisen luonnon monimuotoisuutta, joka ilmenee genotyyppien⁸, lajien tai luontotyyppien⁹ vaihtelevuutena ja runsautena (Tieteen termipankki, 2020). Kaikki nämä tasot vaikuttavat toisiinsa ja ovat omalta osaltaan yhtä tärkeitä. Monimuotoinen luonto puolestaan tuottaa elintärkeitä ekosysteemipalveluja, kuten pölyttäjiä, ruokaa, puhdasta hengitysilmaa, juomavettä, raaka-aineita ja virkistysmahdollisuuksia. Tässä selvityksessä keskitytään etenkin lajien monimuotoisuuteen ja esitetään myös havaintoja luontotyypeihin liittyen, jotka tarjoavat sopivia elinympäristöjä lajistoille.

Kiertotalouden yhteys maankäyttöön ja biodiversiteettiin on toistaiseksi jäänyt vaille perusteellista tarkastelua, sillä ympäristövaikutusten arviointi on keskittynyt lähinnä neitseellisten raaka-aineiden käytön ja jätteen minimointiin sekä päästöjen vähentämiseen (Geissdoerfer ym., 2017). Viime aikoina on kuitenkin noussut esille tarve sisällyttää luonnon monimuotoisuusvaikutukset myös osaksi kestäväen kiertotalouden arvioita (ks. esim. Buchmann-Duck ja Beazley, 2020). Kansainvälisen luonnonvarapaneelin selvityksessä (International Resource Panel, 2019) kiertotalous on tunnistettu yhdeksi keskeiseksi ratkaisuksi maailmanlaajuisen biodiversiteettikadon torjunnassa. Kansainvälisen luontopaneelin arviointiraportin (IPBES, 2019) mukaan biodiversiteettikadon torjunnassa voidaan onnistua ainoastaan ottamalla huomioon myös järjestelmätason muutostarpeet. Tarkempi tutkimustieto eri kiertotaloustoimenpiteiden biodiversiteettivaikutuksista on kuitenkin vielä hyvin vähäistä (Buchmann-Duck ja Beazley, 2020; Ruokamo ja Antikainen, 2020).

Kiertotaloudella voi olla myönteinen vaikutus biodiversiteettiin, kun kiertotaloustoimenpiteiden avulla onnistutaan vähentämään luonnonvarojen käyttöön ja erilaisiin elinympäristöihin kohdistuvia paineita ja ekosysteemien luonnolliset kierrot huomioidaan paremmin

8 Genotyyppien vaihtelu näkyy sisäisenä monimuotoisuutena eli perintötekijöiden (geenien) vaihteluna yhden lajin, alalajin tai kannan sisällä.

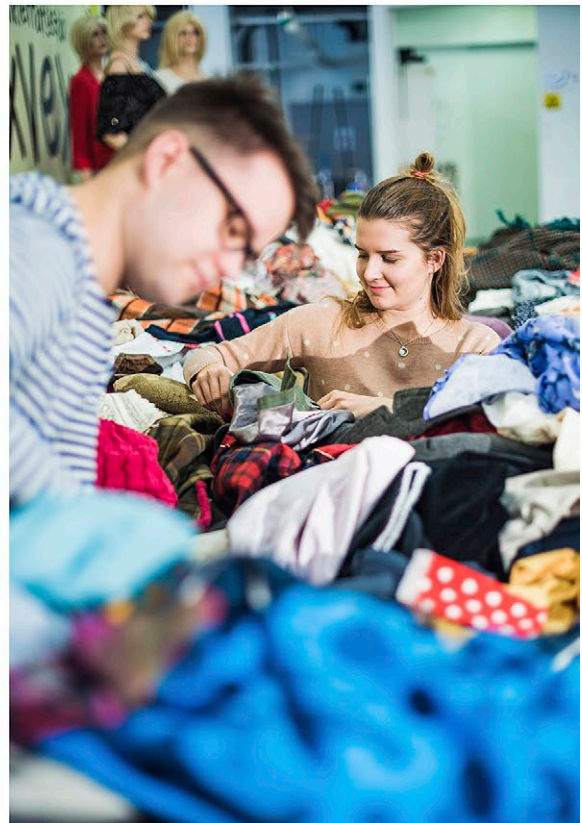
9 Luontotyypit tarkoittavat maa- tai vesialueita, joilla on tietynlaiset ympäristöolot sekä luonteenomainen kasvi- ja eläinlajisto.

(Ellen McArthur Foundation, 2019a; Korhonen ym., 2018). Tällöin pyritään vaikuttamaan esimerkiksi luonnonympäristöjen pinta-alan sekä biomassan ja kallio- ja maaperän käyttömääriin ja niistä aiheutuvien ympäristövaikutusten palautuvuuteen.

Kiertotaloudessa maaperän hyvinvoinnista (mm. multavuus, ravinteet, eroosion esto ja kosteusolot) huolehtiminen ja elinympäristöjen ekosysteemipalvelujen tuottokyvyn säilyminen ovat keskeisiä tavoitteita, mikä näkyy muun muassa uudistuvien luontosysteemien ("regenerative natural systems") sisällyttämisenä Ellen MacArthur -säätiön määrittelemän kiertotalouskäsitteen yhdeksi peruserätykseen (Ellen MacArthur Foundation, 2020). Luonnonvarojen käytön intensiteetti ja maankäyttömuutosten laajuus sekä niiden seurauksena tapahtuvien ekosysteemivaikutusten palautuvuus ovat tärkeitä tekijöitä arvioitaessa ihmistoimien luonnon monimuotoisuusvaikutuksia. Ekosysteemien palautuvuuden ja maaperän hyvinvoinnin merkitys korostuu muun muassa silloin, kun biomassan tuotanto kasvaa (Breure ym., 2018).

Biomassan tuotannon ja biotalouden vaikutuksia biodiversiteettiin on tutkittu kirjallisuudessa kiertotaloutta selvästi enemmän (ks. esim. Jäppinen ja Heliölä, 2015; Korhonen ym., 2001; Korhonen ym., 2016; Shogren ym., 2019). On muun muassa tiedostettu, että puun kysynnän kasvu saattaa lisätä nykyisten metsätalousalueiden käytön intensiteettiä, mikä voi edelleen heikentää biodiversiteettiä ja ekosysteemipalveluita (Jäppinen ja Heliölä, 2015; Korhonen ym., 2016). Toisaalta biopohjaisten materiaalien kysyntä voi auttaa säilyttämään biomassan tuotantoon käytettyjen alueiden monimuotoisuuden, mikäli näiden alueiden hoitoon keskitytään aiempaa paremmin (Shogren ym., 2019).

Kestävän kiertotalouden kokonaisvaltaisessa edistämisessä tulee ennen kaikkea huomioida erilaisten toimien vaikutukset globaaliin nettokestävyyteen (Korhonen ym., 2018). Ympäristövaikutusten minimoiminen tuotteiden elinkaaren yhdessä vaiheessa ei takaa niiden vähäistä määrää elinkaaren muissa vaiheissa. Vientituotteen elinkaaren loppuvaiheen loppukäsittelyssä voi olla haasteita tai tuontituotteen tuotanto on saattanut olla haitallista biodiversiteetille tai ekosysteemille lähtömaassa, vaikka se loppukäsiteltäisiin Suomessa asiallisesti (Korhonen ja Snäkin, 2005; Mayer ym., 2005). On myös mahdollista, että valtion lisätessä luonnonsuojelua ja ekotehokkuutta samalla kun luonnonvarojen käyttö lisääntyy talouskasvun seurauksena, haitallisia ympäristövaikutuksia aiheuttava tuotanto siirtyy muihin maihin. Kielteiset (ja myönteiset) biodiversiteettivaikutukset voivat myös ulottua maantieteellisesti läheisiin maihin, kun lajien muuttoliike valtioiden välillä vähenee (lisääntyy) (Mayer ym., 2005).



3 Yleiskuva suomalaisen tuotantotoiminnan ja kulutuksen ympäristövaikutuksista

3.1 Tausta ja ENVIMAT-laskentamenetelmän kuvaus

Tässä luvussa tarkastellaan Suomen talouden toimialojen ja kulutuksen ympäristövaikutuksia, jotta kiertotalouden vaikuttavuuspotentiaalista saataisiin muodostettua aiempaa parempi kokonaiskuva. Käytetyt tiedot ovat vuodelta 2015. Tarkasteltavia ympäristönäkökohtia ovat kasvihuonekaasupäästöt, raaka-aineiden käyttö, maankäyttö ja luonnon monimuotoisuus. Tiedot on laskettu ENVIMAT-mallilla, ja ne voidaan jaotella tuotantotoiminnan ja kotitalouksien kulutuksen aiheuttamiin vaikutuksiin. Eri ympäristövaikutusten toimialakohtaisissa kuvissa on mukana tässä raportissa tarkasteltavat toimialat sekä kunkin vaikutusluokan tai kuormitustekijän kannalta merkittävimmät toimialat.

Suomen kansantalouden ympäristölaajennetulla ENVIMAT-panos-tuotosmallilla voidaan analysoida tuotantotoiminnan ja loppukäytön suoria ja välillisiä ympäristövaikutuksia. Talouden tuotantorakenne kuvataan mallissa systemaattisesti tuotteita, toimialoja ja niiden tarjontaa sekä käyttöä kuvaavissa tauluissa. Tuotantotoiminta on jaettu mallissa 148 toimialaan ja 229 tuotteeseen. Tässä raportissa toimialoja on tarkasteltu hieman karkeammalla 63 toimialan ryhmityksellä. Toimialojen luokittelu ja nimitykset pohjautuvat Tilastokeskuksen toimialaluokituksen (ENVIMAT-mallin toimialaluokitus liitteessä 1). Malli keskittyy Suomen kansantalouden kuvaukseen, mutta sisältää myös vienti- ja tuontivirrat. Tuonnin elinkaariset ympäristökuormitukset sisältyvät täten laskentaan. Mallin tarkempi menetelmäkuvaus on saatavilla mm. Savolainen ym. (2019a) ja Seppälä ym. (2011) julkaisuissa.

ENVIMAT-malli tarjoaa systemaattisen tavan tarkastella eri toimialojen taloudellista merkitystä¹⁰ sekä niiden aiheuttamia suoria ja välillisiä ympäristövaikutuksia. Systemaattisuus takaa tulosten vertailukelpoisuuden yli kaikkien toimialojen. Mallin avulla voidaan selvittää, kuinka paljon tuotantopanoksia eri toimialoilta tarvitaan, jotta tarkasteltava *toimiala X* pystyy tuottamaan tuotteita tai palveluita tietyn määrän (esimerkiksi tuotannon arvo vuonna 2015). Analyysissä ovat mukana sekä *toimialan X* suoraan käyttämät tuotantopanokset (ns. välituotteet) että näiden tuotantopanosten tuottamiseen tarvittavat panokset

¹⁰ Eri toimialojen taloudelliset tunnusluvut (tuotos, bruttoarvonlisäys) on esitetty liitteessä 2.

(ns. upstream-panokset). Malli kattaa tuotantoketjun kokonaisuudessaan sisältäen pienimmätkin toimialojen väliset taloudelliset kytkennät. *Toimialan X* tuotannossa kokonaisvaltaisesti tarvittavat tuotantopanokset sisältävät myös käytetyt tuontituotteet (joko suoraan *toimialan X* käyttämät tuontipanokset tai kauempana tuotantoketjussa käytetyt tuontipanokset).

Kun toimialojen taloudellisten kytkentöjen kuvaukseen yhdistetään tieto ympäristökuormituksesta, voidaan puhua ympäristölaajennetusta mallista ja toimialojen elinkaarisista ympäristövaikutuksista. Tällöin tarkastelun kohteena on se kokonaisympäristökuormitus, joka on syntynyt *toimialan X* tuotantotoiminnasta joko suoraan tai välillisesti. Elinkaariset ympäristövaikutukset muodostuvat suorista ja välillisistä ympäristövaikutuksista. *Suorat* ympäristövaikutukset aiheutuvat toimialan tuotantotoiminnasta (esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden polttamisen kasvihuonekaasupäästöt). *Välilliset* ympäristövaikutukset ovat kytköksissä toimialan käyttämiin erilaisiin välituotteisiin, joita tarvitaan omassa tuotantotoiminnassa, mutta jotka on tuotettu muilla toimialoilla kotimaassa (kotimaan välilliset vaikutukset) tai ulkomailla (tuontituotteiden elinkaariset vaikutukset). Välilliset vaikutukset sisältävät kattavasti kaikkien käytettyjen väli- ja lopputuotteiden sekä palveluiden tuottamisen vaikutukset missä hyvänsä osassa taaksepäin suuntautuvaa tuotantoketjua.

Tarkasteltaessa toimialojen elinkaarisia KHK-päästöjä ja raaka-ainekäyttöä ylittävät toimialojen yhteenlasketut vaikutukset kansantalouden kokonaisvaikutukset. Taustalla on se tosiasia, että kaikki toimialojen tuotteet eivät ole lopputuotteita, vaan osa käytetään välituotteina muilla toimialoilla, jolloin syntyy päällekkäistä laskentaa (Koskela ym., 2013a; Koskela ym., 2013b). Esimerkkeinä voidaan mainita maa-ainesten oton sisältyminen vahvasti rakennusaineteollisuuden ja edelleen rakentamisen toimialojen elinkaareen, metallimalmien louhinnan sisältyminen metalliteollisuuden toimialojen elinkaareen ja metsänhoidon sisältyminen massa- ja paperiteollisuuden elinkaareen. Toimialojen tarkastelu rinnakkain antaa kuvan siitä kokonaisympäristövaikutuksesta, joka liittyy kunkin toimialan tuotannon määrään tietyssä vuonna. Näin toimialoja voidaan vertailla. Näitä elinkaarisia kuormituksia ei kuitenkaan pidä laskea yhteen.

Arvioitaessa erilaisten kiertotaloustoimenpiteiden yhteyttä KHK-päästöjen vähentämiseen ja luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen toimialoja ja loppukulutusta on tarpeen tarkastella nimenomaan elinkaaristen vaikutusten näkökulmasta. Toimialojen tuotantotoiminnan volyymi, kytkökset muihin toimialoihin välituote-, tuote- ja palvelukäytön kautta, tuontituotteiden käyttö ja näihin kaikkiin liittyvien ympäristövaikutusten intensiteetti vaihtelevat. Useat tässä raportissa käsitellyt kiertotaloustoimenpiteet liittyvät toimialojen välituotekäyttöön. Tästä syystä jollakin toimialalla tarkasteltavat toimenpiteet saattavat vähentää esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjä muilla kuin omalla toimialalla. Toimialojen elinkaaristen ympäristövaikutusten vertailu tarjoaa tietoa toimialojen tärkeydestä ja ohjaa toimenpiteitä oikeisiin kohteisiin.

3.2 Toimialojen kasvihuonekaasupäästöt

Toimialojen suorat eli tuotantoperäiset KHK-päästöt jaetaan energia- ja prosessiperäisiin päästöihin. KHK-päästöjen määrä ilmaistaan hiilidioksidiekvivalenttilukuna (CO₂e), jolla eri kasvihuonekaasupäästöt on saatu toisiinsa nähden vertailukelpoiseen muotoon 100 vuoden ilmakehän lämmitysvaikutuksen näkökulmasta. ENVIMAT-mallissa suorat päästöt vastaavat esimerkiksi kasvihuonekaasuinventaariorissa raportoituja päästöjä (ks. inventaariokuvaus Statistics Finland (2020)). Energiaperäiset päästöt syntyvät erilaisten polttoaineiden käytöstä kullakin toimialalla. Prosessiperäiset päästöt puolestaan tarkoittavat mm. teollisuusprosesseista aiheutuvia päästöjä.

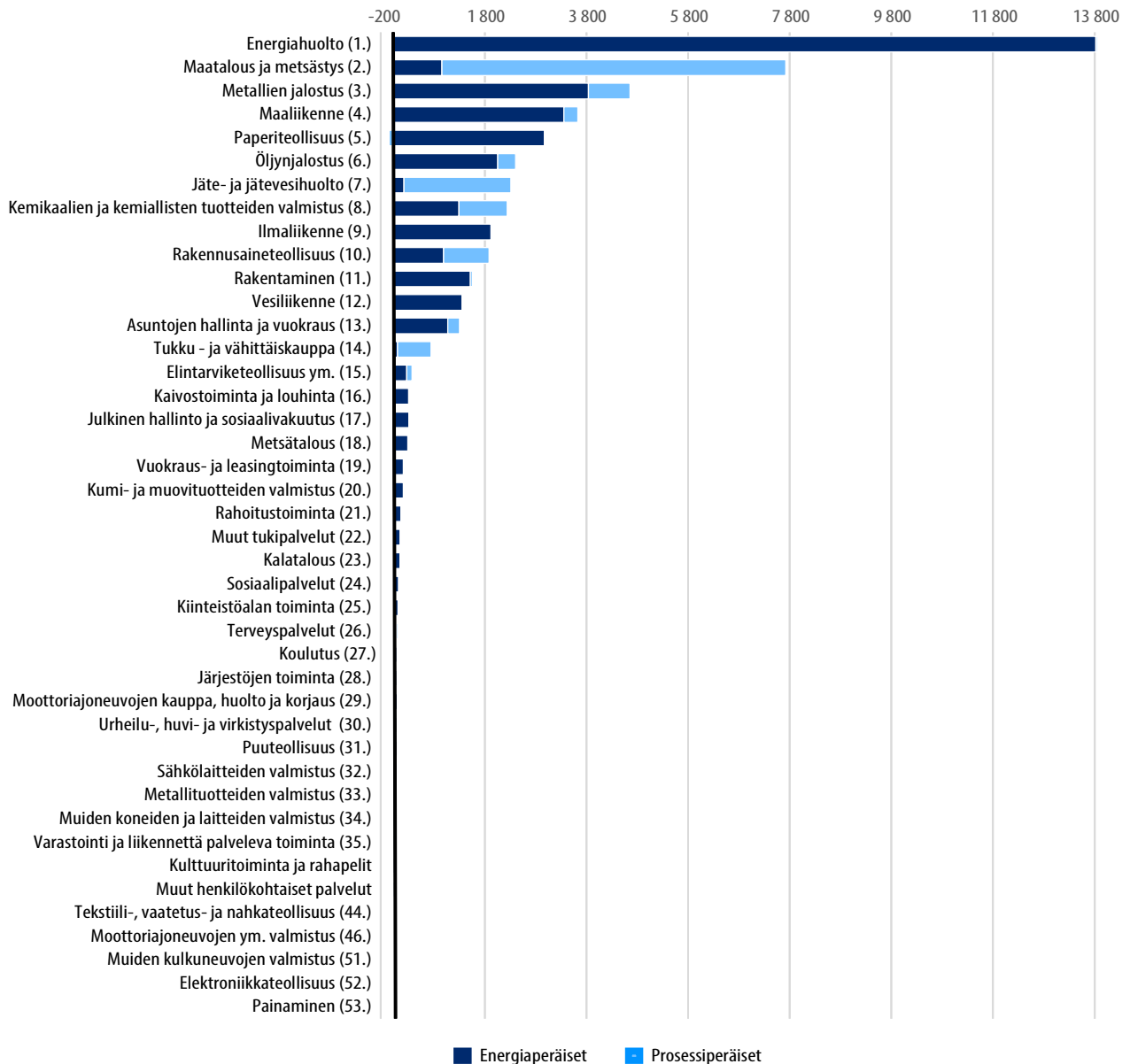
Kuvassa 2 esitetään tärkeimpien toimialojen lisäksi kaikki tämän raportin kannalta keskeiset toimialat. Suurimmat suorat KHK-päästöt olivat vuonna 2015 energianhuollon toimialalla (27 % Suomen toimialojen suorista päästöistä). Maatalouden ja metsästyksen suorat KHK-päästöt olivat 15 % ja vastaavasti metallien jalostuksen 9 %. Useat muutkin tässä raportissa tarkasteltavat toimialat sijoittuivat suurimpien suorista päästöjä aiheuttavien toimialojen joukkoon (esimerkiksi maaliikenne 7 %, paperiteollisuus 6 %, jäte- ja jätevesihuolto 4 %, rakennusaineteollisuus 4 %).

Kiertotaloustoimenpiteillä voidaan vähentää prosessiperäisiä päästöjä etenkin niissä tilanteissa, joissa prosessipäästöjä ei ole saatu muilla tavoilla kustannustehokkaasti vähennettyä. Näiden päästöjen pienentäminen muilla keinoin on erittäin haasteellista (Ellen MacArthur Foundation, 2019a; Material Economics, 2019). Lähtökohtana on, että yhteiskunnan siirtyessä kohti vähähiilisyyttä, nimenomaan fossiilisperäistä energiaa korvataan uusiutuvalla tai muulla päästöttömällä energialla kiertotaloudesta huolimatta. Kiertotaloustoimenpiteiden vaikutukset ovat suhteessa merkittävimpiä sellaisissa tuotantoketjuissa, joissa vähähiilisen energiantuotannon tai prosessiteknologian saavuttaminen on vaikeaa tai edellyttää huomattavia kustannuksia.

Suomessa prosessiperäiset päästöt (kuva 2) ovat suuria etenkin maataloudessa, metallien jalostuksessa¹¹, kemianteollisuudessa, jätehuollossa sekä rakennusaineteollisuudessa (sementin valmistus). Sementin valmistuksessa kalkkikivestä irtoaa sitä kuumennettaessa huomattava määrä hiilidioksidia, kasvinviljelyssä vapautuu paljon dityppioksidia ja kotieläintalouteen sekä kaatopaikkoihin liittyy mittavat metaanipäästöt. Prosessiperäisten päästöjen vähentämisen kiertotalousnäkökulmaa on avattu kunkin toimialan tarkastelun yhteydessä luvussa 4.

11 ENVIMAT-mallissa metallien jalostuksen päästöt jaetaan energiaperäisiin ja prosessipäästöihin hieman eri tavoin kuin kasvihuonekaasuinventaariorissa. ENVIMAT-mallissa metallien jalostuksen prosessipäästöt ovat 18 % kokonaispäästöistä, kun KHK-inventaariossa ne ovat 48 %. Malli halutaan pitää konsistenttina Tilastokeskuksen polttoaineiden päästökerrointen suhteen, mistä seuraa päästöjen allokointieroa KHK-inventaarioon etenkin koksen käytön osalta. Allokointierolla ei ole vaikutusta tuloksiin, kun suorista päästöjä tarkastellaan kokonaisuutena (energiaperäiset + prosessipäästöt).

Kuva 2. Valikoitujen toimialojen suorat KHK-päästöt¹² vuonna 2015, Mkg CO₂e. Luvut eivät pidä sisällään maankäyttösektorin eli LULUCF-sektorin päästöjä. Suluissa toimialan järjestysnumero suorien KHK-päästöjen osalta 63 toimialan kokonaisuudessa.



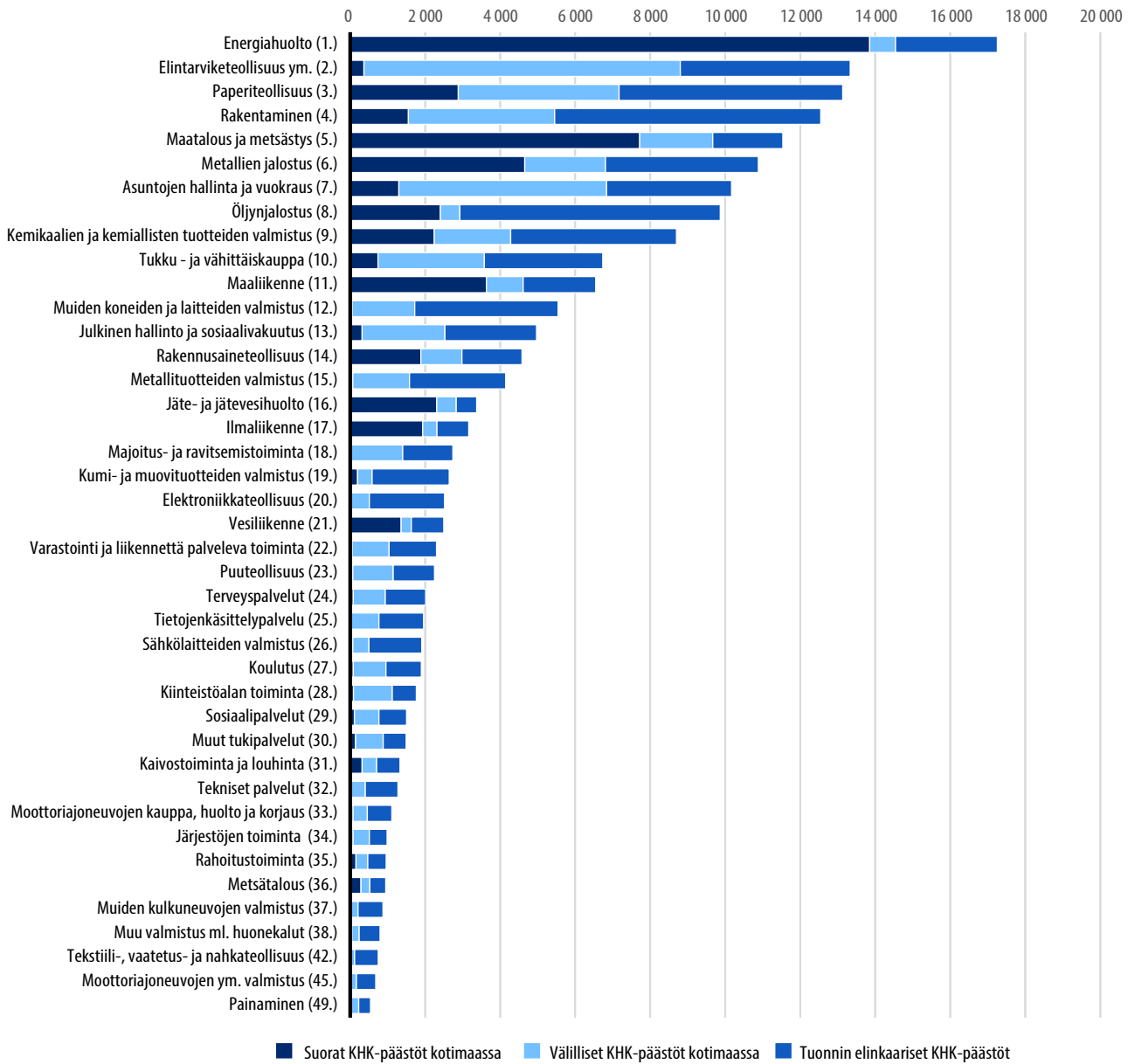
¹² Paperiteollisuuden negatiiviset prosessipäästöt selittyvät saostetun kalsiumkarbonaatin valmistuksella. Kyseinen valmistusprosessi sitoo hiilidioksidia.

Kuvassa 3 esitetään elinkaariset KHK-päästöt 35 suurimmalle sekä tämän raportin kannalta keskeisille toimialoille Suomessa vuonna 2015. Toimialan elinkaariset KHK-päästöt sisältävät kotimaan suorat eli tuotantoperäiset päästöt, kotimaan välilliset eli toimialalla välituotekäytön ja niiden valmistusketjun kautta syntyvät päästöt ja tuonnin elinkaariset KHK-päästöt. Elinkaaristen KHK-päästöjen taustalla vaikuttavat kunkin toimialan tuotantovolyymit ja kuvassa korostuvatkin Suomen talouden avaintoimialat.

Kuten jo mainittu, tässä tutkimuksessa keskitytään energiasektorin ulkopuolisiin, valikoituihin toimialoihin¹³ ja tästä syystä energianhuoltoa ei käsitellä alla. Kuvasta 3 nähdään, että Suomessa elinkaariset KHK-päästöt ovat suuria teollisuudenaloista etenkin elintarviketeollisuudessa (13,3 MtCO₂e), paperiteollisuudessa (13,1 MtCO₂e), metallien jalostuksessa (10,9 MtCO₂e) ja kemianteollisuudessa (öljynjalostus 9,9 MtCO₂e, kemikaalien valmistus 8,7 MtCO₂e). Lisäksi esimerkiksi rakentaminen (12,5 MtCO₂e) ja maatalous (11,5 MtCO₂e) aiheuttavat huomattavia elinkaarisia päästöjä.

13 Energiasektorin päästöjen pienentämisessä erilaiset kiertotaloustoimet eivät ole niin merkittävässä osassa kuin esimerkiksi teollisuudessa, rakentamisessa tai maanviljelyssä.

Kuva 3. Keskeisten toimialojen elinkaariset KHK-päästöt vuonna 2015, Mkg CO₂e. Luvut eivät pidä sisällään maankäyttösektorin eli LULUCF-sektorin päästöjä. Suluissa toimialan järjestysnumero suorien KHK-päästöjen osalta 63 toimialan kokonaisuudessa.



Kuvasta 3 nähdään, että elinkaariset päästöt jakautuvat toimialasta riippuen hyvin eri tavoin kotimaan ja ulkomaiden välille¹⁴. Toimialojen tarvitsemien välituotteiden tuotantoketjujen kotimaisuusaste vaihtelee huomattavasti. Tuontihyödykkeiden osuus elinkaarisista KHK-päästöistä korostuu tekstiili-, vaatetus- ja nahkateollisuudessa (84 %), elektroniikateollisuudessa (80 %), kumi- ja muovituotteiden valmistuksessa (78 %), muiden kulkuneuvojen valmistuksessa (76 %) ja sähkölaitteiden valmistuksessa (74 %). Korkeahko osuus niillä on myös paperiteollisuudessa (45 %), rakentamisessa (57 %) ja metallien jalostuksessa (37 %). Toisaalta ruokajärjestelmään liittyvien toimialojen ja jätehuollon päästövaikutukset painottuvat pitkälti kotimaahan. Tämä tarkoittaa sitä, että prosessiteollisuudessa, rakentamisessa, muovi- tai tekstiiliteollisuudessa tehtävien kiertotaloustoimenpiteiden päästövaikutukset ulottuvat selkeästi myös ulkomaille, kun taas ruokajärjestelmässä ja jätehuollossa vaikutukset painottuvat kotimaahan.

3.3 Toimialojen raaka-aineiden käyttö

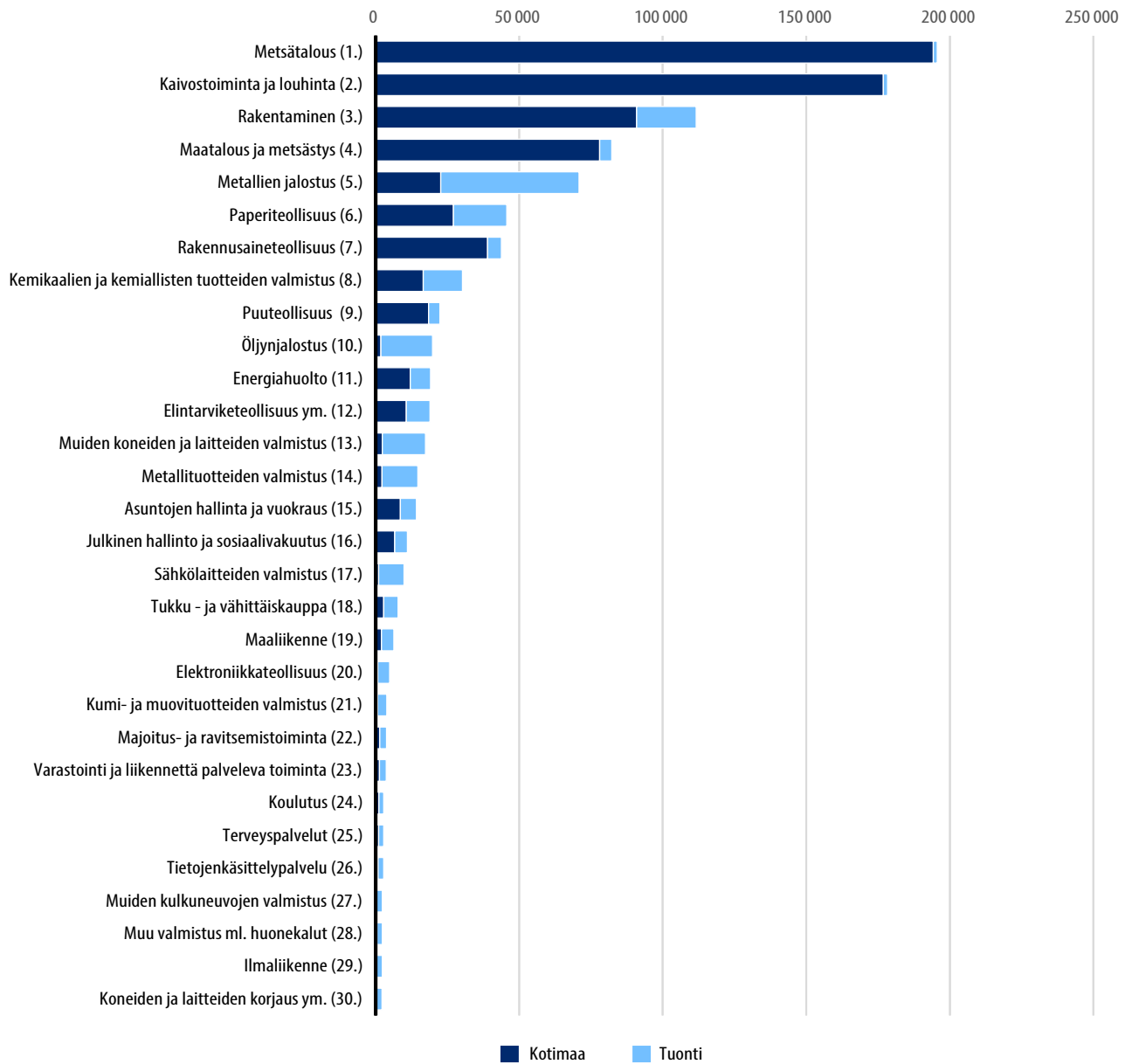
Toimialat käyttävät raaka-aineita sekä suoraan tuotantotoiminnassa että välillisesti välituotteiden kautta. Raaka-ainekäyttö (raw material requirement, RMR) kattaa kotimaan luonnosta käyttöön otetut ja tuontituotteiden valmistuksessa käytetyt raaka-ainemäärät laskettuna yhteen tonneina. Luonnonvarojen ottoon sisältyvät viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet, raakapuu, fossiiliset polttoaineet, metallimalmit, teollisuus- ja rakennusmateriaalit ja maa-ainekset. RMR-tunnusluku ei kerro pelkästään toimialan käyttämiä suoria materiaalmääriä, vaan tuotantotoiminnassa koko tuotantoketjun käyttämät luonnosta otetut raaka-ainevirrat (Savolainen ym., 2019a).

Kuvassa 4 esitetään 30 eniten raaka-aineita käyttävää toimialaa. Raaka-aineiden käyttö on suurta etenkin alkutuotannon toimialoilla, jotka vastaavat varsinaisesta luonnonvarojen otosta. Selkeästi suurinta raaka-aineiden käyttö on metsätaloudessa (196 Mt). Raaka-ainekäyttö on suurta myös kaivostoiminnassa ja louhinnassa (178 Mt), rakentamisessa (112 Mt), maataloudessa (82 Mt), metallien jalostuksessa (71 Mt), paperiteollisuudessa (46 Mt) ja rakennusaineteollisuudessa (44 Mt).

Kaivostoiminnassa ja louhinnassa, maataloudessa, metsätaloudessa, metallien jalostuksessa ja rakennusaineteollisuudessa raaka-aineiden käyttö suhteessa arvonlisään (ks. liite 2) on suurta eli mainitut toimialat näyttävät erittäin materiaali-intensiivisinä. Kyseisillä toimialoilla ja niihin kytkeytyvillä korkeamman jalostusasteen toimialoilla saattaisi olla raaka-aineiden käytön näkökulmasta potentiaalia erilaisille materiaalitehokkuus- ja kierrätystoimenpiteille.

¹⁴ Kotimaan elinkaariin päästöihin lasketaan mukaan suorat sekä välilliset KHK-päästöt kotimaassa. Kotimaan elinkaariset KHK-päästöt eivät summaudu tuotantoperäisesti laskettuihin päästöihin, koska kunkin toimialan päästöt sisältävät tuotantoketjujen ns. ylävirran (upstream) päästöjä.

Kuva 4. Tärkeimmät 30 toimialaa raaka-aineiden käytön (RMR) osalta vuonna 2015, Mkg.



Kuvasta 4 nähdään myös, kuinka raaka-aineiden käyttö jakautuu kotimaan ja ulkomaiden välille kullakin toimialalla. Tuontituotteisiin liittyvää suurta raaka-aineiden käyttöä on etenkin öljynjalostuksessa (91 % raaka-aineiden kokonaiskäytöstä), sähkölaitteiden valmistuksessa (89 %), erilaisten ajoneuvojen valmistuksessa (88 %), muiden koneiden ja laitteiden valmistuksessa (86 %), elektroniikkateollisuudessa (85 %), metallituotteiden valmistuksessa (84 %) ja kumi- ja muovituotteiden valmistuksessa (84 %). Näiden toimialojen kiertotaloustoimenpiteet vaikuttavat myös ulkomailla tapahtuvaan luonnonvarojen ottoon, mikäli loppukysyntä oletetaan vakioksi. Tuonnin lisäksi Suomi pienenä avotaloutena myös vie runsaasti erilaisia hyödykkeitä ulkomaille. Vastaavasti voimakkaat kiertotaloustoimet vientimaissa voivat vaikuttaa suomalaisten yritysten vientivolyymiin.

3.4 Toimialojen maankäyttö- ja biodiversiteettivaikutukset

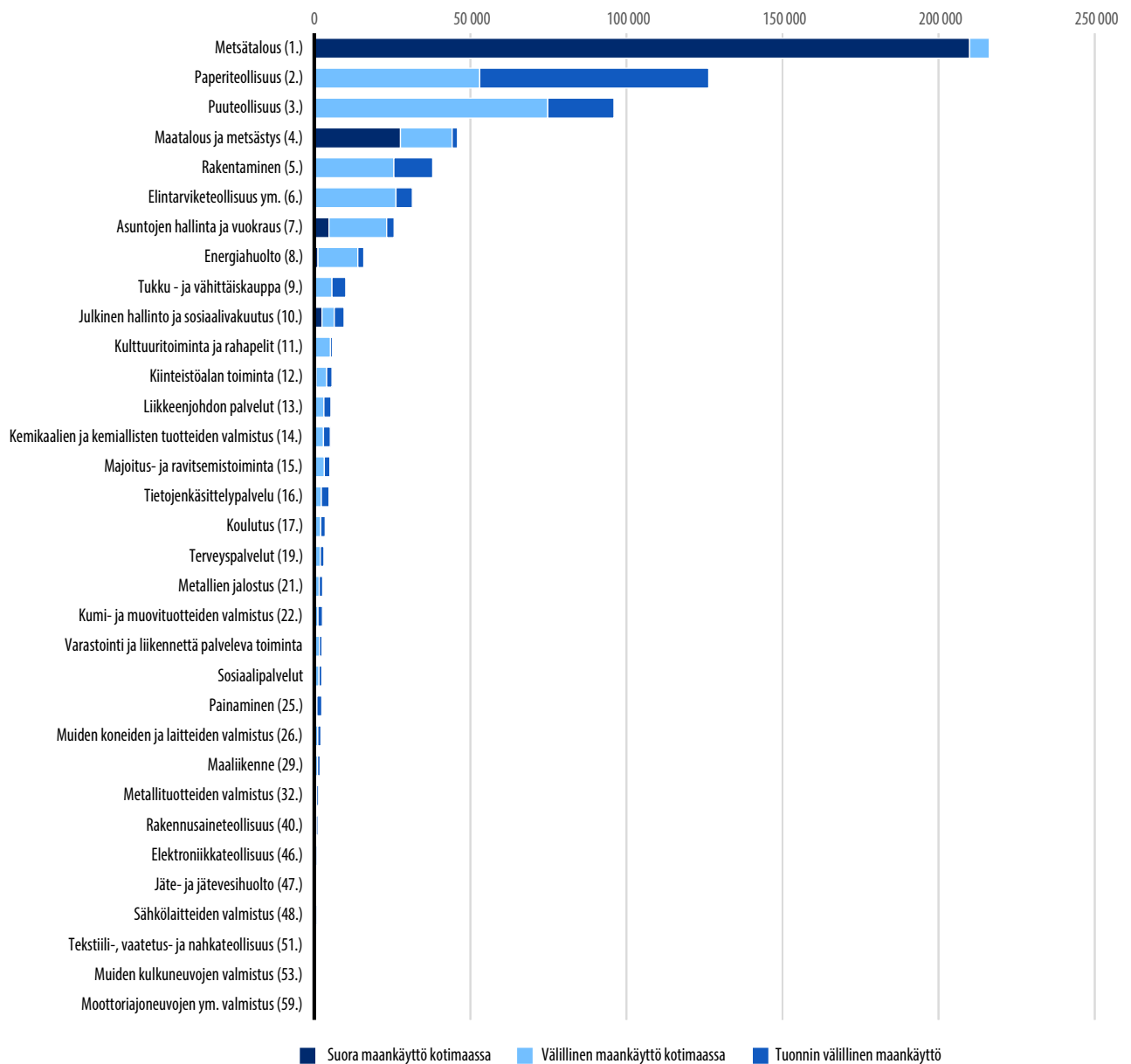
Toimialojen vaikutusta luonnon monimuotoisuuteen on tarkasteltu ENVIMAT-mallissa maankäytön kautta. Vastaavalla tavalla kuin kasvihuonekaasujen kohdalla voidaan maankäyttöä tarkastella suorien maa-aluevarausten (suora maankäyttö) ja välillisen maankäytön kautta. Välillinen maankäyttö allokoituu tarkasteltavalle toimialalle välituotekäytön kautta. Kun tarkasteltava toimiala käyttää välituotteina muiden toimialojen valmistamia tuotteita, voidaan mallilla laskea tuotantotoiminnan edellyttämä välillinen maankäyttö. Sama pätee tuontihyödykkeisiin kytkeytyvään maankäyttöön: tarkasteltavan toimialan tuotannossa suoraan tai välillisesti käytettävien tuontihyödykkeiden valmistamiseen on tarvittu maata Suomen rajojen ulkopuolelle. Myös tämä maankäyttö voidaan huomioida mallissa.

Kuvassa 5 esitetään yhteensä 30 merkittävän tai tämän raportin kannalta relevantin toimialan suora ja välillinen maankäyttö. Suoran maankäytön osalta metsätalous ja maatalous ovat tärkeimmät toimialat. Tämä on loogista, kun huomioidaan, että Suomen maapinta-alasta noin 71 % on metsätalousmaata ja noin 8 % maatalousmaata. Lisäksi asuntojen hallinta ja vuokraus (sisältää rakennetun asuinkäytössä olevan maan) ja julkinen hallinto ja sosiaalivakuutus (sisältää mm. liikenneverkkojen maa-alueet) ovat tärkeimpiä suoria maa-alueiden varaajia. Sen sijaan esimerkiksi kaivostoiminta ja louhinta ei nouse kokonaismaankäytössä kahdenkymmenen suurimman toimialan joukkoon.

Kotimaan välillisessä maankäytössä korostuvat toimialat, jotka ovat tiiviisti kytköksissä joko metsä- tai maataloudessa tuotettaviin raaka-aineisiin (esim. paperiteollisuus, puuteollisuus ja elintarviketeollisuus) tai muutoin monipuolisesti kytköksissä muihin toimialoihin (rakentaminen, asuntojen hallinta ja vuokraus ja energiahuolto). Ensin mainitut toimialat hyödyntävät jalostustoiminnassaan alkutuotannon tarjoamia tuotteita ja tätä kautta allokoituu välillistä maankäyttöä. Vaikka siis esimerkiksi sellu- ja paperitehtaat käyttävät vain

pienen maa-alueen suoraan, edellyttää niiden tuotantotoiminta huomattavaa maankäyttöä metsätalouden toimialalla.

Kuva 5. Toimialojen suora ja välillinen maankäyttö km² vuonna 2015. Suluissa toimialan järjestysnumero maankäytön osalta 63 toimialan kokonaisuudessa.



Toimialojen maankäyttö Suomen rajojen ulkopuolella korostuu tietyillä toimialoilla. Paperiteollisuuden käyttämiin tuontituotteisiin liittyvä maankäyttö on neliökilometreissä

suurinta, samoin tuonnin maankäytön osuus kokonaismaankäytöstä (58 %). Laajaa tuonnin välillistä maankäyttöä on myös puuteollisuudessa ja rakentamisessa. Korkeita tuonnin maankäyttö osuuksia toimialan kokonaismaankäytöstä on kalataloudessa (76 %), painamisessa (63 %), tekstiili-, vaatetus- ja nahkateollisuudessa (61 %) sekä audiovisuaalisessa toiminnassa (60 %).

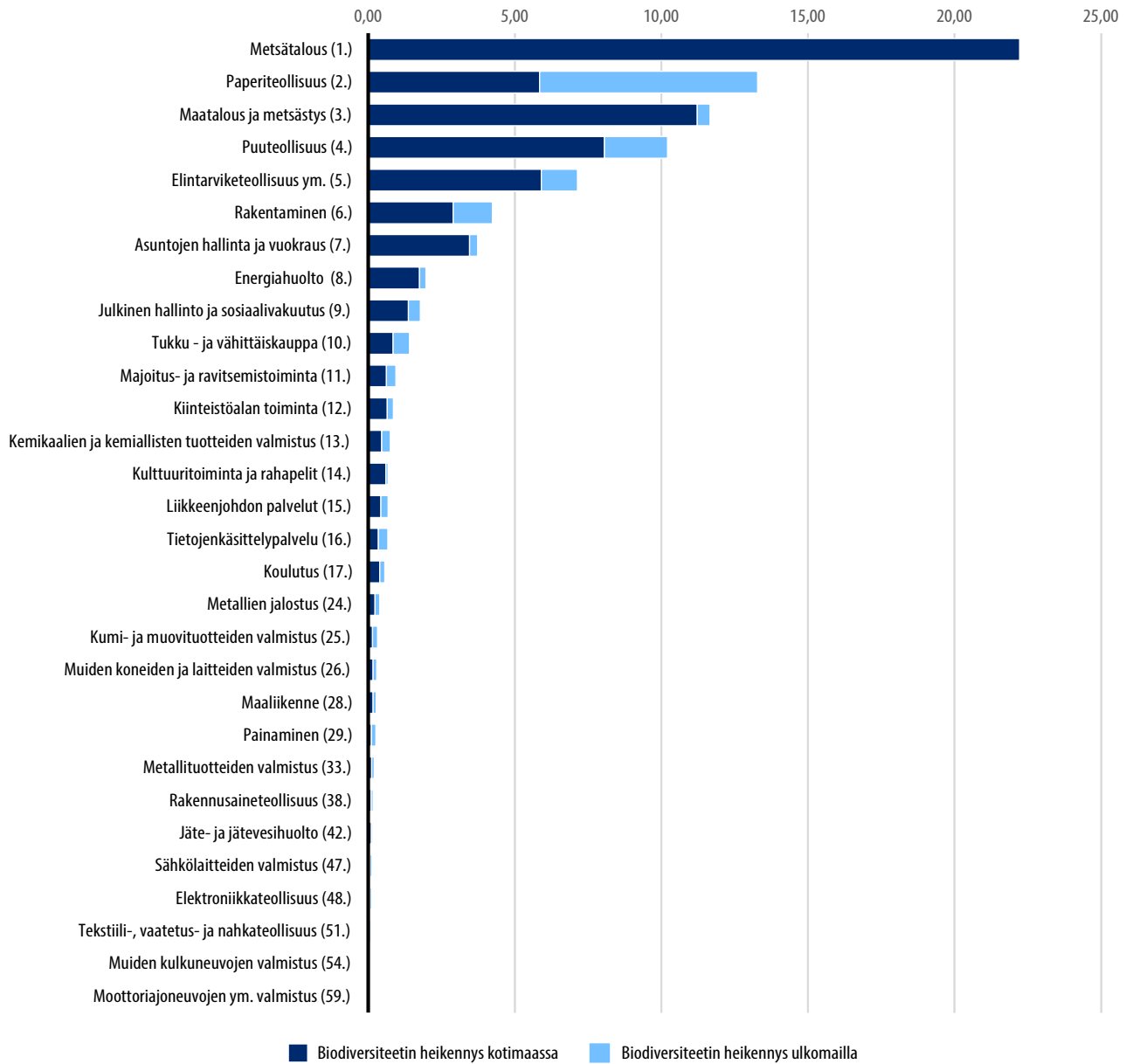
Maankäytön perusteella voidaan arvioida eri toimialojen aiheuttamaa painetta luonnon monimuotoisuudelle. ENVIMAT-mallissa on erilaisiin maanpeiteluokkiin (13 kpl) kytketty keskimääräistä lajirunsautta kuvaavat karakterisointikertoimet (MSA, mean species abundance, Alkemade ym., 2009), jotka on esitetty liitteessä 3. Esimerkiksi vanhat metsät saavat suurimman MSA-arvon, kun taas keinotekoiset pinnat saavat pienimmän arvon. Kyseessä ovat globaalit kertoimet, joiden avulla voidaan huomioida sekä suora kotimainen että tuontituotteiden valmistamiseen liittyvä maankäyttö. MSA-kertoimet eivät kuitenkaan erottele erilaisia biotooppeja, joten mallinnuksen tulos on varsin karkea. Luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen voidaan laskea muuttamalla MSA-kertoimet eri maanpeitteiden biodiversiteettiä heikentävään muotoon¹⁵. Toimialojen tuotantotoiminnan vaikutus biodiversiteettikatoon aiheutuu siis kahden tekijän yhteisvaikutuksesta: suoraan ja välillisesti käytetyn maa-alan määrästä ja käytetyn maan maanpeiteluokista.

Kuvassa 6 on esitetty tärkeimmät biodiversiteettikatoon vaikuttavat toimialat sekä tämän raportin kannalta keskeiset toimialat. Eniten biodiversiteettikatoa aiheuttavat toimialat ovat pitkälti samoja kuin suurimmat maankäytön toimialat: metsä- ja maatalous sekä niiden tuotteita hyödyntävät toimialat (paperi- ja puuteollisuus, elintarviketeollisuus). Lisäksi rakentaminen ja asuntojen hallinta ja vuokraus ovat tärkeimpien luonnon monimuotoisuutta heikentävien toimialojen joukossa. Kiertotaloustoimien kohdistaminen näihin toimialoihin saattaa vähentää luonnon monimuotoisuudelle aiheutuvaa painetta.

Biodiversiteettikato kohdistuu maankäytön kautta etenkin kotimaahan. Painetta aiheutuu kuitenkin myös ulkomailla tuontituotteiden valmistamiseen liittyvän maankäytön seurauksena. Suurimman paineen ulkomailla aiheuttavat paperiteollisuus, puuteollisuus, rakentaminen ja elintarviketeollisuus.

¹⁵ MSA-kertoimet vaihtelevat välillä 0–1, jossa arvo 1 on keskimääräinen lajirunsaus luonnontilaisessa ekosysteemissä. Luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen saadaan yhtälöstä $BDLoss = 1 - MSA$. Mitä suuremman arvon $BDLoss$ -indeksi saa, sitä pienempi on maanpeiteluokan lajirunsaus.

Kuva 6. Toimialojen vaikutus biodiversiteettikatoon vuonna 2015, indeksi. Suluissa toimialan järjestysnumero biodiversiteettikadon osalta 63 toimialan kokonaisuudessa.



3.5 Kotitalouksien kulutuksen kasvihuonekaasupäästöt ja raaka-aineiden käyttö

Kiertotalouteen kytkeytyy tuotantotoiminnan lisäksi myös tuotteiden ja palveluiden loppukäyttö. Tietyillä kiertotalouden osa-alueilla mahdollisuudet ympäristövaikutusten pienentämiseen liittyvät kotitalouksien kulutustapoihin ja -tottumuksiin. Tämä korostuu etenkin sellaisissa hyödykeryhmissä, joiden valmistuksen ympäristökuormitus on suurta, mutta kotimaista tuotantoa ei juurikaan ole.

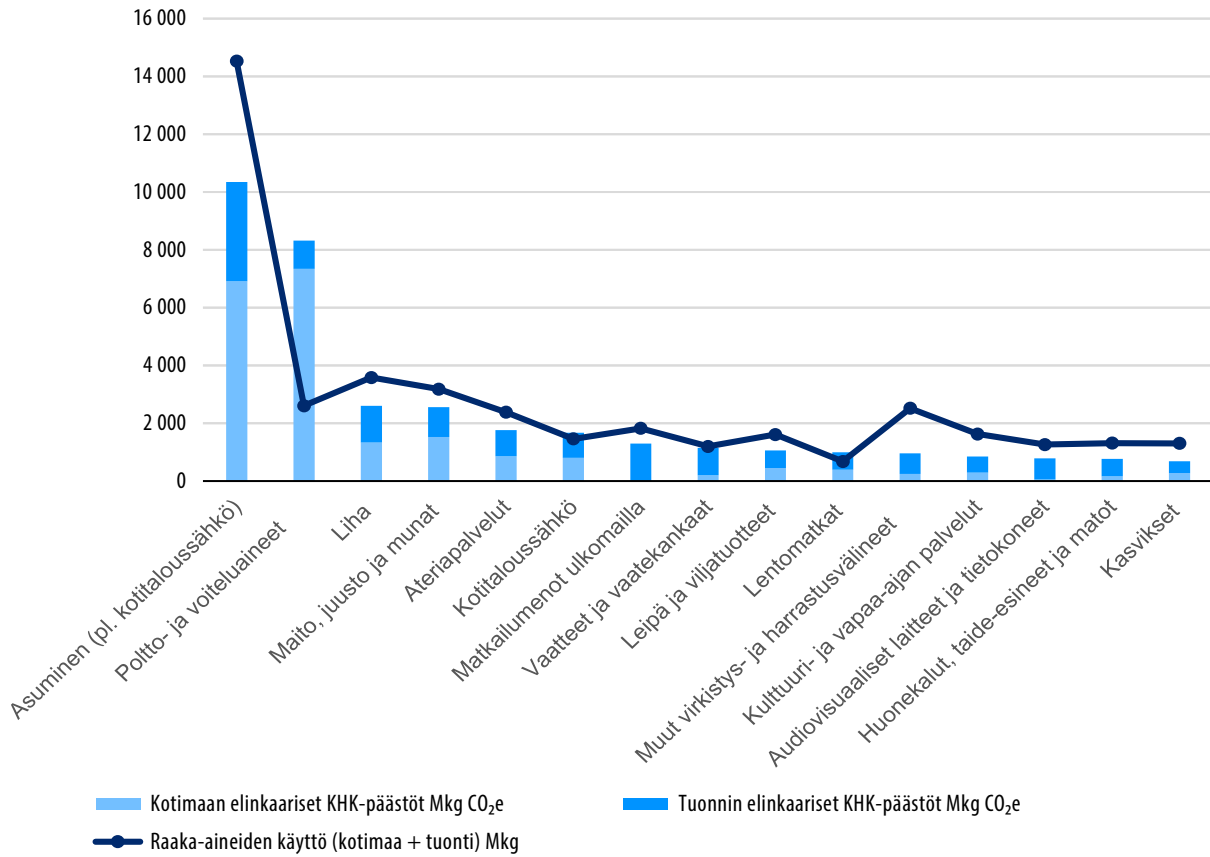
Kuvassa 7 esitetään kotitalouksien kulutuksen elinkaariset KHK-päästöt 15 merkittävimmälle hyödykeryhmälle¹⁶ vuonna 2015. Hyödykeryhmän elinkaariset KHK-päästöt sisältävät kotimaan ja tuonnin elinkaariset KHK-päästöt. Kuvasta 7 selviää, että kulutuksen elinkaariset KHK-päästöt ovat suuria etenkin asumiseen ja polttoaineisiin liittyen. Osuus yhteenlasketuista kulutuksen aiheuttamista elinkaarista KHK-päästöistä on asumiselle¹⁷ 21 % ja polttoaineille 17 %. Myös liha- ja maitotuotteiden (yhteensä 10 %) sekä vaatteiden (2 %) osuus korostuu suhteessa moniin muihin kulutuskohteisiin. Kuva 7 sisältää myös tiedon kotitalouksien kulutuksen synnyttämästä raaka-aineiden käytöstä, joka mukailee pitkälti KHK-päästöjä. Asuminen, liha- ja maitotuotteet, polttoaineet, vaatteet sekä elektroniikka ovat myös raaka-aineisiin liittyvän tarkastelun kärkipäässä.

Tiettyjen tuoteryhmien, kuten vaatteet ja elektroniikka (ks. kuva 7), kulutushyödykkeet ovat pääasiassa tuontituotteita, jolloin tarkastelu Suomessa tapahtuvan tuotantotoiminnan kautta ei ole mielekästä. Kulutusperusteinen tarkastelu on perusteltua myös liikkumisessa ja asumisessa, joissa yhteiskäyttö- ja jakamisratkaisuja hyödyntämällä voitaisiin pienentää liikkumisen ja asumisen aiheuttamia ympäristökuormituksia.

¹⁶ ENVIMAT-malli tuottaa tulokset yhteensä 62 hyödykeryhmälle.

¹⁷ Ei sisällä kotitaloussähköä, vaan tämä on erillisenä hyödykkeenä mallissa.

Kuva 7. Kotitalouksien kulutuksen elinkaariset (kotimaa ja ulkomaat) KHK-päästöt ja raaka-aineiden käyttö hyödykeryhmittäin vuonna 2015.





4 Kiertotalouden osa-aluekohtaiset arvioinnit kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen mahdollisuuksista

4.1 Arviointimenetelmä

Selvityksen tavoitteena on arvioida kiertotaloustoimenpiteiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämispotentiaalia keskittyen kotimaahan. Arviointityö perustuu neljään kokonaisuuteen: i) kunkin kiertotaloustoimenpiteen tunnistettuun käyttöönoton tasoon ja potentiaaliin Suomessa, ii) aikaisempaan kansalliseen ja kansainväliseen tutkimuskirjallisuuteen, iii) asiantuntija-arvioihin ja työpajoihin (ks. liite 4) sekä iv) omiin laskelmiin (ml. ENVIMAT). Näiden yhdistelmänä saadaan luotua laadullinen arvio viisiportaisella asteikolla (0–4) kunkin toimenpiteen kotimaisesta päästövähennyspotentiaalista oman osa-alueensa sisällä. Matalin arvio 0 kuvaa tilannetta, jossa toimenpiteellä ei havaita vähentävää vaikutusta KHK-päästöihin ja korkein arvio 4 tarkoittaa, että toimenpiteellä on erittäin hyvä potentiaali KHK-päästövähennyksiin omalla osa-alueellaan.

Arviointityön rajoituksista

Esitettyihin arvioihin kiertotaloustoimenpiteiden KHK-päästövähennyspotentiaaleista liittyy erilaisia epävarmuuksia ja rajoituksia. Toteutettua arviointia hankaloittavat etenkin tietopuutteet eri kiertotaloustoimenpiteiden käyttöönoton tasosta ja tulevaisuuden kehityksestä. Lisäksi selvityksessä käytetty arviointimenetelmä pohjautuu vahvasti aikaisempaan tutkimuskirjallisuuteen, joka on kiertotalouden päästövähennysten suhteen hajanaista ja monilta osin myös puutteellista. Esimerkiksi systemaattisia vertailuja eri kiertotaloustoimenpiteiden päästövaikutuksista on vähän, eikä niissä ole yleensä tarkasteltu Suomen tilannetta (ks. esim. Ramboll, 2020 ja luku 2.2).

Selvitys pysyttelee pitkälti laadullisella tarkastelutasolla. Tietopuutteiden ja hankkeen laajuuden vuoksi määrällisiä arvioita on esitetty vain osalle toimenpiteistä. Esitetyt määrälliset arviot pohjaavat aikaisempaan tutkimuskirjallisuuteen ja omiin laskelmiin.

Osa-aluekohtaisten tarkastelujen yhteydessä esitellään myös toimialan elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista (ks. esim. kuva 8). Nämä ENVIMAT-mallilla laske-
tut tiedot esitetään niille osa-alueille, joille lähestymistapa kotimaisen tuotantotoiminnan
kautta on mielekästä. Elinkaariset kasvihuonekaasupäästötiedot lisäävät ymmärrystä mm.
kiertotaloustoimenpiteen päästövaikutusten jakautumisesta kotimaan ja ulkomaiden vä-
lillä ja kytköksistä muihin toimialoihin.

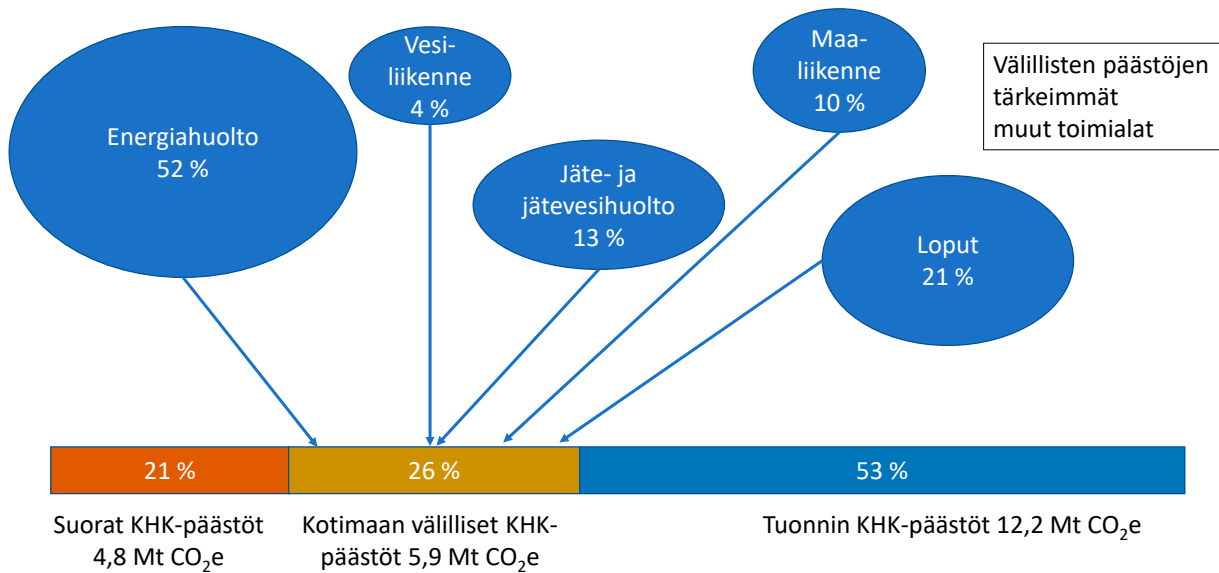
4.2 Metalliteollisuus

Metalleja käytetään yhteiskunnassa laajasti esimerkiksi rakentamisessa, kulkuvälineissä,
työkoneissa, työkaluissa ja elektroniikassa. Metallien päätyminen lopputuotteeseen on pit-
kän prosessin tulos aina kaivos- ja rikastustoiminnasta, metallien jalostuksen kautta loppu-
tuotteiden valmistukseen asti. Kirjallisuudessa metalliteollisuus on tunnistettu kiertotalou-
den kannalta lupaavana osa-alueena (ks. esim. Material Economics, 2018; Sitra, 2014), jossa
kiertotaloutta voidaan toteuttaa kierrätys- ja sivuvirtojen hyödyntämisen, materiaalitehok-
kuuden parantamisen, teollisten symbioosien ja kiertotalousliiketoimintamallien avulla.

Metalliteollisuus on oleellinen osa Suomen kansantaloutta. Metalliteollisuuteen kuuluvat
toimialoista metallien jalostus, metallituotteiden valmistus, koneiden ja laitteiden valmis-
tus, moottoriajoneuvojen ja muiden kulkuneuvojen valmistus sekä koneiden ja laitteiden
korjaus, huolto ja asennus. Vuoden 2018 teollisuustuotannon kokonaisarvosta metalliteol-
lisuuden tuotteiden osuus oli 43 % eli 39,3 miljardia euroa. Tästä liki puolet kattoi konei-
den ja laitteiden myynti, metallien ja metallituotteiden valmistus 39 % ja kulkuneuvojen
valmistus 13 % (Tilastokeskus, 2019). Metalliteollisuuden toimialat kuuluvat myös Suomen
merkittävimpiin päästölähteisiin (ks. kuva 3) ja toimialakokonaisuus on erittäin materi-
aali-intensiivinen (Koskela ym., 2013b). Kuva 8 esittelee metalliteollisuuden elinkaaristen
KHK-päästöjen muodostumisen. Suorat KHK-päästöt, jotka syntyvät teollisuuslaitoksissa,
kattavat noin viidesosan toimialan elinkaarista päästöistä, ja näistä päästöistä selkeä osa
muodostuu metallinjalostuksen energiaperäisistä päästöistä (ks. alaviite 7, s. 22). Kotimaan
välillisissä päästöissä puolestaan nousevat esille toimialoista energiahuolto, jäte- ja jäteve-
sihuolto sekä maa- ja vesiliikenne¹⁸. Metalliteollisuuden kohdalla korostuvat korkeat tuon-
tipanosten käytöstä aiheutuvat KHK-päästöt, jotka kattavat hieman yli puolet koko toimi-
alan elinkaarista päästöistä.

¹⁸ Kotimaisen kaivostoiminnan osuus on vain 2 % kotimaan välillisistä päästöistä.

Kuva 8. Metalliteollisuuden¹⁹ elinkaariset KHK-päästöt 22,9 Mt CO₂e vuonna 2015.



Taulukossa 3 on esitetty arvio viiden kiertotaloustoimenpiteen suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista metalliteollisuuden toimialalla. Tarkasteltavat toimenpiteet ovat kierrätysmetallien hyödyntäminen, materiaalitehokkuuden parantaminen, CCU, metallien käytön optimointi sekä komponenttien ja osien uudelleenkäyttö. Suomessa suurimmat päästövähennyspotentiaalit on arvioitu olevan kahdella jälkimmäisellä. Kierrätysmetallien hyödyntämisen päästövähennyspotentiaali kohdistuu metallien valmistuksen suoriin KHK-päästöihin ja tuonnin elinkaarisiin KHK-päästöihin, kun taas metallien käytön optimointi ja uudelleenkäyttö kohdistuvat näiden lisäksi myös kotimaan välillisiin päästöihin ja ovat KHK-päästövähennysvaikutuksiltaan suurempia, koska niiden avulla pystytään vähentämään metallien valmistustarvetta.

19 Metalliteollisuus sisältää mallinnuksessa seuraavat toimialaryhmät: metallien jalostus, metallituotteiden valmistus, muiden koneiden ja laitteiden valmistus, moottoriajoneuvojen ym. valmistus, muiden kulkuneuvojen valmistus, koneiden ja laitteiden korjaus, huolto ja asennus.

Taulukko 3. Arvio metalliteollisuuden kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista.

Kiertotaloustoimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Kierrätys-metallien hyödyntäminen		Kierrätysmetallien käytöllä voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä neitseellisistä raaka-aineista valmistettuihin metalleihin verrattuna (Material Economics, 2018, 2019).
*rauta ja teräsromu	1 matala	Neitseellisen rautamalmin korvaaminen kierrätysraaka-aineella voi pienentää teräksenvalmistuksen päästöjä merkittävästi (Broadbent, 2016). Globaalisti tehokkaan kierrätysmetallien hyödyntämisen on arvioitu pienentävän terästeollisuuden päästöjä noin 20 % vuoteen 2050 mennessä (Material Economics, 2018). Suomessa rauta- ja teräsromun potentiaaliset lisäysmäärät ovat niin vähäisiä, ettei niiden avulla voida merkittävästi lisätä romun käyttöä rauta- ja terästeollisuutemme tuotantopanoksena (Seppälä ym., 2000; Tilastokeskus, 2020).
*metallit jätäjakeissa	2 kohtalainen	Etenkin prosessiteollisuuden jätäjakeissa on vielä suurehkoja metallimääriä, mutta niiden erottelu odottaa vielä teknisiä innovaatioita (Seppälä ym., 2000). Elektroniikkaromussa on paljon erilaisia metallijakeita vielä hyödyntämättä (CircHubs, 2020).
Materiaalitehokkuuden parantaminen (valmistuksessa)	2 kohtalainen	Materiaalitehokkuutta parantamalla ja kiertotalouden liiketoimintamalleilla ²⁰ on arvioitu saavutettavan EU-tasolla lähes 30 % päästövähennykset perusuraan verrattuna vuoteen 2050 mennessä (Material Economics, 2019). Suomalainen metalliteollisuus on kansainvälisesti vertailtuna hyvin materiaalitehokasta (Takayabu ym., 2019). Esim. SSAB:n sivuvirroista noin puolet kierrätetään omaan tuotantoon, kolmannes myydään ulkopuolisille asiakkaille ja vain 5 % päätyy kaatopaikalle (SSAB, 2020).
Metallien käytön optimointi	3 hyvä tai 4 erittäin hyvä	Tiedot toimenpiteen käyttöönoton tasosta ovat puutteellisia. Arvioinnissa on oletettu, että Suomen käyttöönoton taso on samansuuntainen kuin kansainvälisesti keskimäärin (Material Economics, 2018, 2019) eli metallien käytön optimoinnissa on parantamisen varaa.

20 Material Economicsin (2019) esittämään skenaarioon sisältyvät myös kiertotalouden liiketoimintamallit, joilla pienennetään teräksen loppukysyntää. Arviossa ei ole kerrottu, mikä osuus päästövähennyksistä liittyy materiaalitehokkuuden parantamiseen ja mikä liiketoimintamalleihin.

Kiertotalous-toimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennys-potentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Komponenttien ja osien uudelleenkäyttö	3 hyvä tai 4 erittäin hyvä	Tiedot toimenpiteen käyttöönoton tasosta ovat puutteellisia. Arvioinnissa on oletettu, että Suomen käyttöönoton taso on samansuuntainen kuin EU:ssa keskimäärin (Material Economics, 2018, 2019) eli komponenttien ja osien uudelleenkäytössä on edelleen parantamisen varaa.
CCU (hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö)*	2 kohtalainen (tulevaisuudessa)	Hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö on yksi tulevaisuuden ratkaisuista, joilla metallienjalostuksen päästöjä saadaan vähennettyä, mutta teknologian päästövähennyspotentiaali on varovaisen arvion mukaan kohtalaisen rajattu (Ghanbari ym., 2015; Pöyry, 2020a).

* CCU käsitellään tarkemmin metsäteollisuuden (luku 4.4) yhteydessä.

Metallien kierrätyksellä saavutetaan pääsääntöisesti merkittäviä kasvihuonekaasuhyötyjä neitseelliseen raaka-aineeseen nojautuvaan valmistusprosessiin nähden, mikäli metallien kierrätys onnistuu helposti (Broadbent, 2016; Material Economics 2018). Suomessa päätuoteluonteisia valmistettavia metalleja ovat (rauta ja) teräkset, ferrokromi, ruostumattomat teräkset, sinkki, kupari – ja sen seoksista muun muassa pronssit, messingit, nikkelikuparit –, nikkeli sekä alumiini (joka valmistetaan romusta). Yleisesti ottaen kaikki käyttökelpoinen saatavilla oleva metalliromu käytetään Suomessa hyödyksi metallijalosteiden valmistuksessa. Ainoastaan tuotteiden käytöstä poistamisessa syntyvä romu, ns. lopputuoteromu, muodostaa romuryhmän, jonka talteenottoa on jossain määrin mahdollista tehostaa erityisesti muiden kuin rauta- ja teräsromun osalta. Kaiken kaikkiaan lopputuoteromun potentiaaliset lisäysmäärät ovat siten niin vähäisiä, ettei niiden avulla voida merkittävästi lisätä romun käyttöä metallien jalostusteollisuutemme tuotantopanoksena. Romun käytön selvä lisääminen onnistuu Suomessa vain kasvattamalla romun tuontia. (Seppälä ym., 2000.)

Kierrätysmetallin keruun tehostamisen tulisi kohdistua metallinjalostusteollisuuden käyttämättömien jätevirtojen ja erityisesti sähkö- ja elektroniikkaromun erikoismetallien metallijakeiden kierrättämiseen. Vaikka erikoismetallien kierrätyspotentiaalit ovat tonneina vähäisiä valtametalleihin nähden, niin kierrätysyödyt KHK-päästöissä ovat suuret (esim. Söderholm ja Ekvall, 2020).

Suomessa metallijalosteiden valmistusvaiheessa syntyvien jättejakeiden määrät ja hyötykäyttöasteet vuonna 1997 on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Metallijalosteiden valmistusvaiheessa syntyvien jätteiden määrät ja hyötykäyttöasteet vuonna 1997 (Seppälä ym., 2000).

Jätejae	Määrä (t)	Hyödyntämisaste (%)
masuuni- ja teräskuonat	1 360 000	84
kupari- ja nikkelituotannon kuonat	488 000	10
jarosiitti (rautasakka)	117 000	0
muut sakat ja lietteet	144 000	<5 (arvio)
pölyt (sis. osan lietteistä)	135 000	50
hilseet	97 000	33
teollisuus/yhdyskuntajätteet	41 000	16
tulenkestävät materiaalit	11 000	5
rakennus- ja purkujätteet	1 800	11

Metallijätteiden hyödyntämistilanne lienee jonkin verran parantunut vuodesta 1997, mutta edellä mainittu arvio antaa kuitenkin suuntaa siitä, missä tehostamisen varaa olisi.

Sivutuotteet säästävät ympäristöä samalla tavalla kuin hyötykäyttöön menevät jätteet; niiden avulla vältetään toiminnoilta, joita muutoin tehtäisiin ilman sivutuotteita ja hyödynnettäviä jätteitä. Metallijalosteiden elinkaariarvioinneissa kuonat, rikkihappo, jäte- lämpö, sähköenergia ja koksamon sivutuotteet (kivihiiliterva, bentseeni ja rikki) on käsitelty hyvitettävänä sivutuotteina. Niiden hyödyntäminen vähentää ympäristöön joutuvia kokonaispäästöjä. KHK-päästöjen näkökulmasta olisi parasta, jos metallijätettä ei syntyisi, ja jätteiden synnyn ehkäisy onnistuisi materiaalitehostumisen myötä (esimerkiksi uudet prosessi-innovaatiot). Kokonaisuudessaan materiaalitehokkuuden parantamisen päästö- vähennyspotentiaalin on arvioitu olevan korkeintaan kohtuullinen metallijalosteiden valmistuksessa, sillä Suomessa metalliteollisuuden prosessit kuuluvat jo tällä hetkellä maailman tehokkaimpiin, jätettä minimoidaan ja sivuvirtojen hyödyntäminen on hyvällä tasolla (SSAB, 2020; Takayabu ym., 2019).

Kierrätysmetallien tehokas hyödyntäminen

Tehokas kierrätysraaka-aineen hyödyntäminen metalliteollisuudessa vaatii kattavan ja toimivan kierrätysjärjestelmän. Suomessa tavanomainen romurauta kiertää erinomaisesti ja sen materiaalihyödyntämisen aste on lähes 100 % (Tilastokeskus, 2020). Tehokkaan metallien kierrätysjärjestelmän luominen ei kuitenkaan tarkoita pelkästään metallien keräyksen ja kierrätysasteen parantamista, vaan ajattelussa täytyy päästä kohti koko arvoketjun huomioivaa tuotesuunnittelua. Tämä ei ole helppo tehtävä, sillä nykyiset tuotteet ovat monimutkaisia ja sisältävät paljon eri metalleja. Lisäksi arvoketjut ovat pitkiä ja arvoketjuyhteistyö on monin paikoin puutteellista. Esimerkiksi moderni auto sisältää lähes kaikkia saatavilla olevia metalleja. Optimaalinen tuotesuunnittelu ottaakin huomioon loppuvaiheen kierrätyksen ja jätteenkäsittelyn lisäksi myös tehokkaan osien erottelun sekä fyysiset ja metallurgiset prosessit, joita tarvitaan metallien talteenottoon taloudellisesti kannattavalla tavalla (Reuter ym., 2013).

Teräksen loppukysyntää pienentävät kiertotaloustoimenpiteet ja -liiketoimintamallit ovat erittäin olennaisia päästövähennysten näkökulmasta, ja näillä on arvioitu saavutettavan EU:ssa noin 30 % päästövähennys teräksen käytössä vuoteen 2050 mennessä (Material Economics, 2019). Loppukysyntää pienentävissä toimenpiteissä keskeisiä ovat komponenttien ja osien uudelleenkiyttö sekä metallien käytön optimointi lopputuotteessa, joka kattaa esimerkiksi materiaalien käytön minimointiin ja kierrätettävyyteen pyrkivän tuotesuunnittelun, ylivahvojen tuotteiden valmistamisen välttämisen ja lopputuotteiden keventämisen.

Suomessa on monipuolinen konepajateollisuus, jossa on jo käytössä erilaisia kiertotalouden liiketoimintamalleja. Esimerkiksi varaosien myynti ja kunnostus sekä kokonaisten laitteiden kunnostus on ollut työkoneiden valmistajilla tapana jo vuosikymmenten ajan ja yleisesti palvelullistaminen on ollut kasvamaan päin viime aikoina (Sitra, 2014; Teollisuusliitto, 2020). Toisaalta metalliteollisuudessa uudelleenkiyttöön ja materiaalinkäytön optimointiin tähtäävien toimenpiteiden käyttöönoton saralla on tunnistettavissa vielä parantamisen varaa ja liiketoimintamahdollisuuksia (Teollisuusliitto, 2020). Täten päästövähennyspotentiaalin on arvioitu olevan vähintään hyvää tasoa metallien käytön optimointiin sekä komponenttien ja osien uudelleenkiyttöön liittyen.

Jos oletetaan, että kiertotalouden kahdella jälkimmäisellä toimenpidealueella (metallien käytön optimointi sekä komponenttien ja osien uudelleenkiyttö liiketoimintamalleineen)

olisi mahdollista vähentää metallien käyttöä esim. 20 %, tarkoittasi se Suomen metalliteollisuuden elinkaarisissa päästöissä jopa 4 Mt CO₂e päästövähennystä (kuva 6). Todellisuudessa Suomen päästöt eivät välttämättä laskisi, koska uudet liiketoimintamallit metalliteollisuudessamme saattaisivat lisätä vientiä ja kotimaan aktiviteetti voisi säilyä samana. Globaalisti tilanne olisi kuitenkin myönteinen KHK-päästöjen vähentämisen näkökulmasta.

Uudet vetypelkistysteknologiat teräksen valmistuksessa voivat poistaa tulevaisuudessa suorat prosessi- sekä energiaperäiset päästöt lähes kokonaan. Tätä teknologiaa ei voi kuitenkaan laskea kiertotaloustoimeksi. Lisäksi vetypelkistysteknologiat ovat vielä kehittyviä ja vaativat paljon uusiutuviin energiamuotoihin perustuvaa sähköntuotantoa. Pidemmällä tähtäimellä (2030-luvulta alkaen) vetypelkistys on kuitenkin yksi lupaavimmista keinoista pienentää metalliteollisuuden päästöjä (Material Economics, 2019; RESCUE, 2019). Vetytelkistys on tunnistettu Suomessa erittäin potentiaaliseksi teknologiaksi, ja Suomi voi olla yksi teknologian käyttöönoton edelläkävijöistä (Yle uutiset, 2019).

4.3 Rakentaminen ja kiinteistöjen käyttö

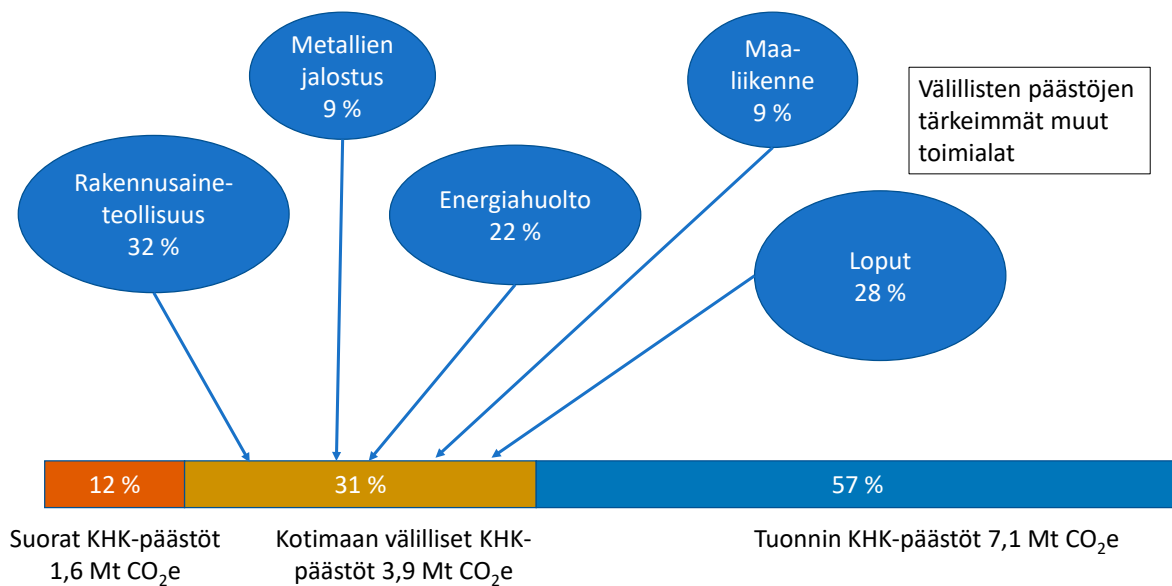
Rakennusteollisuus ja rakennetun ympäristön ylläpito ovat tärkeä osa Suomen kansantaloutta ja toimivat työllistäjänä joka viidennelle Suomen työllisistä (Rakennusteollisuus, 2020). Rakennusala on myös erittäin linkittynyt muihin toimialoihin, sillä se käyttää monipuolisesti välituotteita ja palveluita muilta toimialoilta. Kiertotalouden näkökulmasta rakentaminen on jo tänä päivänä tärkeä osa kansallista kiertotaloutta muun muassa korjausrakentamisen ja purkujätteen kierrätyksen kautta (Simons ym., 2018). Parantamisen varaa on kuitenkin vielä selvästi ja rakennus- ja kiinteistöalalla on paljon potentiaalia erilaisten kiertotalousratkaisujen käyttöönottajana. Keskeisiksi tunnistettuja kiertotaloustoimenpiteitä ilmasto- ja ympäristövaikutusten pienentämiseksi ovat rakennusten käyttöiän pidentäminen, muuntojoustavuuden lisääminen, sekundääristen raaka-aineiden hyödyntäminen, rakennusjätteen pienentäminen ja purkujätteen parempi hyödyntäminen sekä jakamistalouden ratkaisut (Material Economics, 2018).

Rakentaminen ja asuminen ovat merkittäviä KHK-päästölähteitä kansallisesti (ks. kuva 2) ja maailmanlaajuisesti. Lisäksi rakentaminen on tunnistettu toimialoista suurimmaksi raaka-aineiden käyttäjäksi (Herczeg ym., 2014; Koskela ym., 2013a). Rakentamisen toimialan²¹ elinkaariset KHK-päästöt vuonna 2015 olivat 12,5 Mt CO₂e (ks. kuva 9), joista yli puolet (57 %) muodostui tuontipanosten käytöstä. Kotimaan välillisissä päästöissä nousevat esille toimialoista rakennusaineteollisuus, energiahuolto ja metallien jalostus. Siirryttäessä

21 Rakentamisen toimiala sisältää talonrakentamisen (uudis- ja korjausrakentaminen), maa- ja vesirakentamisen ja erikoistuneen rakennustoiminnan (esim. purkutoiminnan).

toimialatasoisesta tarkastelusta rakennustasolle on havaittu, että uusien energiatehokkaiden rakennusten elinkaarisista päästöistä noin puolet syntyvät itse rakentamisesta ja rakennusmateriaaleista ja noin puolet käytönaikaisesta energiankulutuksesta (Kangas ym., 2019). Rakennusmateriaalien tuotannosta aiheutuneiden päästöjen vaikutus on sitä merkittävämpi, mitä energiatehokkaampia rakennukset ovat ja mitä enemmän rakennuksissa hyödynnetään lämmitysenergianlähteenä vähäpäästöisiä energiamuotoja. Energiantuotannon päästöjen vähentyessä rakennusmateriaalien päästöjen vaikutus korostuu entisestään. Päästöjä syntyy rakennusmateriaaleista etenkin sementin/betonin ja teräksen valmistuksessa (Raivio ym., 2020). Rakentaminen aiheuttaa myös suoran ja välillisen maankäytön vuoksi metsäkatoa, joka näkyy Suomen KHK-päästöinventaariossa noin 0,7 Mt CO₂e suuruisena vuosipäästönä (Statistics Finland, 2019).

Kuva 9. Rakentamisen elinkaariset KHK-päästöt 12,5 Mt CO₂e vuonna 2015.



Taulukossa 5 on käyty läpi rakentamisen ja kiinteistöjen käytön osa-alueella keskeisiä kiertotaloustoimenpiteitä ja niiden päästövähennyspotentiaalia. Rakennusmateriaaleista tarkemmin perehdytään sementin ja betonin sekä puun mahdollisuuksiin.

Taulukko 5. Arvio rakentamisen ja kiinteistöjen käytön kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista.

Kiertotaloustoimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Betonijätteen hyödyntäminen maarakentamisessa	1 matala tai 0 ei vaikutusta tai 2 kohtalainen (karbonatisoituminen)	Suomessa varsin laajasti käyttöönotettu toimenpide, sillä noin 80 % betonijätteestä kierrätetään ja hyödyntäminen on valtaosin käyttöä maantäyteaineena (Betoniteollisuus, 2019; Raivio ym., 2020). Betonijätteen maarakennuskäytön kasvihuonekaasupäästötasetta voidaan parantaa murskaamalla betonijäte ja pitämällä murskattuna vuosia ilman kanssa kosketuksissa. Tällä tavalla jopa 25 % sementin valmistusprosessin CO ₂ -päästöistä sitoutuu takaisin betoniin (karbonatisoituminen) (Cembureau, 2020).
Betonijäte ohjataan uudelleenvalmistukseen	2 kohtalainen tai 1 matala	Tiedot toimenpiteen käyttöönoton tasosta ja päästövähennyspotentiaalista ovat puutteellisia. Suomessa on kuitenkin oletettavasti potentiaalia uudelleenvalmistuksen lisäämisessä (Raivio ym., 2020). Kirjallisuudessa esiintyy vaihtelevia arvioita uudelleenvalmistuksen päästövähennyspotentiaalista (Ramboll, 2020; Raivio ym., 2020). Kun betonijätettä käytetään uuden betonin valmistuksessa, sementtiä tarvitaan vähemmän ja päästöt voivat olla alhaisemmat (Raivio ym., 2020).
Betonin materiaalikäytön optimointi	3 hyvä tai 4 erittäin hyvä	Tiedot toimenpiteen käyttöönoton tasosta ovat puutteellisia. Arvioinnissa on oletettu, että käyttöönoton taso Suomessa on samansuuntainen kuin EU:ssa keskimäärin eli betonin/sementin käytön optimoinnissa on selkeä lisäyspotentiaali. Betonin materiaalikäytön optimoinnilla on tunnistettu kirjallisuudessa olevan korkea päästövähennyspotentiaali (Material Economics, 2018; Ramboll, 2020).
Betonielementtien uudelleenkäyttö	3 hyvä	Suomessa on paljon potentiaalia lisätä betonielementtien uudelleenkäyttöä, sillä tällä hetkellä se on hyvin vähäistä. On arvioitu, että vuosittain purkukohteiden betonielementeillä voitaisiin tyydyttää rakennettavan omakotitalokannan tarpeet moninkertaisesti (Huuhka ym., 2015). Kirjallisuudessa uudelleenkäytöllä on tunnistettu olevan hyvä päästövähennyspotentiaali (Ramboll, 2020).

Kiertotalous-toimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennys-potentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Klinkkerin korvaaminen muilla sidosaineilla sementinvalmistuksessa	3 hyvä	Klinkkerin osuus sementissä on Finnsementin tuotannossa n. 81 % EU:n keskiarvon ollessa matalampi n. 74 % (Raivio ym., 2020). Vaihtoehtoisia sementin raaka-aineita, kuten kuonaa ja lentotuhkaa, käytetään Suomessa jo jonkin verran (Suomessa 15 %, EU:ssa keskimäärin 13 %) (ibid). Arvioinnissa oletetaan, että korvaamista voidaan vielä lisätä. Klinkkerin korvaamisella on päästövähennyspotentiaalia, mutta arviot vaihtelevat tutkimuksittain 5–20 % välillä (Ali ym., 2011; Raivio ym., 2020; Ramboll, 2020).
Geopolymeerit	4 erittäin hyvä tai 3 hyvä	Sivuvirtoihin perustuvien geopolymeerien käyttö on vielä hyvin vähäistä Suomessa (Illikainen, 2019) ja käytön lisäämiselle on hyvä potentiaali. Geopolymeereillä ei voida korvata betonia kaikissa sovelluskohteissa (arviolta korkeintaan 20 % korvausmahdollisuus). Geopolymeereillä voidaan pienentää päästöjä keskimäärin 40% verrattuna perinteiseen sementtiin (osa teknologioista mahdollistaa suuremmat ja osa pienemmät päästövähennykset) (Illikainen, 2019; Ramboll, 2020).
Metallirakenteiden materiaalikäytön optimointi	4 erittäin hyvä tai 3 hyvä	Huolellisella suunnittelulla teräksen rakenteellista massaa voidaan vähentää uusissa monikerroksisissa teräsrakenteissa jopa 50 % ja lujemman teräslaadun käytöllä voidaan keventää suunniteltavia rakenteita (Raivio ym., 2020). Tiedot toimenpiteen käyttöönoton tasosta Suomessa ovat puutteellisia. Arvioinnissa oletetaan, että Suomen käyttöönoton taso on samansuuntainen kuin EU:ssa keskimäärin (Ramboll, 2020) eli materiaalikäytön optimointia voidaan kasvat- taa selvästi nykyisestä.
Metallirakenteiden uudelleen-käyttö	4 erittäin hyvä	Tiedot toimenpiteen käyttöönoton tasosta Suomessa ovat puutteellisia. EU:ssa rakennusteräsjätteestä hyödynnetään n. 96 %, josta keskimäärin vain 4 % oli uudelleenkäyttöä ja loput kierrätystä (Steel Construction Info, 2012). Arvioinnissa oletetaan, että uudelleenkäyttö on Suomessa hyvin vähäistä, joten lisäyspotentiaalia on merkittävästi. Metallirakenteiden uudelleenkäytön päästövähennyspotentiaalin on arvioitu olevan korkea (Ramboll, 2020).

Kiertotalous-toimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennys-potentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Korvataan betoni- ja teräsrakentamista puurakentamisella	4 erittäin hyvä	Puu on rakennusmateriaalina vähäpäästöisempi kuin betoni ja teräs. Puurakennus voi toimia pitkäaikaisena hiilivarastona ²² . Suomessa puurakentamista voidaan lisätä selkeästi nykyisestä. Suurimmat kasvumahdollisuudet ovat kerrostalo-, julkis-, piha- ja ympäristö- ja lisäkerrosrakentamisessa (Heino, 2019). Esim. asuinkerrostaloista vain n. 5 % on puurakennuksia (Kangas ym., 2019).
Rakennuspuumateriaalin kierrätys ja uusiokäyttö (kaskadi-käyttö)	4 erittäin hyvä	Rakennuspuumateriaalin kierrätys ja uusiokäyttö sisältää merkittävän päästövähennyspotentiaalin tulevaisuudessa, koska Suomessa kerran otettu puuraaka-aine nykyisellään päätyy nopeasti polttoon (ks. perusteet tarkemmin itse tekstissä).
Rakennusten käyttöiän pidentäminen ja korjausrakentaminen	4 erittäin hyvä tai 3 hyvä tai 2 kohtalainen	Pääasiassa rakennukset eivät ole erityisen pitkäikäisiä Suomessa: asuintalojen keskimääräinen purkuikä on 58 v ja muiden rakennusten 43 v (Huuhka ja Lahdensivu, 2016). Rakennusten elinkaaren pidentämisessä on paljon parantamisen varaa. Toimenpide vähentää uudelleenrakentamisen tarvetta tulevaisuudessa ja lisää korjausrakentamisen ja huollon merkitystä rakennuksen elinkaaren aikana. Kirjallisuudesta löytyy sekä maltillisia (Ramboll, 2020) että korkeita arvioita rakennuksen käyttöiän pidentämisen vaikutuksista päästöihin (Material Economics, 2018).
Asuntojen ja toimitilojen käytön optimointi (yhteiskäyttöisyys, pienemmät asunnot, tilojen tehokas käyttö ja muuntojoustavuus)	4 erittäin hyvä tai 3 hyvä tai 2 kohtalainen	Tiedot toimenpiteen käyttöönoton tasosta ovat puutteellisia. Asuinpinta-ala m ² /henkilö on kasvanut etenkin pientaloissa, kun taas rivi- ja kerrostaloasumisessa ollaan pysytty samassa mittaluokassa jo pitkään (Tilastokeskus, 2018). Valtiolla on selkeä tavoite tehostaa omien toimitilojen käyttöä (Valtionvarainministeriö, 2014). Monitiloimistot ovat yleistyneet ja tätä kehitystä halutaan pitää yllä. Asuntojen ja toimitilojen käytön optimoinnissa on kuitenkin edelleen selkeää lisäysoptionaalista. Arviot yhteiskäyttöisten tilojen lisäämisen päästövähennyspotentiaalista ovat suhteellisen matalia (Material Economics, 2018), mutta yhdistettynä yleisesti tilojen käytön optimointiin (esim. downsizing) ja muuntojoustavuuteen voivat päästövähennykset olla merkittävämmät (RESCUE, 2019).

22 Kokonaisvaikutusten arviointiin luo epävarmuutta vaikutukset hiilinieluihin.

Kiertotalous-toimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentialista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Rakennusma- aineksen kierrä- tys ja hyötykäyttö	2 kohtalainen tai 1 matala	Rakennusalueelta poistettavan maa-aineksen hyötykäyttöä voidaan vielä parantaa etukäteissuunnittelun avulla. Tällä vältetään maamassojen kuljetusten, valmistuksen ja maaperän raivauksen päästöjä. Suomessa on maaperäpankkeja, joiden avulla rakennusjättemaata voidaan tarjota toiselle rakennusmaata tarvitsevalle. Toiminnan laajentamiseen on vielä tilaa.

EU:n jätedirektiivin mukaisesti on Valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitteena hyödyntää rakennus- ja purkujätteestä materiaalina 70 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. Kiertotaloustoimena erittäin tärkeää on myös pyrkiä vähentämään rakentamisen jätteiden määrää yleisesti. Talonrakentamisessa arviolta 60 % rakennusjätteistä (ei sisällä maa-aineksiä) kierrätettiin vuonna 2015 (Salmenperä ym., 2016). Merkittävimmät rakennusjätetyypit talonrakentamisen toimialalla ovat olleet betoni- ja puujäte sekä ns. sekalainen jäte. Näistä betonijäte käytetään jo nyt lähes kokonaan maarakentamisessa täyttömaana. Tällainen toiminta kuitenkin kadottaa materiaalin pois kierrosta, jolloin päästövähennykset jäävät alhaisiksi (ks. taulukko 5) ja uudelleenkäyttö tai jalostus uusiomateriaaliksi eivät ole enää mahdollisia.

Rakennus- ja purkujätteen uudelleenkäyttö ja jalostaminen uusiksi materiaaleiksi tuotteiksi on vielä vähäistä (Herczeg ym., 2014). Esimerkiksi murskatusta betonipurkujätteestä voidaan ottaa talteen raekooltaan hienommat osat, joita voisi käyttää sementinvalmistuksen raaka-aineena (Raivio ym., 2020). Päästö- ja raaka-ainekäytön vähennyspotentiaali korkeamman jalostusasteen kiertotaloustoimilla on vääjäämättä suurempi kuin jätteen polttamisella tai käyttämisellä maarakentamisen täyttöaineena. Tutkimustulokset osoittavat, että päästövähennysvaikutukset vaihtelevat kuitenkin tapauskohtaisesti vähäisistä erittäin korkeiksi riippuen mm. käyttökohteesta tai tarkasteltavasta materiaalista (Malmqvist ym., 2018). Tässä selvityksessä betonijätteen ohjaamisen sementinvalmistuksen raaka-aineeksi arvioidaan mahdollistavan korkeintaan kohtalaisia päästövähennyksiä.

Rakennusmateriaalina käytettävä puu toimii hiilivarastona, jos puumateriaalia kerääntyy rakennuskantaan enemmän kuin sitä poistuu. Tällöin puutuotteiden hiilivarasto kasvaa. Jos puutuotteiden hiilivarasto vähenee yhteiskunnassa, puutuotteet toimivat päästölähteenä. Pitkittämällä puumateriaalin säilymistä tuotekäytössä ns. kaskadikäytön avulla lisätään puutuotteiden hiilivarastoa ja -nielua. Suomessa purettava puurakennusmateriaali päättyy käytännössä polttoon, jossa se korvaa osittain fossiilista polttoainetta. Yhteiskunnan edetessä kohti vähähiilistä energiatuotantoa puumateriaali kannattaisi

päästömielessä säilyttää hiilivarastona mahdollisimman pitkään löytämällä sille uusia käyttökohteita ja vasta lopuksi käyttää sitä energiakäytössä fossiilisten polttoaineiden korvaamisessa. Puutuotehiilinielun vahvistamisen lisäksi säästettäisiin hiilinielua metsässä ja vällettäisiin puumateriaalin prosessoinnin päästöt (Seppälä ym., 2019a). Puu- ja kuitupitoisen jätteen energiakäytölle puolestaan tulisi kehittää uusia, vaihtoehtoisia korkeamman jalostusasteen materiaali kierrätyskohteita. Tällaisia voisivat olla raaka-ainekäyttö kemianteollisuudessa, liuottimien ja nestemäisten polttoaineiden valmistuksessa sekä komposiittimateriaalit (Liikanen ym., 2019; Salmenperä ym., 2016). Komposiittimateriaali tulisi kuitenkin pystyä kierrättämään, jotta niiden käytössä kiertotalousperiaate toteutuisi.

Rakennus- ja purkujätteen hyödyntämisen haasteita

Rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistä kiertotaloudessa hidastavat etenkin materiaalien laatuun liittyvät epäilykset, vastuukysymykset, jätteeksi luokittelun päättämisen (EoW) -kriteerit ja muut säädökset. Oleellinen hidastava tekijä on myös huono hintakilpailukyky neitseellisistä raaka-aineista valmistettuja rakennusmateriaaleja ja -tuotteita vastaan, sillä jälkimmäisten hinnat eivät sisällä ympäristöhaittoja läheskään täysimittaisesti. Lisäksi kierrätysrakennusmateriaalien ja -tuotteiden saatavuudessa voi olla haasteita. Tässä ongelmaksi on havaittu etenkin välimatkat ja sopivien markkinapaikkojen puute²³. Lisäksi sääntelyn tulisi mahdollistaa rakennusjätteen turvallinen hyödyntäminen ja jatkojalostaminen.

Sementinvalmistus on erittäin päästöintensiivistä ja sementti on yksi eniten päästöjä aiheuttavista materiaaleista vastaten jopa 7 prosenttia globaaleista KHK-päästöistä (Material Economics, 2018; Zhang ym., 2014). Suomessa sementinvalmistuksen suorat päästöt olivat 0,9 Mt CO₂e vuonna 2017, vastaten noin 2 % tuotantoperusteisista kokonaispäästöistä (Statistics Finland, 2019). Kalsinoitumisprosessissa syntyy yli puolet sementinvalmistuksen KHK-päästöistä, joista ei pääse eroon energiatehokkuudella tai päästöttömillä energiantuotantomuodoilla (Ali ym., 2011; International Energy Agency, 2018). Päästöjen pienentämiseksi sementtiteollisuudessa on olemassa erilaisia ratkaisuja, joilla pystytään suoraan vaikuttamaan valmistuksen päästöihin kotimaassa. Materiaalitehokkuusnäkökulmasta

23 Materiaalitori on kohtaamispaikka jätteiden ja sivuvirtojen tuottajille ja hyödyntäjille. Se on erikoistunut yritysten ja organisaatioiden jätteiden ja tuotannon sivuvirtojen ammattimaiseen vaihdantaan. Lisätietoa Materiaalitorista on saatavilla: <https://www.materiaalitori.fi/>.

yksi lupaavimmista päästövähennystoimista on pienentää klinkkerin osuutta sementissä sekoittamalla sementtiin muita sidosaineita, kuten metalliteollisuuden tuhkia ja kuonia, lasi- ja mineraalivilloja, tai kaivosteollisuuden rikastushiekkoja (Adesanya ym., 2018; Ali ym., 2011; Luukkonen ym., 2018; Material Economics, 2018). Suomessa pystytään arvioiden mukaan pienentämään sementintuotannon päästöjä vaihtoehtoisten sidosaineiden käytöllä hyvin. Raivio ym. (2020) arvioivat päästövähennyspotentiaalin olevan vajaat 20 % nykyisestä.

Suomessa on myös kehitetty uudenlaista ”ekobetonia”, jonka valmistuksessa saadaan epä-organiset jätteet ja sivuvirrat hyötykäyttöön²⁴. ”Ekobetoni” eli geopolymeeri valmistetaan alkaliaktivaattorin avulla ilman polttoa. Asiantuntija-arvion mukaan geopolymeereillä voidaan pienentää päästöjä keskimäärin 40 % verrattuna perinteiseen sementtiin (osa teknologioista mahdollistaa suuremmat ja osa pienemmät päästövähennykset)²⁵. On kuitenkin huomioitava, ettei sivuvirroista valmistetuilla geopolymeereillä pystytä korvaamaan kuin osa sementin- ja betonivalmistuksesta (alustavan arvion mukaan korkeintaan 20 %). Ratkaisulla on kuitenkin Suomessa paljon potentiaalia, sillä osaamista on²⁶ ja valmistuksessa hyödynnettäviä sivuvirtoja on hyvin saatavilla. Täten geopolymeerien päästövähennyspotentiaalin on arvioitu olevan vähintään hyvää tasoa.

Korvaavien sidosaineiden ja geopolymeerien käyttöönoton haasteita

Vaihtoehtoisten raaka-aineiden saatavuus (riittävyys ja sijainti) sekä kustannuskilpailukyky voivat rajoittaa klinkkerin korvaamista sementinvalmistuksessa. Geopolymeerien kaupallinen läpimurto ei ole vielä tapahtunut ja niiden käyttökohteet ovat rajoitetumpia kuin perinteisten ratkaisujen. Rakentaminen on hyvin säädeltyä, ja vaihtoehtoiset materiaalit eivät ole vielä mukana kaikissa säädöksissä ja standardeissa (Raivio ym., 2020). Lisäksi vaihtoehtoiset ratkaisut ovat vielä kehittyviä teknologioita (Material Economics, 2018).

24 <https://yle.fi/uutiset/3-10610187> ”Jätteiden hyödyntäminen on ekoteko ja viimein se kiinnostaa myös yrityksiä – siksi tutkijat kehittävät uusia materiaaleja jätteestä”

25 Asiantuntijahaastattelu 19.8.2019, professori Mirja Illikainen.

26 Ks. esim. <https://betolar.com/>

Sementti- ja betonteollisuudessa loppukysyntää pienentävät kiertotaloustoimenpiteet ovat erittäin olennaisia päästövähennysten näkökulmasta. Näillä on arvioitu saavutettavan EU:n sementti- ja betonteollisuudessa jopa 50 % päästövähennys perusuraan verrattuna vuoteen 2050 mennessä (Material Economics, 2019). Toimenpiteistä erityisen lupaavia ovat betonin materiaalikäytön optimointi ja betonielementtien uudelleenkäyttö (Material Economics, 2019; Ramboll, 2020). Näiden toimenpiteiden päästövähennyspotentiaalin arvioidaan olevan hyvää tasoa myös Suomessa. Kummankin toimenpiteen käyttöönoton tasossa on paljon parantamisen varaa, ja niillä pystytään vähentämään päästöintensiivistä sementinvalmistusta kotimaassa.

Betonielementtien uudelleenkäytön edellytykset

Jotta betonielementit voidaan käyttää uudelleen, täytyy niiden kunto ja turvallisuus varmistaa huolella (Hradil ym., 2014). Nykyinen sääntely Suomessa estää betonielementtien joustavaa uudelleenkäyttöä. CE-merkinnän saaminen, joka tällä hetkellä ei ole mahdollista, olisi tärkeä edellytys betonielementtien laajemmalle uudelleenkäytölle. Lisäksi esimerkiksi huonekorkeus- ja akustiikkavaatimukset asettavat rajoituksia betonielementtien uudelleenkäytölle kerrostalokohteissa (Huuhka ym., 2015). Myös elementtien saatavuus ja koordinointi sekä olemassa olevien käytäntöjen muuttuminen ovat keskeisiä rajoitteita. Purku- ja käyttökohteet sijaitsevat usein etäällä toisistaan.

Puupohjaisia rakennusmateriaaleja on paljon erilaisia, kuten sahatavaraa, liimapuuta ja CLT:tä. Puupohjaisten rakennusmateriaalien päästövaikutukset ovat selvästi pienemmät kuin teräksen, sementin tai betonin (Material Economics, 2018). Sahatavaran tuotannon KHK-päästöt ovat matalat ja jalosteiden kohdalla päästöjä syntyy muun muassa fossiilipohjaisten liimojen käytöstä²⁷. Puurakennukset toimivat myös laskennallisesti hiilivarastona, jolloin hiilineutraaliuteen pyrittäessä pitkäaikainen puutuotteiden kysyntä on todennäköisesti kasvava (Raivio ym., 2020). Suomessa on paljon mahdollisuuksia lisätä puurakentamista etenkin pientalorakentamisen ulkopuolella (Heino, 2019). Käynnissä olevan valtioneuvoston yhteisen puurakentamisen ohjelman tavoitteena on lisätä puun käyttöä niin kaupunkien rakentamisessa kuin julkisessa rakentamisessakin (Ympäristöministeriö,

²⁷ Tarkemmat tuotekohtaiset päästötiedot löytyvät Raivio ym. (2020) raportista.

2020). Puurakentamisen lisäämisellä on arvioitu olevan erittäin hyvä päästövähennyspotentiaali Suomessa.

Rakennusten käyttöikää pidentämällä voidaan vähentää rakennusten elinkaarisia ympäristövaikutuksia. Joissain tutkimuksissa käyttöiän pidentämisen on arvioitu pitkällä tähtäimellä vähentävän materiaalien käyttöä²⁸ ja saavuttavan selkeitä päästövähennyksiä (noin 20 %) perusuraan verrattuna EU:n alueella (Material Economics, 2018). Nämä päästövähennykset toteutuvat kuitenkin vasta vuosikymmenien päästä, kun taas investointi pitkäikäisyyteen täytyy tehdä heti rakennuksen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. Merkittävimmät päätökset rakennusten elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista tehdään siis jo suunnitteluvaiheessa, sillä suunnittelussa ja rakentamisessa tehtyjä valintoja ei voi välttämättä muuttaa käytön aikana tai muuttaminen on kallista. Suomessa rakennuksia ei lähtökohtaisesti suunnitella erityisen pitkäikäisiksi kuin vain erityistapauksissa. Esimerkiksi asuinkerrostalojen kohdalla suunniteltu käyttöikä on perinteisesti 50 vuotta²⁹ (Kangas ym., 2019). Uudisrakentamisen suunnittelu- ja investointivaiheissa olisikin tärkeää huomioida rakennuksen koko elinkaaren aikaiset kustannukset ja panostaa pitkäikäisyyteen pyrkivään rakentamiseen sekä käyttöasteen nostamiseen muun muassa tilojen helpon muunneltavuuden avulla.

Korjaus- ja huoltorakentaminen on tärkeää kiertotaloustoimintaa, jonka arvo vuositasolla lähentelee jo uudisrakentamisen arvoa (Laine ym., 2020). Korjausrakentamisen ja huoltotoimenpiteiden avulla ylläpidetään maamme rakennuskannan kuntoa ja pidennetään rakennusten elinkaarta. Korjausrakentamisessa parannetaan usein rakennuksen rakenteellista energiatehokkuutta ja parannetaan talotekniikkaa, jolloin energiankulutuksen päästöt pienenevät merkittävästi (Raivio ym., 2020).

Suomessa asuminen ja energia (24 %) on merkittävimpiä päästöjen aiheuttajia kotitalouksien kulutuksessa (Nissinen ja Savolainen, 2019). Tilastojen valossa asuintilojen käytön tehostumista ei ole havaittavissa, sillä asuinpinta-ala m²/henkilö on kasvanut etenkin pientaloissa, kun taas rivi- ja kerrostaloasumisessa ollaan pysytty samassa mittaluokassa jo pitkään (Tilastokeskus, 2018). Yhteiskäyttöisiä tiloja (muuta kuin sauna- ja pyykkitiloja) löytyy joistain kohteista³⁰, mutta laajemmin tarkasteltuna yhteiskäyttöiset tilat asumisessa eivät ole valtavirtaistuneet. Toimitiloja tarkasteltaessa yhteiskäyttöisyys tai ennemminkin monitoiminnalliset tilat ovat puolestaan yleistyneet. Valtiolla on selkeä tavoite tehostaa omien

28 Suomessa on arvioitu käyttöiän vaikutuksia rakennuksen hiilijalanjälkeen ja hiilijalanjälkilaskentaan TALO-hankkeen loppuraportissa (Kangas ym., 2019). Yhtenä loppupäätelmänä esiin nousi, että pidemmän käyttöiän vaikutukset materiaalikulutukseen, päästöihin ja kustannuksiin ovat kokonaisuudessaan hankalasti arvioitavissa.

29 On hyvä muistaa, ettei 50 vuoden suunniteltu käyttöikä tarkoita rakennuksen purkukuntoisuutta 50 vuoden kohdalla. Tällöin rakennukselle joudutaan kuitenkin tekemään esimerkiksi laajempi julkisivuremontti.

30 Esimerkiksi Oulun Lipporannassa yhteiskäyttöiset tilat ovat poikkeuksellisen laajat (ks. lisätietoa <https://www.kotikatku365.fi/mita-on-yhteisollinen-asuminen/>).

toimitilojen käyttöä. Toimitilastrategiassa linjataan, että tilatehokkuutta ja käyttöastetta seurataan ja parannetaan. Samalla asetetaan tilatehokkuustavoite: hankittaville ja korjauskohteille tavoite on 18 neliötä henkilötyövuotta kohden (m²/htv) ja uudisrakennuksille 15 m²/htv, elleivät taloudelliset tai muut merkittävät syyt estä tätä (Valtionvarainministeriö, 2014). Monitilatoimistot ovat siis yleistyneet ja tätä kehitystä halutaan pitää yllä.

Kaiken kaikkiaan asuntojen ja toimitilojen käytön optimoinnissa on selkeää lisäyspotentiaalia. Olemassa olevat arviot yhteiskäyttöisten tilojen lisäämisen päästövähennyspotentiaalista ovat suhteellisen varovaisia. Jakamisratkaisujen on arvioitu vähentävän rakennuskannan yhteenlaskettua kokonaispinta-alaa 5 %, jolla voidaan välttää rakennusmateriaalien päästöjä noin 6 % vuoteen 2050 mennessä (Material Economics, 2018). Toisaalta yhdistettynä tilojen käytön optimointiin (esim. downsizing) ja muuntojoustavuuteen voivat päästövähennykset olla selkeästi suuremmat (RESCUE, 2019).

Asuintilojen käytön optimointi ja kotitaloudet

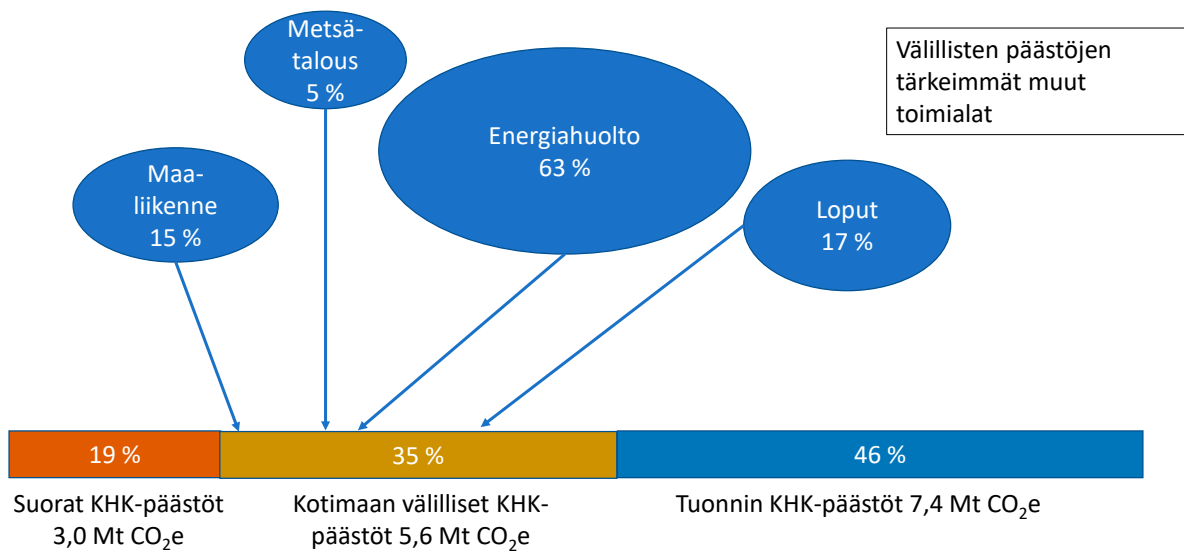
Yhteiskäyttöisten tilojen kohdalla keskeinen tekijä on niiden kysynnän kehitys tulevaisuudessa. Kotitalouksien mieltymykset ovat olennaisia myös tarkasteltaessa asuintilojen käytön optimointia. Ovatko kotitaloudet ylipäätään halukkaita asumaan tiiviimmin ja pienemmissä asunnoissa, ja mikäli ovat niissä ja millä ehdoilla? Kansainvälinen ja kansallinen tutkimuskirjallisuus tilojen käytön optimoinnin potentiaalista on vähäistä ja tarkan päästövähennyspotentiaalnin arvioimiseksi lisätutkimus olisi tarpeen.

4.4 Metsäteollisuus

Metsäteollisuuden toimialat ovat Suomen kansantaloudessa keskeisiä sekä tuotokseltaan (ks. liite 2) että raaka-ainekäytöltään (suoraan ja välillisesti) (ks. kuva 4). Metsäteollisuus, sisältäen mekaanisen metsäteollisuuden, paperi- ja massateollisuuden sekä painamisen, on myös suuri päästölähde kansallisesti (ks. kuva 10). Sen elinkaariset KHK-päästöt olivat 15,9 Mt CO₂e vuonna 2015, joista vajaa puolet (46 %) liittyy tuontipanoksiin. Toimialaryhmä käyttää suorina tuontipanoksina mm. raakapuuta, maakaasua, savea ja kaoliinia, sahahaketta, massaa ja paperia, erilaisia peruskemikaaleja, sähköä ja kuljetuspalveluita. Tämän lisäksi tuonnin välillisiin päästöihin lasketaan mukaan kotimaisten välituotteiden tuotokset tuontipanoksiin liittyvät päästöt. Kotimaan välillisissä päästöissä korostuvat

energianhuollon ja maaliikenteen toimialat. Alkutuotannon (metsätalous) osuus välillisistä päästöistä on 5 %³¹.

Kuva 10. Metsäteollisuuden (puuteollisuus, paperiteollisuus, painaminen) elinkaariset KHK-päästöt 15,9 Mt CO₂e vuonna 2015. (Luvut eivät sisällä LULUCF-päästöjä.)



Taulukossa 6 on käyty läpi metsäteollisuuden kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalia. Tarkastelussa keskitytään teollisuuden kiertotaloustoimenpiteisiin ja metsätalouden (alkutuotanto) kiertotaloustoimenpiteet, kuten metsiä uudistava metsätalous, on rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle. Metsätalouden kiertotaloustoimenpiteitä ei ole tiettävästi käsitelty kirjallisuudessa.

Metsäteollisuuden materiaali- ja energiatehokkuuden paranemisen odotetaan jatkuvan. Kehityksen taustalla vaikuttaa laaja joukko teknisiä parannuksia, jotka liittyvät mm. prosessioptimointiin ja digitalisaation mahdollisuuksiin sekä raaka- ja apuaineiden valintaan ja käsittelyyn. Lisäksi esimerkiksi tekoälypohjaisella tuotanto-optimoinnilla voidaan saavuttaa tehostumista yli jokaisen tuotantoketjun (Pöyry, 2020b).

³¹ Laskentatapa ei ota huomioon maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsätalouden (LULUCF) päästö- ja nielutietoa.

Energiatehokkuuden parantaminen ja muiden kuin puupohjaisten puhtaiden energialähteiden käyttöönotto (esim. tuulivoima ja ydinvoima) metsäteollisuudessa eivät varsinaisesti kuulu kiertotaloustoimenpiteisiin, mutta välillisesti ne voivat jouduttaa metsäteollisuudessa puu- ja kuitupitoisen jätteen ohjautumista pois energiakäytöstä kohti uusia, vaihtoehtoisia korkeamman jalostusasteen tuotteita ja materiaalikierrätyskohteita. Tällaisia ovat jo ja voivat kasvavassa määrin olla raaka-ainekäyttö kemianteollisuudessa, liuottimien ja nestemäisten polttoaineiden valmistuksessa sekä komposiittimateriaalit (Liikanen ym., 2019; Salmenperä ym., 2016) sekä käyttö mm. lääke-, elintarvike-, kosmetiikka- ja tekstiiliteollisuudessa. Erityisesti nykyisin metsäteollisuuden energiakäyttöön päätyvän ligniinin (puuaineksesta noin 30 %) ohjautuminen tuotteeksi, parantaisi sellutehtaiden materiaalitehokkuutta harppauksenomaisesti. Metsäteollisuuden materiaalitehokkuuden parantaminen merkitsee sitä, että samasta runkopuumäärästä saadaan enemmän tuotteita aikaiseksi. Tämä vähentää metsästä hakatun runkopuun tarvetta (jos lähtökohtana on vastata tietyn suuruiseen metsätuotteiden kysyntään), ja sen seurauksena myös metsän hiilinielu vahvistuu siihen nähden, mitä se olisi ilman materiaalitehostumista. Metsän nettohiilinielulla tarkoitetaan, että puihin ja metsän maaperään sitoutuu enemmän hiiltä kuin sieltä vapautuu.

Suomessa valmistetusta puutuotemäärästä (tonneina) alle 20 % päätyy pitkäikäiseen käyttöön, loppujen tuotteiden hiilivarastojen vapautuessa alle 10 vuodessa ilmakehään (Seppälä ja Kanninen, 2019). Mitä suurempi osuus metsäteollisuuden valmistamista puutuotteista päätyy pitkäikäisiksi tuotteiksi, sen paremmat edellytykset on kasvattaa puutuotteiden nielua, jolloin siis puutuotteiden hiilivarasto kasvaa (ks. myös luku 4.3 rakentamisesta). Puutuotteiden hiilivarastomuutokset arvioidaan hiilidioksiditasemuutoksina YK:n ilmastopöytäkirjassa sovitun laskentatavan mukaisesti ja ne näkyvät Suomen kasvihuonekaasupäästöinventaariorissa maankäyttösektorin (LULUCF) nieluina (hiilivarasto kasvaa) tai päästöinä (hiilivarasto pienenee). Puutuotteet (HWP, harvested wood products) sisältävät Suomessa kotimaisesta puusta valmistetut puutuotteet jaettuna puutuoteteollisuuden/ mekaanisen puunjalostuksen tuotteisiin (sahatavara ja puulevyt) sekä massateollisuuden tuotteisiin (paperi ja kartonki). Myös vientiin menneet tuotteet ovat mukana Suomen kasvihuonekaasuinventaariorissa.

Taulukko 6. Arvio metsäteollisuuden kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista.

Kiertotaloustoimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Materiaalitehokkuuden parantaminen (teollisuudessa)	3 hyvä	Materiaalitehokkuutta parantamalla voidaan saavuttaa päästövähennyksiä. Metsäteollisuudellamme on edelleen mahdollisuus vähentää puuraaka-aineen hävikkiä ja tehdä huonolaatuisemmasta puuraaka-aineesta (ml. kierrätyspuu, kierrätyspuukuidut, puukuituiset jätteet) uusia tuotteita. Pöyry (2020b) arvioi metsäteollisuuden vähähii-lysyystiekartan skenaarioissa, että materiaalitehostumista tapahtuu perusuraan nähden 5 % vuoteen 2035 mennessä. Kokonaisvaikutus lienee hieman suurempi, kun otetaan perusskenaarion materiaalitehostuminen huomioon.
Puutuotteiden (ml. kierrätyskuitujen) kaskadikäytön lisääminen	3 hyvä	Suomessa valmistetuista puutuotteista alle 20 % päätyy pitkäikäiseen käyttöön. Puumateriaalin pitäminen materiaalikäytössä mahdollisimman pitkään uusien käyttökertojen avulla vaikuttaa myönteisesti ilmamehän KHK-päästöihin (ks. teksti). Puutuotteiden kaskadikäyttöä on mahdollista lisätä puurakentamisen tuotteissa ja kierrätyskuiduissa ³² , jos puuvirtojen puhtaudesta pystytään huolehtimaan ja tuote/prosessikehittelyssä onnistutaan.
Fossiilisia raaka-aineita sisältävien tuotteiden korvaaminen puupohjaisilla ratkaisuilla	2 kohtalainen tai 3 hyvä (ks. rajoitteet tekstissä)	Fossiilisia korvaaville materiaaleille on suuri potentiaali niin Suomessa kuin kansainvälisesti. Puurakentamisella saavutetaan fossiilisten polttoaineiden päästöhyötyjä rakentamisessa etenkin betonia ja metalleja korvattaessa. Kasvupotentiaalia on samoin kuin kemianteollisuuden alueella, jossa fossiilisia raaka-aineita korvaavien metsäteollisuuden tuotteiden osuuksien on ennustettu olevan vuonna 2035 seuraavat: 30 % biomuovit, 25 % tekstiilikuidut, 25 % biopolttoaineet ja 20 % kemikaalit (Alarotu ym., 2020).
CCU (hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö)	2 kohtalainen tai 3 hyvä (tulevaisuudessa)	Tulevaisuuden teknologia, jonka arvellaan olevan käytössä vuonna 2040 (Pöyry, 2020b). CCU:lla pystytään pienentämään suoria KHK-päästöjä metsäteollisuudessa korkeintaan 10 % vuosien 2040 ja 2050 välillä (Pöyry, 2020b, s.19).

32 Kierrätyskuitujen hyödyntäminen on jo tällä hetkellä hyvin yleistä pakkaus- ja painoteollisuudessa.

Jos puutuotteen hylkäyksen jälkeen pystytään jatkamaan puutuotteen raaka-aineen käyttöä uusissa käyttökohteissa, toteutuu ns. kaskadiperiaate³³. Sen seurauksena puuraaka-aineen hiili ei vapaudu ilmakehään vaan säilyy varastossa. Näin puutuotteiden hiilivarasto vahvistuu ja hakkuiden paine vähenee pienentyneen neitseellisen puuraaka-ainetarpeen myötä (jos lähtökohtana on vastata tietyn suuruiseen metsätuotteiden kysyntään). Pienemmät hakkuumäärät merkitsevät sitä, että metsien hiilinielut ja varastot kasvavat enemmän vuosikymmeniksi eteenpäin verrattuna tilanteeseen, jossa hakkuita lisätään (Seppälä ym., 2017; Seppälä ym., 2019a). Lisääntyvä puutuotteiden hiilivarasto ja metsien hiilinielu merkitsevät vähemmän hiilidioksidia ilmakehään. Puun kaskadikäyttö on mahdollista myös toteuttaa siten, että kierrätetyn puumateriaalin tai puun uusiokäytön myötä puutuotteiden valmistuksen päästöt ovat pienemmät. Tuotteiden kaskadikäytön lisääminen edellyttää hyvää tuotesuunnittelua, puumateriaalin puhtauden säilyttämistä haitallisilta aineilta ja uusien tuotekonseptien synnyttämistä.

Eräs tapa pienentää fossiilisista raaka-aineista valmistettujen tuotteiden ja polttoaineiden päästöjä on korvata niitä puupohjaisilla ratkaisuilla (Winkel, 2017). Puupohjaisten tuotteiden valmistus aiheuttaa pääsääntöisesti vähemmän fossiilisperäisiä päästöjä kuin saman toiminnallisuuden tarjoavat fossiilisperäisistä raaka-aineista valmistetut tuotteet kuten muovit ja liikennepolttoaineet (Leskinen ym., 2018). Puupohjaisten ja vaihtoehtoisten tuotteiden fossiilisperäisten kasvihuonekaasupäästöjen erotusta kutsutaan puutuotteilla saaduksi substituutio- eli korvaushyödyksi. Näissä tarkasteluissa ei kuitenkaan oteta huomioon metsässä tapahtuvaa hakkuiden aiheuttamaa hiilivarastomuutosta. Suomessa hakkuut vähentävät vielä 45 vuoden aikajänteellä metsien hiilivarastoa 1,7 kertaisesti siihen nähden, jos hakkuita ei tehtäisi (Kalliokoski ym., 2019). Viimeaikaiset tutkimukset (esim. Seppälä ym., 2019a) osoittavat, että nykyisten puupohjaisten tuotteiden korvaushyödyt eivät pysty kompensoimaan metsässä nykykäytäntöjen mukaisten runkopuun hakkuiden kautta tapahtunutta hiilivaraston pienenemistä edes keskipitkällä aikavälillä. Ilmaston kannalta metsätuotteiden tulisi suuntautua pitkäkestoisiin tuotteisiin, jotka pystyisivät korvaamaan suuripäästöisiä saman toiminnallisuuden tarjoavia tuotteita (Seppälä ym., 2017). Tällaisia tuotteita olisivat muun muassa puukuituiset tekstiilit, joiden kuituja pystyttäisiin käyttämään uudestaan.

Hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen (CCU) sellutehtaasta avaa uudenlaisia mahdollisuuksia systeemitason KHK-päästöjen vähentämiseen tulevaisuudessa³⁴. Sellutehtaata integroituisivat hiilidioksidin ns. Power to X -teknologiaan, jossa sähkön, hiilidioksidin ja

33 Yleisellä tasolla kaskadiperiaatteella tarkoitetaan resurssien tehokasta hyödyntämistä edistämällä biomateriaalien kertautuvaa käyttöä ja mahdollisimman korkeaa arvonlisää sekä materiaalihyödyntämistä ennen energiakäyttöä (Raitanen ym., 2017).

34 CCU:lla on paljon potentiaalia myös muilla sektoreilla, kuten esimerkiksi metalliteollisuudessa (Ghanbari ym., 2015) sementtiteollisuudessa (Farfan ym., 2019) ja öljynjalostuksessa.

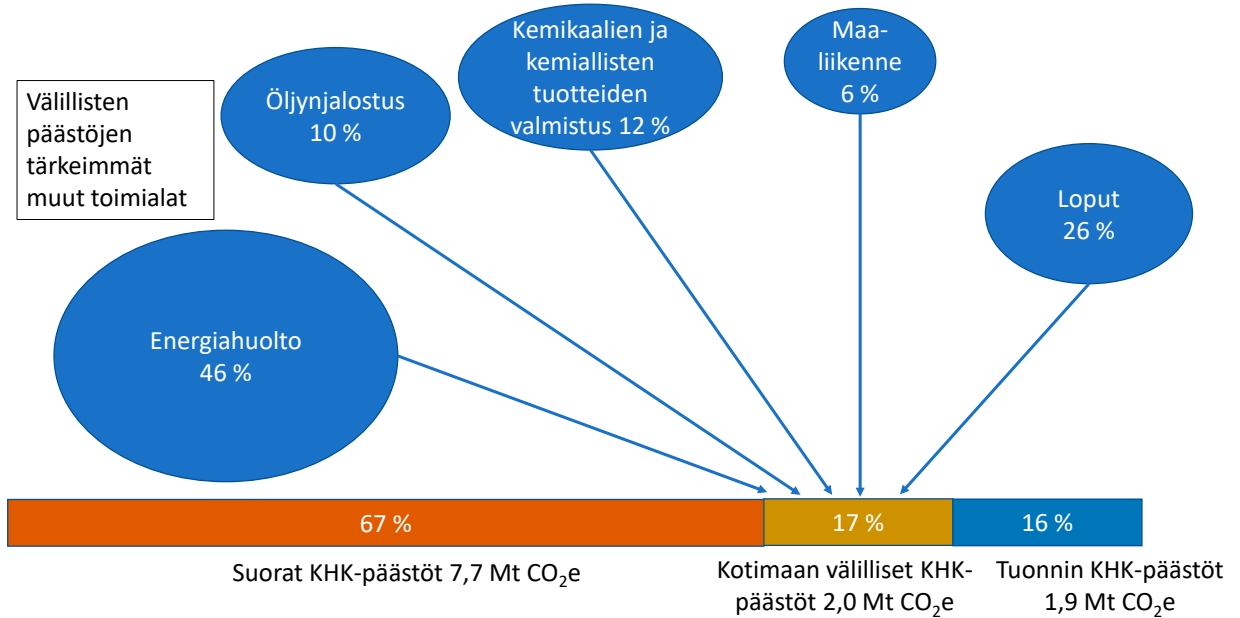
vedyn avulla pystytään valmistamaan synteettisiä hiilivetyjä esim. liikennepolttoaineiden tai proteiinin valmistumiseen (Mikulčić ym., 2019; VTT, 2020). Teknologia on jo olemassa, mutta sen kustannustehokas käyttöönotto odottaa muun muassa päästöoikeuden hinnan nousua sopivalle tasolle. VTT on selvityksessään arvellut CCU:n olevan Suomen metsäteollisuudessa käytössä vuonna 2040 (Alarotu ym., 2020). CCU:lla pystytään pienentämään suoria KHK-päästöjä metsäteollisuudessa arvioiden mukaan korkeintaan 10 % vuodessa vuosien 2040 ja 2050 välillä (Pöyry, 2020b, s.19), mutta välilliset vaikutukset fossiilisten liikennepolttoaineiden ja eläinperäisen proteiinin korvaamisessa ovat huomattavasti suuremmat. Power to X -teknologia kuuluu kiertotalouteen, ja sen päästövähennyspotentialiaali on mittava.

4.5 Ruokajärjestelmä

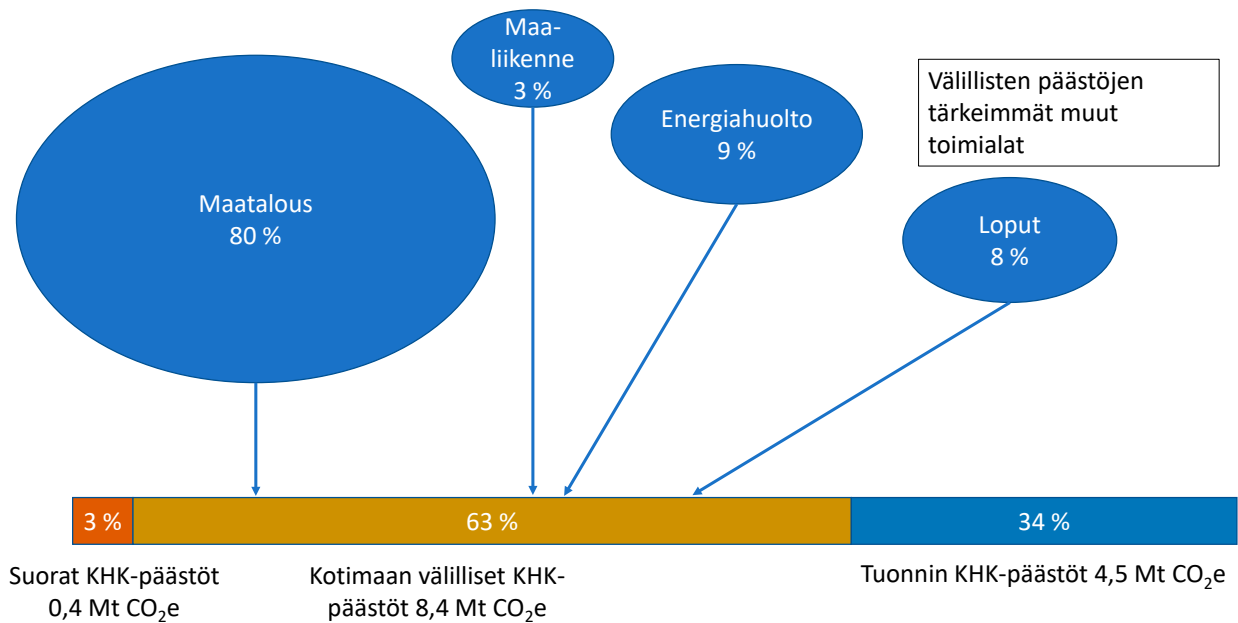
Ruokajärjestelmään kuuluu useita eri osa-alueita ja toimialoja aina maanviljelystä, elintarvikkeiden valmistuksen kautta itse ruoan kulutukseen. Suomen maatalouden (alkutuotanto) elinkaariset KHK-päästöt ilman maankäyttösektorin (LULUCF) päästöjä ovat vuodessa noin 11,5 Mt CO₂e, jotka koostuvat pääosin (67 %) pelloilla tapahtuvan tuotantotoiminnan suorista KHK-päästöistä (ks. kuva 11). Kotimaan välillisissä päästöissä yksittäisistä toimialoista esille nousevat energiahuolto ja kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus. Tuonnin KHK-päästöt kattavat elinkaarisista päästöistä vain kahdeksasosan, joten maatalouden tuotantotoiminnan päästövaikutukset ovat pitkälti kotimaisia. Kotimaisuus korostuu, kun otetaan huomioon myös LULUCF-sektoriin kuuluvien peltojen orgaanisen aineen hajoamisen, lähinnä turvepeltojen, 7,8 Mt CO₂e suuruiset vuosipäästöt (Statistics Finland, 2020).

Elintarviketeollisuuden elinkaarisissa päästöissä ilman LULUCF-sektoria (ks. kuva 12) suorien päästöjen osuus on häviävän pieni, kun taas kotimaan välillisissä päästöistä lähes 80 % syntyy alkutuotannon (maatalous) kautta. Tuonnin KHK-päästöjen osuus on 34 %, mikä kertoo siitä, että elintarviketeollisuus käyttää tuontipanoksia alkutuotantoa suhteellisesti enemmän tuotantotoiminnassaan.

Kuva 11. Maatalouden elinkaariset KHK-päästöt 11,5 Mt CO₂e vuonna 2015. (Luvut eivät sisällä LULUCF-päästöjä.)



Kuva 12. Elintarviketeollisuuden elinkaariset KHK-päästöt 13,3 Mt CO₂e vuonna 2015. (Luvut eivät sisällä LULUCF-päästöjä.)



Suomen kiertotalouden tiekartta korostaa, että Suomella on vahvat edellytykset kehittää kansallinen ruokajärjestelmämme nykyistä selvästi kestävämmäksi (Sitra, 2016). Kiertotaloudella on annettavaa tähän muutokseen. Tuore selvitys Ellen MacArthurin säätiöltä (2019a) esittää, että kiertotaloustoimenpiteillä pystyttäisiin maailmanlaajuisesti jopa puolittamaan ruokajärjestelmän päästöt vuoteen 2050 mennessä. Tärkeimpinä kiertotaloustoimenpiteinä esiin nousevat maatalousmaata uudistavat viljelytavat, ruokahävikin minimoiminen ja ravinteiden kierrätys, joita käsitellään seuraavaksi tarkemmin Suomen näkökulmasta (ks. taulukko 7).

Taulukko 7. Arvio ruokajärjestelmän kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista.

Kiertotaloustoimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Maatalousmaata uudistava maatalous	4 erittäin hyvä	Suomessa uudistava maatalous liittyy kivennäismaapeltosten hiilisisällön kasvattamiseen ja turvepeltojen orgaanisen aineen hajoamisen estämiseen. Suomessa on tämän alueen kiertotaloustoimenpiteillä mahdollisuus parantaa vuosittaista päästötasetta useita Mt CO ₂ e vuoteen 2035 mennessä (Lehtonen ym., 2020).
Ravinteiden kierrätys (esim. kierrätyslannoitteet)	1 matala	Kierrätyslannoitteiden peltokäyttö aiheuttaa pääsääntöisesti vähemmän KHK-päästöjä kuin epäorgaanisten lannoitteiden käyttö, kun otetaan elinkaaripäästövaikutukset huomioon (Timonen ym., 2020). Jos nykyiset epäorgaaniset fosfori- ja typpilannoitteiden määrät puolitettaisiin kierrätyslannoitteilla, niin päästöjä pystyttäisiin vähentämään noin 0,04 Mt CO ₂ e/v (Timonen ym., 2020; Marttinen ym., 2017).
Ruokahävikin minimointi	2 kohtalainen	Suomessa syntyy globaaliin tilanteeseen verrattuna suhteellisen vähän ruokahävikkiä koko ruokaketjussa läpivirtaavaan ruokamäärään verrattuna (Ellen MacArthur Foundation, 2019a; Silvennoinen ym., 2012). Suomessa ruokahävikin minimoimisen päästövähennyspotentiaalinen arvioitu olevan kuluttajapuolella matala (Saarinen ym., 2019). Koko ruokaketjun ruokahävikin puolittaminen vuoteen 2030 mennessä merkitsisi kuitenkin noin 0,5 Mt CO ₂ e päästövähennystä (josta kolmasosa tapahtuisi ulkomailla) (Luonnonvarakeskus, 2020c).

Kiertotaloustoimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Elintarviketeollisuuden materiaalitehokkuuden parantaminen valmistuksessa (pl. ruokahävikki)	1 matala tai 2 kohtalainen	Elintarviketeollisuuden suorat päästövaikutukset ovat maltilliset Suomessa (ks. kuva 10). Päästövähennyksiä voidaan ilmeisesti saavuttaa suhteellisen vähän itse tehtaissa, mutta välillisiä vaikutuksia (päästöihin) on mahdollisuus saada kiertotaloustoimenpitein jonkin verran alas raaka-aineista, logistiikasta ja pakkauksista (osittain Vainikainen, 2020).
Biokaasu*	3 hyvä	Maatalouden lannasta ja nurmesta olisi mahdollisuus kasvattaa biokaasutuotantoa selvästi. Vuonna 2019 tuotetun biokaasun energiasisältö (0,045 TWh) oli vajaa prosentti lannan teoreettisesta energiapotentiaalista (Lehtonen ym., 2020). Kasvua voisi olla jopa 3,5 TWh vuoteen 2035 mennessä (Lehtonen ym., 2020). Biokaasun käyttökohteesta (sähkö, lämpö tai liikennepolttoaine) riippuen KHK-päästöt vaihtelevat. Jos 50 % ohjautuisi liikennepolttoaineiksi ja 50 % CHP käyttöön, päästövähennyksiä saavutettaisiin vuosittain jopa 0,8 Mt CO ₂ e vuoteen 2035 mennessä.

*) Käsitellään myös liikunnan (luku 4.6) yhteydessä.

Maailmanlaajuisesti maanviljelyn päästöjen vähentämisessä potentiaalisimmaksi kierrätöstoimeksi on tunnistettu biologisen kierron hyödyntäminen tehokkaasti, joka liittyy etenkin viljelytapojen muuttamiseen. Maatalousmaata uudistava maanviljely ("regenerative agriculture") tarkoittaa sellaista ruoantuotantoa, jossa uudistetaan maaperän tilaa ja monimuotoisuutta, joka edelleen edesauttaa maaperän kykyä sitoa hiiltä, vettä ja ravinteita³⁵.

Suomessa tutkitaan tällä hetkellä useissa hankkeissa hiilen sitomista maatalousmaahan muuttamalla viljelykäytäntöjä (Carbon Action, 2020). Hyviksi tunnistettuja keinoja hiilen sitomiseen ovat muun muassa sopivien kasvilajien ja -lajikkeiden käyttö, lannan jakaminen tasaisemmin koko maahan ja monipuolinen viljelykierto. Myös laidunnuskäytäntöjä parantamalla voidaan vaikuttaa merkittävästi maaperän kykyyn sitoa hiiltä, vettä ja ravinteita. Lähtökohtaisesti luomun ja tavanomaisen maataloustoiminnan erot maaperän hiilensidonnassa ovat vähäiset. Kansainvälinen kirjallisuusselvitys sai luomulle vuosittain noin

35 Regeneratiivisella maataloudella on arvioitu voivan pienentää maanviljelyn globaaleja päästöjä 34 % perusraan verrattuna vuoteen 2050 mennessä (Ellen MacArthur Foundation, 2019a).

2,2 % paremman hiilen pidätyskyvyn tavanomaiseen viljelyyn nähden, mutta erot eri puolilla maailmaa ja eri maatalousaktiiviteettien välillä eivät ole aina selvät (Leifeld ja Fuhrer, 2010). Ei ole varmuutta, kuinka tulos on yleistettävissä Suomen olosuhteisiin. Suomessa oli vuonna 2019 luomuviljeltyä peltoa 306 000 hehtaaria eli 13,5 % koko viljelyalasta (Niemi ja Väre, 2019). Suurimmat maaperän hiilimäärän kasvattamisen mahdollisuudet liittyvät kivennäismaihin³⁶, jolloin toimet voidaan toteuttaa ilman, että kyse olisi luomutoiminnasta (Carbon Action, 2020). Maaperän hiilitasetta voidaan parantaa muun muassa kerääjäkasvien ja nurmen viljelyn avulla. MTK:n maatalouden ilmastotiekartan (Lehtonen ym., 2020) mukaan nykyisen noin 0,5 Mt CO₂e vuosipäästön sijaan kivennäismaapelot toimisivat hiilinieluinä vuosittain noin 1,5–2 Mt CO₂e verran vuoteen 2035 mennessä hiilensidon-taskenaariosta riippuen. Maaperän hiilimäärän muutoksien päästövaikutukset lasketaan Suomen LULUCF-sektorin hyväksi. Ongelmana on saada peltokäytössä kerrytetty hiili pysymään maaperässä vähintään 100 vuotta, jotta toimenpiteen vaikutus olisi riittävän vaikuttava ilmastoon kannalta (esim. Carbon Action, 2020; Lehtonen ym., 2020).

Uudistava maatalous ja kiertotalous

Kiertotalouden potentiaali maataloudessa riippuu siitä, miten uudistava maatalous ja siihen kuuluvat toiminnot ajatellaan kuuluvuksi kiertotalouteen. Ellen MacArthur -säätiön mukaan kiertotalouden pääperiaatteisiin kuuluu ”regenerate natural systems” eli luodaan uudelleen luonnon järjestelmät. Kiertotalouden tulisi mukautua ekosysteemien luonnollisiin kiertoihin ja hyödyntää näitä kiertoja taloudellisissa kierroissa ottamalla huomioon luonnolliset uudistumisnopeudet (Korhonen ym., 2018). Tämän mukaan uudistava maatalous kuuluu kiertotalouteen, vaikka samanaikaisesti yksittäisten toimenpiteiden, kuten laidunnus, sisällyttäminen kiertotaloustoimenpiteeksi on haastavampaa.

Maatalousmaan päästöjen hallinnassa turvemaiden päästöjen vähentäminen näyttelee merkittävää roolia. Vuosittain turvepelloista hajoaa orgaanista maata siten, että ilmakehään pääsee päästöjä noin 6 Mt CO₂e/v. Turvemaiden pellonraivaus aiheuttaa vuosittain

36 Globaalisti maaperän hiilipitoisuudessa esiintyy suurta vaihtelua, mutta viileä ja kostea ilmasto sekä maan hienojakoinen kivennäisaines suosivat sen kertymistä maahan. Suomessa maaperän hiilipitoisuus on verrattain korkea (Carbon Action, 2020).

tästä noin 1,5 Mt CO₂e päästöt. Tämän lisäksi turvemailta pääsee typpioksiduulipäästöjä (N₂O) yli 1 Mt CO₂e/v. (Statistics Finland, 2020.) Turvemaiden raivaamisen lopettaminen on tärkeä toimenpide KHK-päästöjen hillinnän näkökulmasta, mutta sitä ei voitane lukea kiertotaloustoimenpiteeksi. Sitä vastoin olemassa olevien peltojen viljelytoimenpiteet, joilla tietoisesti vähennetään orgaanisen aineen hajoamista hiilidioksidiksi, voidaan lukea kiertotalouden alle. Kaikkiaan olemassa olevien turvepeltojen päästöjen hallintaan liittyy epävarmuutta. Säättösalaajitus pohjaveden pinnan nostamiseksi on eniten esillä ollut keino. Jos pelto jatkaa aktiivisesti viljelykäytössä, niin vaihtoehtona on myös ns. kosteikkoviljely. Tämä merkitsee myös viljelykasvien muutosta. Muita keinoja ovat muun muassa nurmen viljely ja pellon kyntämättä jättäminen, mutta näillä keinoilla päästövähennykset ovat pienempiä ja talouskäyttö vähäistä. MTK:n maatalouden ilmastotiekartan (Lehtonen ym., 2020) mukaan eri toimenpiteillä voidaan saada kenties suuruusluokaltaan 1–2 Mt CO₂e/v päästövähennys vuoteen 2035 mennessä, kun turvepeltojen raivausten lopettamisen vaikutusta ei ole arvioissa mukana. Päästövähennys kohdentuu pääosin Suomen LULUCF-sektorin päästövähennykseksi ja pieni osa kohdentuu typpioksiduulipäästövähennysten kautta taakanjakosektorille.

Ruokahävikin pienentäminen nähdään globaalisti merkittäväksi kiertotaloustoimeksi, jonka on arvioitu vähentävän ruokajärjestelmän päästöjä n. 12 % vuoteen 2050 mennessä (Ellen MacArthur Foundation, 2019a). Ruokahävikin päästövähennyspotentiaali Suomessa on tuoreen RuokaMinimi -hankkeen selvityksen mukaan selvästi tätä pienempi (Saarinen ym., 2019). Kotitalouksien ruokahävikin pienentämisellä arvioitiin olevan vain pieni rooli ympäristövaikutusten vähentämisessä (ml. KHK-päästöt) ruokavalion muutoksiin verrattuna. Ruokavaliomuutosta ei lueta tässä yhteydessä (kuten ei muuallakaan) kuuluvaksi kiertotalouteen, mutta välillisesti se vaikuttaa merkittävästi ruoantuotannon materiaalivirtoihin ja päästöihin. Suomessa kuluttajavaiheen ruokahävikki on noin 120–160 kg vuodessa ja kattaa noin 4 % ruokavalion päästövaikutuksista (joka on henkeä kohti noin 4,9 kg CO₂e/päivä). Suomessa koko ruokaketjussa (alkutuotanto, teollisuus, kauppa, ravintolat, kotitaloudet) alun perin syömäkelpoinen ruokahävikki (pl. ei-syömäkelpoiset osat kuten luut) on arviolta 400–500 milj. kiloa vuodessa. Ketjussa hävikiksi päätyvän turhan ruoan tuottamisen aiheuttamat ilmastovaikutukset ovat noin 1 Mt CO₂e vuodessa (Luonnonvarakeskus, 2020c). Kotimaan ruokahävikin puolittaminen voisi siis vähentää elintarviketeollisuuden elinkaarisia päästöjä arviolta noin 0,5 Mt CO₂e/v, josta noin kolmannes tapahtuisi ulkomailla (kuva 12).

Elintarviketeollisuudessa voidaan saavuttaa päästövähennyksiä materiaalitehokkuustoimenpiteillä (pl. ruokahävikki) ainakin pakkauksissa ja raaka-aineiden kohdalla. Elintarviketeollisuuden osuus vuosittain kaikista markkinoille saatetuista pakkauksista on noin neljännes. Suurin osa pakkauksista on paperia, pahvia tai kartonkia (Simons ym., 2018). Kaikkiaan materiaalitehostamisen päästövähennyspotentiaalin elintarviketeollisuudessa arvioidaan olevan suhteellisen maltillinen.

Maatalouden jätteistä ja sivuvirroista valmistettujen kierrätyslannoitteiden käyttö vähentää keinolannoitteiden valmistuksen tarvetta ja täten myös keinolannoitteista aiheutuvia päästöjä. Luonnonvarakeskuksen selvityksen (Timonen ym., 2020) mukaan kaikkien kiinteiden kierrätyslannoitevalmisteiden valmistuksen ja peltokäytön ilmastopäästöt olivat pienemmät kuin vastaavien mineraalilannoitteiden päästöt. Ainoastaan nestemäisen mädätepohjaisen ammoniumsulfaatin valmistuksen päästöt olivat suuremmat kuin vastaavan mineraalilannoitteen valmistuksen päästöt. Tässä tutkimuksessa ei arvioitu kierrätyslannoitevalmisteiden mukana peltomaan maaperään sitoutuvan hiilen vaikutusta. Maatalouden fosfori- ja typpilannoituksesta 65 % ja 35 % on peräisin lannasta tai kierrätysravinteita sisältävistä lannoitevalmisteista lopun ollessa perinteisiä epäorgaanisia lannoitteita (Marttinen ym., 2017). Jos vuosittainen epäorgaanien fosforilannoitteen käyttö, noin 11 300 t/v (Marttinen ym., 2017), puolittettaisiin kierrätysfosforilla, jonka päästöt oletettaisiin olevan keskimäärin 1,5 kg CO₂e/kg P suuremmat kuin mineraalifosforilla (arvio Timonen ym., 2020), niin päästöhyödyt olisivat noin 0,01 Mt CO₂e/v. Vastaavasti mineraalityppilannoitteen puolittaminen (nykyinen käyttö noin 148 000 t/v, päästöero noin 0,4 CO₂e kg/kg N) johtaisi noin 0,04 Mt CO₂e/v päästövähennykseen. Edellä esitetty suuruusluokkaskelma osoittaa, että kierrätyslannoitteiden merkitys KHK-päästövaikutuksissa on pieni. Sen sijaan ravinteiden kierrättämisellä on suuri luonnonvarojen säästämismerkitys, ja sillä vähennetään ravinnepäästöjä pellolta vesistöön (Marttinen ym., 2017).

Biokaasutuotanto maatalouden biomassoista on merkittävä mahdollisuus korvata fossiilista energiaa liikenteessä ja teollisuudessa ja maatalouden omassa käytössä. Biokaasun tuotantoa on mahdollista kasvattaa Suomessa teknis-taloudellisesti vähintään kymmenkertaiseksi nykyisestä määrästä (Mutikainen ym., 2016). Biokaasuyhdistys näkee, että maataloudesta voitaisiin teknis-taloudellisesti tuottaa noin 10 TWh (Mutikainen ym., 2016; Virolainen-Hynnä, 2019). Käytännössä lisäraaka-ainepohja saadaan lannasta, nurmesta ja kasvisjätteistä. Nurmibiomassan teknis-taloudellinen raaka-ainepotentiaali on käytännössä suurin biokaasun raaka-ainelähde, mutta lannasta valmistettu biokaasu on KHK-päästöjen vähentämisen näkökulmasta parasta. Vuonna 2019 tuotetun biokaasun energiasältö (0,045 TWh) oli vajaa prosentti lannan teoreettisesta energiapotentiaalista (Lehtonen ym., 2020). Lantapohjaisella biokaasulla voidaan myös välttää lannan metaanipäästöjä, minkä vuoksi sen päästöt ovat jopa 150 % vähäisemmät kuin vastaavien fossiilipohjaisten liikennepolttoaineiden (EU, 2018). Edellytyksenä on, että biokaasuprosessin ”tiiviydestä” huolehditaan sen koko toiminnan ajan, ettei ilmaan karkaa biokaasua (toimii samalla tavalla kasvihuonekaasuna kuin maakaasu). Biokaasutuotanto maatalouden materiaaleista vaatii kuitenkin yhteiskunnan tukea ja huomattavia muutoksia toimintatavoissa raaka-aineiden (lanta, nurmi) tuotannossa ja käsittelyssä, yhteistyössä energia- ja ravinnealan toimijoiden kanssa ja lopputuotteiden hyödyntämisessä (Lehtonen ym., 2020). Todettakoon, että biokaasun tuotantoa koskevat EU:n kestävyyskriteerit, jotka asettavat vaatimuksia sekä raaka-aineille että prosessin päästöille (EU, 2018).

MTK:n ilmastotiekartan WAM1-skenaariossa³⁷ (Lehtonen ym., 2020) maatalouden kokonaisbiokaasutuotanto (lannat + nurmi) on arvioitu olevan vuonna 2035 yhteensä 1,73 TWh ja 2,01 TWh vuonna 2050. Tästä 60 % suuntautuisi CHP-tuotantoon (sähköä 40 %, lämpöä 60 %) ja 40 % liikennepolttoainekäyttöön. Puolet lämmöstä kuluisi maatalouskäytössä, joka korvaisi öljyn käyttöä. Kokonaisuudessaan päästövähennyksiä saataisiin vuoteen 2035 mennessä noin 0,3–0,4 Mt CO₂e, josta liikennepolttoaineiden käytön osuus olisi 72 %. WAM2-skenaariion³⁸ mukaan (kokonaistuotto 3,53 TWh, josta puolet liikennekäyttöön) kokonaispäästövaikutus voisi olla noin 0,8 Mt CO₂e vuonna 2035. Tämän selvityksen liikennejärjestelmän yhteydessä esitettävät arviot biokaasun päästövähennyspotentiaalista (ks. esim. taulukko 8) poikkeavat selvästi Lehtonen ym. (2020) arviosta. Tässä tehdyt liikennepolttoaineiden päästöarviot perustuvat EU:n uusituvan energiadirektiivin elinkaariin fossiilisten polttoaineiden ja biokaasun tietoihin (EU, 2018). Oletuksena on lisäksi, että puolet liikennepolttoaineeksi päätyvästä biokaasusta tehdään lannasta ja puolet nurmibiomasasta (päästövähennys 50 % fossiilisiin liikennepolttoaineisiin nähden).

4.6 Liikennejärjestelmä

Liikenne on yksi merkittävimmistä KHK-päästöjen lähteistä kansallisesti, jonka päästöjen puolittamista tavoitellaan vuoteen 2030 mennessä. Kotimaan liikenteen suorat KHK-päästöt olivat ennakkotietojen mukaan vuonna 2019 noin 11,1 Mt CO₂e (Tilastokeskus, 2020), joista yli 90 % muodostui tieliikenteen päästöistä (Lipasto, 2020). Myös kotitalouksien kulutuksessa liikkuminen on asumisen rinnalla yksi merkittävimmistä päästöjen aiheuttajista (Nissinen ja Savolainen, 2019). Liikennejärjestelmän kohdalla keskitytäänkin tieliikenteeseen ja yksityisautoiluun, joihin liittyvien kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalia esitellään taulukossa 8.

37 WAM1-skenaariossa biokaasutuotantoa ja siihen kytkeytyvää ravinnekiertoa tuettaisiin ja edistettäisiin monin tavoin. Kannustinten myötä sekä liikenne- ja teollisen biokaasun että kierrätyslannoitevalmisteiden markkinat saataisiin kehittymään voimakkaasti, mikä nostaisi maatalouden materiaalien ohjautumista biokaasutuotantoon. Tällöin lannasta yli kolmannes ohjautuisi biokaasutuotantoon (Lehtonen ym., 2020).

38 WAM2-skenaariossa kannustimia ja tukitoimenpiteitä biokaasutuotantoon ja ravinnekiertoihin tulisi vielä lisää. Tällöin biokaasutuotanto maatalouden biomassoista kasvaisi entisestään. Erityisesti nurmien biokaasukäyttö kasvaisi selvästi sekä liikennebiokaasun ja teollisen biokaasun osuus tuotetusta energiasta nousisi merkittävästi. Maatilakokoluokkaa suurempien laitosten osuus biokaasulaitoksista nousisi liikennebiokaasutuotannon tehostamiseksi ja ohjaamiseksi etenkin nesteytetyn biokaasun suuntaan raskaan liikenteen käyttöön (Lehtonen ym., 2020).

Taulukko 8. Arvio liikennejärjestelmän kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista.

Kiertotaloustoimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Uusiomateriaalien hyödyntämisen tieväylien rakentamisessa	1 matala	Materiaalien kierrätys uusiomateriaaleiksi tieväylien rakentamisessa on vielä tiukasti säädeltyä. Maantiefrastruktuurin päästöt ovat noin 0,5 Mt CO ₂ e/v (Hagström ym., 2011), joihin voi vähäisissä määrin vaikuttaa kiertotalouden toimenpitein. KHK-päästöjä, materiaali-intensiivisyyttä sekä neitseellisten luonnonmateriaalien käyttöä voidaan kuitenkin vähentää hyödyntämällä uusiomateriaaleja useissa eri tieväylien rakennusosissa.
Yhteiskäyttöautot (ml. autojen vuokraus)	2 kohtalainen	Yhteiskäyttöautoilu on nykyisin vielä suhteellisen harvinaista ja yhteiskäyttöautomarkkinoilla toimijoita on vielä vähän (Liikennevirasto, 2018). Arviossa oletetaan, että yhteiskäyttöautoilu lisääntyy merkittävästi nykyisestä, eli 30 % vuoteen 2035 mennessä, jolloin saavutetaan päästövähennyksiä ulkomailla autojen valmistukseen liittyen n. 0,25 Mt CO ₂ e/v ja lisäksi vähennetään yksityisautoilun käytön aikaisia päästöjä kotimaassa 0,3 CO ₂ e/v nykytilanteessa (Seppälä ym., 2019b).
Kimppakyydit	2 kohtalainen	Auton täyttöasteen kasvu 10 %:lla voi vähentää käytön aikaisia päästöjä parhaimmillaan 0,6 CO ₂ e nykytilanteessa. Vuoden 2035 tilanteessa päästövähennys on 0,1 CO ₂ e luokkaa. Kimppakyytien yleistymiseen liittyy epävarmuuksia.
Biokaasu	3 hyvä	Biokaasun liikennekäytön lisäämisessä on vielä paljon potentiaalia, sillä biokaasun liikennekäyttö oli vuonna 2017 biokaasun tuotannosta vain vajaa 5 % (Huttunen ym., 2018). Kasvattamalla biokaasun tuotantoa ja suuntaamalla sitä liikennekäyttöön, voidaan päästöjä saada alas jopa 1,8 Mt CO ₂ e/v vuoteen 2040 mennessä CO ₂ /v (Liimatainen ym., 2019).
Sivu- ja jätevirroista valmistetut polttoaineet (pl. biokaasu)	2 kohtalainen	Suomalaisista yhdyskunta- ja teollisuusjätteistä bioetanolin ja biodieselin valmistuksen lisäämismahdollisuudet ovat hyvin rajatut. Metsäteollisuuden sivuvirtoja voidaan periaatteessa valmistaa paljonkin biopolttoaineita, mutta käytännössä raaka-aineille löytyy muuta käyttöä. Biopolttoaineiden suunnitteilla oleva kotimaisen kapasiteetin lisäys on 1000 ktoe/v (11,63TWh/v).

Kiertotalous-toimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennys-potentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Power-to-x-tekniologia ja synteettiset polttoaineet	4 erittäin hyvä (tulevaisuudessa)	Teknologiat ovat vielä kehitteillä. Synteettisillä hiilineutraaleilla polttoaineilla on arvioitu vuoteen 2045 mennessä voitavan korvata kokonaisuudessaan fossiilisten hiilivetyypolttoaineiden tarve (Autoalan Tiedotuskeskus, 2020).
Sähköauton akkujen kierrätys ja uusiokäyttö	3 hyvä (tulevaisuudessa)	Sähköautojen akkujen valmistus aiheuttaa nykyisin usean tonnin CO ₂ e päästön. Kun sähköautot yleistyvät, akkujen kierrätystoiminta paranee. Tehostuvan kierrätyksen on arvioitu pienentävän akkujen elinkaaripäästöjä noin 7–17 prosenttia (Romare ja Dahllöf, 2017). Auton akuille on myös näköpiirissä toinen elämä autovaiheen jälkeen sähkövarastoina, jolloin siitä saatava päästöhvytys akun valmistuksen päästöihin voisi olla useita kymmeniä prosentteja alkupe- räisen akun valmistuksen päästöistä (ICCT, 2018).

Tieväylien ja rakennusten purkutyömailla syntyy suuria määriä rakennus- ja purkujätettä (sis. myös maa-ainekset), joita voidaan hyödyntää useissa eri tieväylien rakennusosissa, kuten penkereissä, kerrosrakenteissa, päällysteessä, kevennysmateriaalina, syvästabiloinnin sideaineseoksissa ja lämmöneristeenä (Väylävirasto, 2020b). Väylärakentamisessa uusiomateriaalien³⁹ käytöllä pyritään vähentämään luonnonmateriaalien (erityisesti sora, hiekka ja kalliomurske) sekä väylähankkeen ulkopuolelta tuotavien pengermateriaalien käyttöä. Materiaalien kierrätys uusiomateriaaleiksi tieväylien rakentamisessa on vielä vaativaa tiukan lainsäädännön takia. Uusiomateriaaleja pyritään kuitenkin hyödyntämään aina, kun se on teknisesti ja lainsäädännön kannalta mahdollista, ympäristön kannalta hyväksyttävää ja taloudellista. Maantieninfrastruktuurin päästöt ovat keskimäärin 0,51 t CO₂e, kun tieliikenteen aiheuttamat päästöt vastaavilla tieosuuksilla ovat noin 8,3 Mt CO₂e/v, joten tieninfrastruktuurin päästöt ovat murto-osa koko tieliikenteen päästöistä (Hagström ym., 2011). Hagström ym. (2011) tutkivat case-tapausten avulla tieväylien hiilijalanjälkeä 100 vuoden tarkastelujaksolla. Tieväylien kohdalla korostuivat rakentamisen materiaali-intensiivisyys (erityisesti betoni ja teräs), maa- ja kalliroleikkausmassojen ja rakennusmateriaalien kuljetetäisyydet sekä teiden korjaukset ja parannukset. Tieväylien rakentamisessa syntyvien

39 Väylärakentamisessa käytettävät uusiomateriaalit ovat yleensä syntyneet teollisissa prosesseissa tai jalostettu purkumateriaaleista sekä käytöstä poistetuista tuotteista. Tyypillisiä uusiomateriaaleja väylähankkeilla ovat muun muassa betonimurske (ks. luku 4.3), asfalttirouhe ja -murske, erilaiset tuhkat, ferrokromikuonamurske ja rengasrouhe.

KHK-päästöjen vähentämiseksi onkin tärkeää pyrkiä puhtaampaan materiaalinvalmistukseen, vähäpäästöisiin ja paikallisiin kierrätysmateriaaleihin⁴⁰, materiaalihukan minimointiin, työkoneiden uusiutuviin tai muuten vähähiilisiin polttoaineisiin, energiatehokkaisiin kuljetuksiin sekä tehokkaaseen materiaalin varastointiin (Mannola, 2019).

Yksityisautoilussa kiertotalouden kysyntään vaikuttavien liiketoimintamallien, kuten yhteiskäyttöautoilun, on arvioitu mahdollistavan päästövähennyksiä.⁴¹ Yhteiskäyttöautojen suurin nykypotentiaali on arjesta poikkeavissa matkoissa. Parhaimmillaan ne korvaavat ensimmäisen auton hankintaa ja nykyisiä kakkosautoja (Liikennevirasto, 2018). Skenaario, jossa yhteiskäyttöautoilun lisääntyminen vähentäisi uusien autojen kysyntää merkittävästi (-30 %), voisi pienentää päästöjä autojen valmistuksessa arviolta 0,25 Mt CO₂e/v ja lisäksi vähentää yksityisautoilun käytönaikaisia päästöjä 0,3 Mt CO₂e/v nykytilanteessa. Autojen valmistuksen päästövähennys ei kuitenkaan toteudu kotimaassa, kun taas käytönaikaisten päästöjen väheneminen toteutuu. Päästövähennysarvio perustuu autokalkulaattorin avulla tehtyyn laskelmaan (Seppälä ym., 2019b). Yhteiskäyttöautoilun päästövaikutukset olisivat vielä suuremmat, jos yhteiskäyttöautot olisivat sähkö- tai biokaasuautoja, jolloin ne pienentäisivät vielä olemassa olevan fossiilisiin polttoaineisiin perustuvien autojen käyttöä. Toisaalta yhteisautojen käyttö voi pienentää joukkoliikenteen suosiota. Yhteiskäyttöautoilussa kansalaisia kiinnostasi erityisesti mahdollisuus päästä paikkoihin, joihin julkisella liikenteellä ei helposti pääse. Autottomilla tämä nousikin tärkeimmäksi yhteiskäyttöautojen käytön ajuriksi (Liikennevirasto, 2018). Tällöin yhteiskäyttöautot korvaavat ympäristöystävällisempää julkista liikennettä. Lisäksi autojen yhteiskäytön suosio kasvaa skenaarion mukaisesti mittoihin ehkä vasta vuoteen 2035 mennessä, jolloin yksityisautoilun käytönaikaisten päästöjen tulisi olla noin 50–70 % nykyistä vähäisemmät ja autojen valmistuksen päästöt vähintään 50 % pienemmät. Vuoden 2035 päästötilanteessa yhteiskäyttöautojen päästövähennys voisi olla 0,2 Mt CO₂e luokkaa.

40 Esimerkiksi asfaltti on nykyään yhä yleisemmin kierrätystuote ja ns. remix-käsittelyissä kierrätetyn asfalttipäällysten osuus on jopa 80–90 %. Asfaltin valmistuksen hiilidioksidipäästöt vähenevät kierrättämällä asfalttia uudelleen asfalttimassan raaka-aineena, valmistamalla massa matalammassa lämpötilassa sekä korvaamalla raskas polttoöljy asfalttiasemalla ja levityskalustossa biopolttoaineella. Asfaltin valmistuksen laskennalliset hiilidioksidipäästöt pienenevät jopa 50 prosenttia biopolttoaineita käytettäessä. Matalalämpöasfaltin valmistus kuluttaa vähemmän energiaa, jolloin päästöt voivat vähentyä jopa 11 prosenttia (INFRA ry, 2020).

41 Autojen yritys- ja yksityisleasingpalvelut on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Yhteiskäyttöautoilun kasvun haasteita

Liikkumisvalintojen taustalla on useita tekijöitä, kuten asuinpaikka, julkisen liikenteen yhteydet, säätila, raha, aika ja perhetilanne. Suomalaiset ovat tyyppillisesti jakautuneet autollisiin (enemmistö) ja autottomiin, kun taas auton ostamisen ja autosta luopumisen harkitsijoita, potentiaalisiksi yhteiskäyttöautoilijoiksi tunnistettuja, on tällä hetkellä vielä suhteellisen pieni joukko (Liikennevirasto, 2018). Liikenneviraston (2018) tutkimuksessa vain 6 % vastaajista ilmaisi kiinnostusta yhteiskäyttöautoilua kohtaan, joista puolella (3 %) oli jotain kokemusta yhteiskäyttöautoilusta. Tutkimuksessa listataan useita tekijöitä, jotka estävät yhteiskäyttöautoilun lisääntymistä. Näitä ovat muun muassa tapojen muuttamisen vaikeus, omistusautoilun todellisten kustannusten huono tuntemus, esteet palvelun saatavuudessa sekä kaupunkirakenteen, infran ja julkisen liikenteen huono yhteensopivuus yhteiskäyttöautoilun kanssa.

Kansalaisten keskinäisten kimppekyytien avulla pienennetään ajoneuvosuoritetta ja sitä kautta päästöjä. Vuonna 2018 henkilöautojen päästöt Suomessa olivat noin 6 Mt CO₂e (Tilastokeskus, 2020). Auton täyttöasteen kasvu 10 %:lla kimppekyytien avulla voisi parhaimmillaan vähentää siis päästöjä 0,6 Mt CO₂e nykytilanteessa. Vuoden 2035 tilanteessa päästövähennys on pienempi, n. 0,1 Mt CO₂e luokkaa, vähäpäästöisempien ajoneuvojen ja polttoaineiden ollessa yleisempiä. Kimppekyydit ovat yleisempiä vapaa-ajan harrastustoimintaan liittyen, joten kimppekyydeillä olisi kasvupotentiaalia esimerkiksi työmatkaliikenteessä.

Biokaasun kasvattamiseen liikennekäytössä on suuret mahdollisuudet. Vuonna 2017 biokaasua tuotettiin yhteensä noin 0,7 TWh, josta liikennekäyttöön meni vain 0,03 TWh (Huttunen ym., 2018). Yleisesti nähdään, että teknis-taloudellinen biokaasun kasvattamispotentiaali olisi noin 10 TWh (esim. Virolainen-Hynnä, 2019; Mutikainen ym., 2016). Vuonna 2017 biokaasulla tuotettiin energiaa vain noin seitsemän prosenttia koko teknis-taloudellisesta biomassapotentiaalista (Huttunen ym., 2018). Kasvumahdollisuudet liittyvät etenkin lannan ja nurmibiomassan raaka-aineen käyttöön. Biokaasun päästövähennykset fossiiliseen polttoaineeseen nähden riippuvat tuotantotekniikasta ja raaka-aineen alkuperästä riippuen. Biokaasun kasvihuonekaasuvähennykset fossiilisiin polttoaineisiin nähden ovat biojätteelle 14–78 % ja lietelannalle 72–202 %. Lietelantapohjaisen biokaasun nettonegatiiviset päästöt johtuvat siitä, että toiminnalla estetään lannan metaanipäästöt (esim. Seppälä ym., 2019b). Liimatainen ym. (2019) ovat arvioineet, että jos biokaasupotentiaali saadaan täysimääräisesti liikennekäyttöön, niin henkilöautojen päästöjä voitaisiin

leikata peräti 1,8 Mt CO₂e/v vuoteen 2040 mennessä. Vuoteen 2030 mennessä leikkaus voisi olla 0,9 Mt CO₂e/v luokkaa. Päästövähennyksestä yli 90 % kohdentuisi Suomen taakanjakosektoriin.

Biokaasun liikennekäytön kasvun haasteita

Biokaasun liikennekysyntää rajoittaa kaasuautokannan hidas kasvu eikä suurempaan biokaasuautomäärään pääseminen ole nykyisellä autotarjonnalla kovin todennäköistä. On arvioitu, että vuoteen 2030 mennessä voitaisiin saada liikenteeseen noin 50000 kaasuhenkilöautoa, noin 6000 kaasua käyttävää pakettiautoa ja noin 1200 raskasta kaasujoneuvoa (Nylund ym., 2015)⁴². Biokaasun liikennekäyttöä haittaavat nykyisellään erityisesti harva jakelupisteverkosto ja niiden sijaintipaikat syrjässä pääteiltä, pienehkö ajoneuvomäärä sekä kuluttajatottumukset, jotka suosivat muita polttoaineita. Myöskään julkisessa liikenteessä ei ole riittävästi kannusteita kaasun käyttöön. Uhkina nähdään muun muassa voimakas vastakkainasettelu muiden tieliikenteen ympäristöstävällisten energiavaihtoehtojen kanssa sekä pelko ajoneuvojen jälkimarkkinakelpoisuudesta ja -hinnasta. Lisäksi biokaasun tuotantolaitoksen kannattavuus on huono ilman tukia. Kotimaista ja kustannustehokasta laitosteknologiaa on heikosti saatavilla.

Biokaasun lisäksi jäte- ja sivuvirroista voidaan valmistaa biopolttoaineita kuten etanolia ja uusiutuvaa dieseliä. Jäte- ja sivuvirroista valmistetut biopolttoaineet ovat ns. 2. sukupolven biopolttoaineita, jotka vähentävät päästöjä tehokkaammin eivätkä kilpaile samoista raaka-aineista mm. ruoantuotannon kanssa. Liikenteen biopolttoaineiden osuus tieliikenteen nestemäisissä polttoaineissa nostetaan ns. jakeluelvoitelailloilla⁴³ 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. (Autoalan Tiedotuskeskus, 2020). Biopolttoaineiden sekoitelvelvoitteen nousu vuoden 2016 tasosta (8 %) tuottaisi tieliikenteessä noin 2,3 Mt CO₂e

42 Näiden biokaasun kulutus olisi yhteensä noin 50 ktoe/v (0.58 TWh/v). Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) päästöskenaarioiden mukaan biokaasulla kulkevia henkilöautoja olisi kuitenkin vuonna 2035 vain reilut 17 000, pakettiautoja 167 ja raskaita ajoneuvoja maksimissaan 6400 (LVM ja VTT, 2020). Liikennekäytössä olevien biokaasuautojen energiankäyttö olisi perusennusteessa 38 ktoe (0.44 TWh) ja maksimissaan 88 ktoe (1,02 TWh) vuodessa (Nylund ym., 2015).

43 Polttoainetoimittaja voi itse päättää mihin polttoaineisiin se bio-osuudet sekoittaa, sillä eri polttoainetyypeille ei ole asetettu erikseen määriä. Nykyisen nestemäisten biopolttoaineiden jakeluelvoitteen yhtenä ongelmana on, että se ei kannusta velvoitetta suurempaan biokomponenttien osuuteen.

päästövähennyksen. Biopolttoaineiden lisäkysyntä pyritään kattamaan kotimaassa tuotettavilla kehittyneillä biopolttoaineilla. Liikenteen energiankulutusarvioiden perusteella tarvittava kokonaismäärä olisi n. 1,1 Mtoe/v (12,8 TWh/v) ja lisätuotantokapasiteetin tarve olisi 0,6 Mtoe/v (7 TWh/v) vuoteen 2030 mennessä (Huttunen, 2017). Raaka-aineina olisivat pääosin erilaiset biojätteet, biomassapohjaiset öljyt, puupohjaiset biomassat ja prosessitähteet. Sipilän ym. (2018) mukaan kotimaisen kokonaistuotannon odotetaan kasvavan suunnitelluilla investoinneilla noin 1,5 Mt tasolle (17 TWh/v), jolloin kotimaisista raaka-aineista tuotettujen biopolttoaineiden osuus olisi 30–40%. Kotimainen biopolttoaineiden tuotantokapasiteetti on tällä hetkellä noin 540 ktoe/v (6,2 TWh/v), joka perustuu lähes kokonaan uusiutuvan dieselin ja etanolin tuotantoon. Kotimaisiin raaka-aineisiin perustuva tuotanto on vain 100 ktoe/v (1,16 TWh/v), sillä kotimaisesta tuotannosta yli puolet tuotetaan ulkomaista tuotuihin jäteöljyihin ja –rasvoihin. Kotimaisen kokonaistuotannon odotetaan kasvavan suunnitelluilla investoinneilla noin 1,5 Mtoe/v (17 TWh/v) tasolle, jolloin kotimaisista raaka-aineista tuotettujen biopolttoaineiden osuus olisi 30–40% (Sipilä ym., 2018).

Etanolipolttoliikenteen koko elinkaaresta aiheutuvia päästöjä voidaan pienentää käyttämällä raaka-aineena lähialueiden jätettä sekä teollisuuden prosessien sivutuotteita. Suomessa etanolia tuotetaan erilaisista teollisuuden ja kotitalouksien biojäte- ja tähdejakeista. Koska etanoli on toistaiseksi Suomessa pitkälti jättepohjaista, niin päästövähennyspotentiaali on bensiiniin nähden parhaimmillaan jopa 85 % (Seppälä ym., 2019b). Uusiutuvan dieselin tuotanto on viime vuosina keskittynyt jäte- ja tähdeperäisiin raaka-aineisiin, ja esimerkiksi palmuöljyä ei ole käytetty juurikaan raaka-aineena Suomessa. Uusiutuvan dieselin koostumus on fossiilisen dieselin kaltainen, joten sitä voi sekoittaa rajoituksetta fossiiliseen dieseliin tai käyttää jopa 100 % pitoisuuksina.

Yksi lupaavimmista kiertotalouskonsepteista on synteettisten vedystä ja talteenotetusta hiilidioksidista valmistettavien polttonesteiden tuotanto, jonka on ennakoitu yleistyvän 2030-luvulla (Autoalan Tiedotuskeskus, 2020). Power-to-x-tekniikkaa voidaan soveltaa synteettisten, fossiilisia korvaavien polttoaineiden valmistukseen. Synteettisiä polttoaineita voidaan valmistaa eri termokemiallisia menetelmiä käyttäen (esim. Välimäki, 2020). Raaka-aineiksi tarvitaan hiilidioksidia ilmasta tai savupiipuista ja vetyä vedestä. Valmistusprosessi toteutetaan uusiutuvan sähkön avulla päästöttömästi. Lopputuotteet, kuten metaani, metanoli ja dimenyylietteri ovat tunnettuja polttoaineita, joita voidaan käyttää nykyisten henkilöautojen, raskaan liikenteen ja laivojen moottorissa, mikä säästää investointeja siirryttäessä hiilivapaaseen maailmaan (LUT, 2018). Myöskin olemassa olevat polttoaineiden jakelujärjestelmät sopivat, mikä edelleen nopeuttaa siirtymistä hiilineutraaliin liikenteeseen.

Synteettisten polttoaineiden yleistyminen riippuu ensisijaisesti uusiutuvan sähkön tuotantokustannuksista, sillä vedyn laajamittainen valmistaminen on energiantensiivistä ja se

edellyttää edullista uusiutuvaa sähköä ollakseen hiilineutraali. Suomessa on paljon potentiaalia lisätä erityisesti tuulivoimaa. Tarvittavan uusiutuvan energian määrää voidaan laskea, mikäli käytettävä vety hankitaan teollisuuden sivuvirtojen synnyttämästä vedystä. Esimerkiksi Suomen selluteollisuudessa syntyy sivutuotteena vetyä (Välimäki, 2020). Kehittäessä synteettisten polttoaineiden valmistusprosessia kokonaisuutena olisikin tärkeää hyödyntää eri vaiheissa syntyvät sivutuotteet mahdollisimman pitkälle prosessin sisällä. Lisäksi hiilipohjaisten synteettisten polttoaineiden kestävyysvaatimusten tulisi vaatia hiilidioksidin talteenottoa ja käyttöä joko suoraan ilmakehästä tai biopohjaisten hiilidioksidilähteiden kautta, jotta voitaisiin varmistaa hiilidioksidin suljettu kierto ja nollapäästötasapaino olisi mahdollista (Bracker ja Timpe, 2017). Suomessa on saatavissa teollisista prosesseista merkittävän suuri potentiaali biopohjaista hiilidioksidia esimerkiksi biojalostamoista ja sellutehtaiden savupiipuista. Vedyn ja hiilidioksidin pistelähteet mahdollistavat jo nyt kannattavan teollisen tuotannon, mutta laajamittainen teollinen tuotanto vaatii kuitenkin vielä helposti saatavia raaka-aineita ollakseen kannattavaa (LUT, 2018).

Sähköautojen yleistymisen myötä yhtenä haasteena on saada niiden valmistuksessa syntyviä elinkaarisia päästöjä alaspäin. Akkujen vuoksi sähköautojen valmistuksen päästöt ovatkin suuremmat kuin samankokoisen polttomoottoriauton päästöt. Euroopan ympäristöviraston sähköautojen elinkaariautoselvityksessä (EEA, 2018) keskimääräinen akkujen valmistuksen elinkaarinen päästö oli 111 kg CO₂e/kWh, mikä merkitsee esim. 50 kWh-akussa noin 5 t CO₂e päästöä. Romare ja Dahllöf (2017) arvioivat kuitenkin, että Aasiassa valmistettujen akkujen elinkaariset päästöt ovat 120–150 kg CO₂e/kWh. Selvityksessä päädyttiin siihen, että noin puolet akkujen päästöistä syntyy valmistuksessa käytetystä sähköstä. Vähähiilisyden edetessä sähkön päästökertoimen lasku ei siis vähennä kuin osittain akkujen valmistuksen päästöjä, mikä korostaa akkumateriaalien kierrätyksen merkitystä myös akkujen päästöjen hallinnassa.

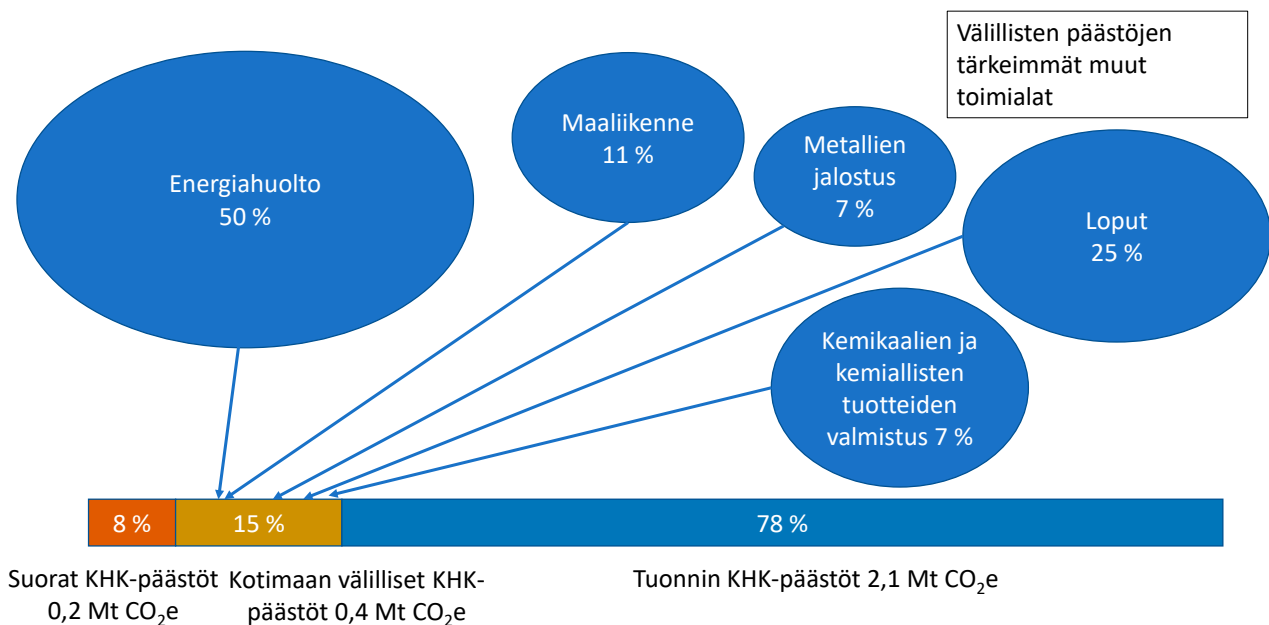
Kun akkujen käytöstä luovutaan, niissä on tyypillisesti jäljellä vielä 70–80 % varauskapasiteetista. Romare ja Dahllöf (2017) ovat arvioineet, että tehostunut kierrätys pienentää akkujen elinkaarisia päästöjä 7–17 %. ICCT (2018) nostaa esille akkujen ”toisen elämän” esimerkiksi uusiutuvien energialähteillä tuotetun sähkön varastona. Varastoinnin avulla vältetyt fossiiliperäiset energiapäästöt vähentävät myös tällä tavalla akkujen valmistuksen päästöjä. ICCT (2018) on esittänyt, että tämä hyvitys voisi olla useita kymmeniä prosentteja alkuperäisen akun valmistuksen päästöistä.

4.7 Muovit

Muoveilla on monia hyviä ominaisuuksia, kuten keveys, kestävyys ja kustannukset, joiden takia niiden käyttö on globaalisti 20-kertaistunut viimeisen 50 vuoden aikana (Muovitie-kartta, 2020). Muovilajeja on paljon erilaisia ja niitä käytetään hyvin monenlaisissa kohteissa (esim. rakenteissa, pakkauksissa ja erilaisissa kuluttajatuotteissa). Suomessa muovia käytetään eniten pakkauksissa (40 %) ja rakennusteollisuudessa (24 %) (Eskelinen ym., 2016).

Kuva 13 esittelee muovi- ja kumiteollisuuden elinkaariset KHK-päästöt. Kyseisen teollisuudenalan elinkaariset KHK-päästöt olivat vuonna 2015 2,6 Mt CO₂e, joista muoviteollisuus kattaa noin 80 %. Merkillepantavaa elinkaaripäästöjen jakautumisessa on suuri tuonnin osuus (78 %), sillä tämän teollisuudenalan tuotantotoiminnan pääraaka-aineet (fossiiliset raaka-aineet ja lisäaineet) ovat päästöintensiivisiä tuontituotteita.

Kuva 13. Muovi- ja kumiteollisuuden elinkaariset KHK-päästöt 2,6 Mt CO₂e vuonna 2015. Kumiteollisuuden osuus elinkaarisista päästöistä oli 18 %. (Luvut eivät välttämättä summaudu pyöristysten vuoksi.)



Arvio muovien kiertotaloustoimenpiteiden suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista on nähtävillä taulukossa 9. Arvion mukaan muovijätteen polton (energiahyödyntämistaroituksessa) välttäminen kiertotaloustoimena voi tarjota merkittäviä päästövähennyksiä tietyillä ehdoilla. Poltolle on löydyttävä korvaavia ratkaisuja uusiutuvien energialähteiden avulla ja samalla kerran käytetyille muoville pitää kierrättämisen (mekaanisen ja kemiallisen) ja uudelleenkäytön kautta löytyä uusia materiaalihyödyntämistapoja.

Muovien kierrätykselle on asetettu useita tavoitteita. EU:n tavoitteena on nostaa pakkausmuovien kierrätys 55 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Suomessa on vielä matkaa tähän tavoitteeseen; Suomen uusiomuovi Oy:n arvio pantillisten ja pantittomien pakkausten kierrätysasteesta on yli 40 % vuodelta 2019⁴⁴. Eryteisesti kierrätysasteen laskentatavan muutos vuonna 2020 vaikuttaa EU:n asettaman kierrätystavoitteen saavuttamiseen. EU tavoittelee myös fossiilispohjaisten muovisten kertakäyttöhyödykkeiden korvaamista biopohjaisilla ratkaisuilla. Muoveista ns. kertamuovit, kuten esimerkiksi polyuretaani (PUR) polyisosyanuraatti (PIR), komposiittimuovit eli lujitemuovit: tyydyttymätön polyesteri (UP), epoksi (EP) ja vinyyliesteri (VE), ovat hankalampia kierrättää. Näitä muoveja ei voida sulattaa ja muovata uudelleen, mutta ne voidaan jauhaa ja käyttää täyteaineena. Sovelluskohteita kertamuovien kierrättämiseen on vielä vähän. Yleisin muovikomposiitti, lasikuidulla lujitettu polyesteriharts, ei myöskään sovellu poltettavaksi. Muovien kierrätys ei kuitenkaan ole aivan yksinkertaista ja osaa haasteita on aukaistu alla olevassa tietolaatikossa.

44 Myös matalampia arvioita on esitetty (ks. esim. <https://yle.fi/uutiset/3-11062711>).

Taulukko 9. Arvio muovien kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista.

Kiertotaloustoimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Muovijätettä ei polttoon	4 erittäin hyvä tai 3 hyvä	<p>Arvioiden mukaan Suomessa 80–90 % muovijätteestä päätyy polttoon (Eskelinen ym., 2016). Sekajätteen mukana polttoon päätyy noin 220 000 tonnia muovia (Roschier ym., 2020). Muovijätteen polttamisen kasvihuonekaasupäästöt ovat vuosittain Suomessa arviolta noin 0,5 Mt CO₂e⁴⁵. Muovijätteen polttaminen kadottaa materiaalin pois kierrosta, jolloin kierrättäminen, uusiokäyttö ja uudelleenkäyttö eivät ole enää mahdollisia.</p> <p>Polton välttäminen liittyy kolmen seuraavan kiertotaloustoimenpiteen toteutumiseen. Päästöarvio kattaa vain vältetyn muovin polton vaikutukset.</p>
Muovin mekaaninen kierrättäminen ja materiaalihyötykäyttö	3 hyvä	<p>Mekaaninen kierrätys ja muovimateriaalien hyötykäyttö on päästövaikutuksiltaan selvästi matalampi kuin ensiömuoviketjun kautta valmistettujen tuotteiden ja hieman matalampi tai samansuuruinen kuin kemiallinen kierrättäminen kautta saavutettavan materiaalihyödyntämisen (CE Delft, 2019; Material Economics, 2018). Fortumin Riihimäen muovijalostamo on erikoistunut mekaaniseen kierrättämiseen. Se kierrättää kotitalouksien pakkausmuoveja ja kaupan ja teollisuuden muoveja (Fortum, 2020). Arvioinnissa oletetaan, että mekaaninen kierrättäminen kasvaa tulevaisuudessa selvästi nykyisestä. Tällä hetkellä Suomessa kierrätetään mekaanisesti pakkausmuoveja.</p>
Muovin kemiallinen kierrättäminen ja materiaalihyötykäyttö	3 hyvä (mikäli lopputuote ei ole polttoaine)	<p>Kemiallinen kierrätys on vielä tutkimus- ja kokeiluasteella Suomessa (Neste, 2020; Roschier ym., 2020). Kemiallinen kierrätys mahdollistaa selkeitä päästövähennyksiä verrattuna ensiömuovin materiaalikäyttöön, mutta mekaaniseen kierrätykseen verrattuna sen päästövaikutus on hieman suurempi tai samansuuruinen riippuen käytetystä teknologiasta (CE Delft, 2019; Material Economics, 2018). Kemiallinen kierrätys soveltuu kuitenkin mekaanista monipuolisemmin erilaisille muovimateriaaleille. Arvioinnissa oletetaan, että kemiallinen kierrätys tulee lisääntymään tulevaisuudessa selvästi nykyisestä. Kemiallinen kierrätys on energiantensiivistä, jolloin vähäpäästöinen sähköntuotanto on tärkeää.</p>

45 Oma laskelma perusten Roschier ym. (2020) ja Statistics Finland (2019) tietoihin.

Kiertotalous-toimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennys-potentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Muovituotteiden uudelleenkäyttö	2 kohtalainen	Muovituotteiden uudelleenkäyttö on Suomessa yleistä etenkin muovipakkauksiin liittyen teollisuuden ja kaupan välisessä logistiikassa (Suomen Uusiomuovi Oy, 2020). Arvioinnissa oletetaan, että muovituotteiden uudelleenkäyttöä muutoin voitaisiin lisätä jonkin verran nykyisestä (ks. teksti). Muovituotteiden uudelleenkäytöllä vähennetään ensiömuovin kysyntää ja valmistuksesta aiheutuvia päästöjä.
Muovien käytön optimointi	3 hyvä tai 2 kohtalainen	Toimenpiteen käyttöönoton tasosta ja vaikutuksista on vähän tietoa, joten arvio sisältää paljon epävarmuuksia. Arvioinnissa oletetaan, että muovien käytön optimoinnilla (esim. välttämällä ylipakkaamista) vähennetään ensiömuovin kysyntää ja valmistuksesta syntyviä päästöjä.
Biopohjaiset muovit	3 hyvä tai 2 kohtalainen	Useiden eri biopohjaisten muovien päästövaikutusten on osoitettu olevan pienemmät kuin fossiilisista raaka-aineista valmistettujen (Spierling ym., 2018; Tsiropoulos ym., 2015). Toisaalta sellupohjaisten biomuovien päästö- ja muista ympäristövaikutuksista on vain vähän tutkimustietoa tarjolla (Spierling ym., 2018) ⁴⁶ . Arviointiin liittyy siis paljon epävarmuuksia (ml. maankäyttönäkölmat). Biopohjaisia muoveja on toistaiseksi vain pieni osa Suomen muovintuotannosta, arviolta noin 6 % ⁴⁷ , mutta osuuden voidaan olettaa kasvavan (European Bioplastics, 2020).

Ainakin osa muovin polton ja tuotannon hiilidioksidipäästöistä saadaan leikattua eri muovilaatujen tehokkaammalla kierrätyksellä ja uudelleenkäytöllä (Roschier ym., 2020). Mekaanisessa kierrätyksessä muovi kerätään, lajitellaan ja pestään sekä muokataan mekaanisesti uusiin käyttötarkoituksiin. Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys täydentävät hyvin toisiaan materiaalivirtojen näkökulmasta, sillä ne soveltuvat erityyppisille muovivirroille⁴⁸. Elinkaariarvioiden mukaan muovien kemiallinen kierrätys on selvästi jätteenpoltoa tai ensiömuovia parempi vaihtoehto hiilidioksidipäästöjen osalta (CE Delft, 2019; Material Economics, 2018). Kemiallisen kierrätyksen teknologioista pyrolyysi ja kaasutus mahdollistavat

46 Jotta ne pystyisivät vastaamaan fossiilisperäisten muovien roskaantumishaasteeseen, niiden tulisi olla biohajoavia.

47 Perustuu omiin laskelmiin (ENVIMAT).

48 Kemialliseen kierrätykseen soveltuvat myös erilaisia muovilaatuja, lisäaineita tai haitta-aineita sekä komposiitteja ja monikerroskalvoja sisältävät muovimateriaalit (Roschier ym., 2020).

noin puolet mekaanisen kierrätyksen päästövähennyksistä, kun taas solvolyyysi ja depolymerointi mahdollistavat samansuuruiset päästövähennykset (CE Delft, 2019). Kemiallinen kierrätys mahdollistaa lähtömateriaalin muuntamisen erilaisiksi tuotteiksi, kuten poltto- ja voiteluaineet ja uusien muovien erilaiset raaka-aineet. Muuntaminen muovista polttoaineksi sallii alkuperäisen muoville kuitenkin vain yhden lisäkäytön toisin kuin vaihtoehtoiset ratkaisut, jotka voivat johtaa useisiin polymeerin uusiokäytön elinkaariin ja täten myös korkeampiin päästövähennyksiin. Samoin erilaisille komposiittiyhdistelmille, kuten muovi-puu-komposiiteille ei välttämättä ole valmiina kierrätysvaihtoehtoja.

Muovijätteen kierrättämisen ja hyödyntämisen haasteita

Muovijätteen keräykseen, käsittelyyn sekä kierrätysmuovin valmistukseen ja käyttöön liittyy monenlaisia haasteita. Muovijätteen hyödynnettävyyteen ja kierrätettävyyteen vaikuttavat merkittävästi muovilajin uudelleenmuokattavuus, puhtaus ja haitalliset aineet⁴⁹ sekä toiminnan kannattavuus. Toistaiseksi vain volyymiltaan riittävän suuria muovilajivirtoja on pidetty kiinnostavina mekaanisen kierrätyksen kannalta (Kauppi ym., 2019). Muovijätteen kierrätyksen tehostamisessa, oli kyseessä mekaaninen tai kemiallinen ratkaisu, on ensiarvoisen tärkeää, että kierrätykseen päätyvät muovivolyymit saadaan kasvamaan sekä kierrätys laajenemaan pakkausmuoveista muihin muoveihin (Roschier ym., 2020).

Yhtenä isona haasteena esille nousee myös uusiomuovien kysynnän vähäisyys. Lisäksi kemiallisen kierrätyksen toteutuminen tuotannollisessa mittakaavassa edellyttää teknologista kehitystyötä ja kustannusten pienenemistä (Järvelä ja Järvelä, 2015; Roschier ym., 2020).

Muovijätteiden turvallinen hyödyntäminen kierrättämällä vaatii haitallisiin aineisiin liittyvien riskien tunnistamista, arviointia ja hallintaa. Muovijätteitä, joiden kemikaalisäilytystä ei tiedetä, voidaan nykyisin hyödyntää energiaksi. Mikäli haitallisia aineita ei saada poistetuksi materiaalikierrätyksistä, ne lisäävät väestön kemikaalikuormaa. (Kauppi ym., 2019.)

49 Kestomuovit, kuten polyeteeni (PE), polypropeeni (PP) ja polyvinyylidikloridi (PVC) ovat soveltuvia mekaaniseen kierrätykseen uudelleenmuokattavuutensa ansiosta, kun taas kertamuoveille (esim. polyuretaani ja komposiittimuovit), mekaaninen kierrätys ei ole mahdollista (Kauppi ym., 2019).

Muovituotteiden uudelleenkäyttö ja muovin käytön optimointi mahdollistavat päästövähennyksiä, sillä ne vähentävät ensiömuovin kysyntää. Näistä suuremman päästövähennyspotentiaaloin omaa varovaisen arvion mukaan muovin käytön optimointi. Muovin materiaalikäyttöä voidaan Suomessa todennäköisesti tehostaa vielä nykyisestä. Etenkin pakkauksissa on potentiaalia materiaalikäytön optimoinnissa. Kierrätystä edistää hyvä pakkauksen tuotesuunnittelu muun muassa käyttämällä läpinäkyvää tai vaaleita värisävyjä sekä hyödyntämällä mahdollisimman vähän erilaisia muovilajeja. Muovin materiaalikäytön optimoinnin parantuessa 10 %, olisi kotimaan muoviteollisuuden elinkaaristen KHK-päästöjen vähennys arviolta n. 0,2 Mt CO₂e, joista valtaosa kohdentuisi kuitenkin maamme rajojen ulkopuolelle (ks. kuva 13). Muovituotteiden uudelleenkäyttöä voidaan puolestaan todennäköisesti lisätä ainakin tietyissä tuoteryhmissä, kuten kuluttajapuolen pakkauksissa (Ellen MacArthur Foundation, 2019b), rakentamisen putkien ja isojen autonosien kohdalla (Material Economics, 2018). Jos muovituotteiden uudelleenkäyttö kasvaisi 5 %, olisi kotimaan muoviteollisuuden elinkaaristen KHK-päästöjen vähennys n. 0,1 Mt CO₂e luokkaa. Valtaosa muovituotteista ei ole soveltuvia uudelleenkäytettäväksi sellaisenaan mm. turvallisuussyistä.

Biopohjaisia muoveja sekä niiden raaka-aineita kehitetään jatkuvasti. Globaalista muovintuotannosta vain noin yksi prosentti on biopohjaisia muoveja, mutta niiden osuus on kasvanut vuosi vuodelta ja trendin odotetaan jatkuvan (European Bioplastics, 2020). Pääosa biopohjaisista muoveista käytetään pakkauksiin, mutta niitä hyödynnetään myös esimerkiksi tekstiileissä, kuluttajatuotteissa ja maanviljelyssä (European Bioplastics, 2020). Biopohjaisten muovien KHK-päästövaikutusten määrittäminen on haasteellista. Samaan aikaan kun fossiilisten raaka-aineiden käyttö muovintuotannossa vähenee, niin korvaavan uusiutuvan raaka-aineen käyttö kasvaa, jolloin uusiutuvan raaka-aineen tuotantoon liittyvät tekijät (mm. tuotannon energiaintensiivisyys, maankäyttö) korostuvat. Olemassa oleva tutkimustieto biopohjaisten muovien päästövaikutuksista ja kierrätettävyydestä on niukkaa ja osittain myös ristiriitaista (ks. esim. Spierling ym., 2018; Tsiropoulos ym., 2015). Monien biopohjaisten muovien päästövaikutusten on kuitenkin osoitettu olevan pienemmät kuin fossiilisista raaka-aineista valmistettujen (Spierling ym., 2018). Toisaalta sellupohjaisten biomuovien päästövaikutuksista on tarjolla hyvin vähän tutkimustietoa. Suomessa on potentiaalia etenkin selluloosapohjaisten biomuovien valmistuksessa mm. raaka-aineen saatavuuden vuoksi.

4.8 Elektroniikka

Vuonna 2015 elektroniikkateollisuus oli Suomessa 12. merkittävin toimiala sekä tuotoksen että arvonlisäyksen perusteella laskettuna. Kotimaisilla markkinoilla olleet elektroniikkateollisuuden valmistamat tuotteet olivat kuitenkin valtaosin tuontitavaraa (keskimäärin noin 80 %). Kuluttajaelektroniikan tuontiosuus oli käytännössä 100 %. Euromääräisen arvon

perusteella elektroniikkatuotteista (kotimainen tuotanto ja tuonti) välituotteiksi meni 44 %, vieniin 37 % ja 9 % kotitalouksien kulutukseen ja 9 % investointeihin.

Kotimaisen elektroniikkateollisuuden suorat KHK-päästöt ovat hyvin alhaiset (kuva 2). Elin-
kaarisista päästöistä jopa 80 % aiheutuu tuontituotteiden käytöstä (kuva 3). Sekä elekt-
roniikkatuotteiden tuonti että kotimainen valmistus aiheuttavat valtaosan elinkaarisista
päästöistään Suomen rajojen ulkopuolella.

Taulukossa 10 on esitetty arvio elektroniikan kiertotaloustoimenpiteiden suhteellisesta
päästövähennyspotentiaalista.

Taulukko 10. Arvio elektroniikan kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista.

Kiertotalous- toimenpide	Arvio suhteel- lisesta päästö- vähennys- potentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Elektroniikka- tuotteiden käyt- töön kasvattami- nen (ml. kulutta- janäkölma)	3 hyvä	EU:ssa elektroniikkatuotteita käytetään keskimäärin noin 2,3 vuotta vähemmän aikaa kuin niiden suunniteltu tai toivottu käyttöikä olisi (EEA 2020a). Käyttöiän pidentäminen vähentäisi uusien tuotteiden tuotannon tarvetta ja sitä kautta vähentäisi päästöjä.
Materiaalien kierrätys	2 kohtalainen tai 3 hyvä	EU28:ssa vuonna 2017 elektroniikkajätteestä kierrätettiin 31 %, kun arvioitu potentiaali olisi 75 % (EEA, 2020b). Kier- rätyksen päästöhödyt vaihtelevat tuoteryhmittäin suu- resti.
Elektroniikka- tuotteiden "kiertotalous- suunnittelu"	3 hyvä	Suunnittelulla voidaan edistää kahden edellisen toimenpi- dealueen toteutumista. Lisäksi suunnittelulla voidaan vai- kuttaa muun muassa vähäpäästöisempien materiaalien valintaan.
Leasing- ja jaka- mistalouden rat- kaisut	1 matala tai 2 kohtalainen	Toimenpidealueella vähennetään uusien tuotteiden valmis- tustarvetta ja sitä kautta syntyviä päästöjä, mutta toimin- nalla on todennäköisesti melko rajattu potentiaali. Edellyt- tää yritysten ja kuluttajien toimintatapojen muutosta.

EU:ssa markkinoille tulee vuosittain yli 20 kg elektroniikkatuotteita per asukas. Tästä noin 60 % (11,8 kg) valmistetaan EU:ssa ja 40 % (8,8 kg) tuodaan (Eurostat, 2019). Kuluttajae-
lektroniikkatuotteet ovat hyvin erilaisia sovelluksia kuten pesukoneita, televisioita, mat-
kapuhelimia, tietokoneita ja mikroaaltouuneja. Euroopan ympäristöviraston (EEA, 2020a)
arvion mukaan näitä tuotteita käytetään keskimäärin noin 2,3 vuotta vähemmän aikaa

kuin niiden suunniteltu tai toivottu käyttöikä olisi. Käyttöiän pidentämispotentiaalin realisointi pitää sisällään merkittävän päästövähennyspotentiaalin globaalisti. Esimerkiksi älypuhelimien keskimääräinen pitoaika (nyt 1,8 vuotta) voitaisiin helposti kaksinkertaistaa, jolloin älypuhelimien valmistusmäärät ja siten niistä aiheutetut päästöt voitaisiin puolittaa (eri tutkimusten mukaan elinkaariset päästöt 16–110 kg CO₂e/puhelin) (EEA, 2020a). Jos suomalaisista 50 % toimisi näin ja puhelimen käytön aikaisten päästöjen oletetaan olevan noin puolet puhelimen elinkaarisista päästöistä, niin päästöjä vähensi vuodessa noin 0,006–0,04 Mt CO₂e. Päästövähennys tapahtuisi enimmäkseen ulkomailla. Suomessa kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjäljen 13. suurin hyödykeryhmä on audiovisuaaliset laitteet ja tietokoneet (kuva 7). Näiden hyödykkeiden päästöt tapahtuvat miltei kokonaisuudessaan ulkomailla.

Elektroniikkatuotteet pitävät sisällään hyvin erilaisia materiaaleja ja paljolti erilaisia metalleja. Joukossa on muun muassa harvinaisia maametalleja, joiden valmistuksen KHK-päästöt per kg tuotetta ovat suuria. Päästöjen hallinnan näkökulmasta elektroniikkatuotteiden materiaalit ovat järkevää kierrättää. Useiden elektroniikkajätteen materiaalikomponentteja on ollut kuitenkin vaikea kierrättää muun muassa romun epähomogeenisuuden ja kustannustehokkaan erottelutekniikan puuttuessa, minkä takia EU:ssa kierrätettiin vuonna 2017 vain noin 31 % (3,9 Mt) elektroniikkajätteestä, vaikka potentiaali vuonna olisi ollut 75 % (7,8 Mt) (EEA, 2020b). Tilanne on kuitenkin teknologian edistyessä muutettavissa. Kuluttajaelektronikan tehokkaan kierrättämisen yhtenä pullonkaulana on kotitalouksien SER-jätteen ns. kotireservi. Tämän suuruudesta ei ole tietoa, mutta Tilastokeskuksen kyselytutkimuksen mukaan jopa 83 % kotitalouksista ilmoittaa omistavansa käytöstä poistettuja ja kierrätyskelpoisia laitteita (Parikka, 2020).

Elektroniikkatuotteiden paremmalla tuotesuunnittelulla voidaan edistää käyttöiän pidentämistä ja kierrättämistä. Laitteet voidaan suunnitella huollettaviksi, modulaarisiksi, helposti päivitettäviksi ja eri materiaalien kierrätys helpoksi. Lisäksi suunnittelulla voidaan vaikuttaa muun muassa vähäpäästöisempien materiaalien valintaan. Leasing- ja jakamistalouden ratkaisulla voidaan vähentää uusien tuotteiden valmistustarvetta ja sitä kautta syntyviä päästöjä ainakin joidenkin elektroniikkatuotteiden alueella (esim. kodinkoneet), mutta ratkaisujen käyttöönotto vaatii myös samalla muutoksia muun muassa asumistottumuksiin (yhteisölliset toimintatavat). Tämän vuoksi vuokraus- ja jakamistalouden ratkaisulla arvioidaan olevan vain suhteellisen vähän mahdollisuuksia vähentää KHK-päästöjä.

4.9 Tekstiilit

Tekstiilejä ja vaatteita⁵⁰ käytetään Suomessa monipuolisesti. Tuoteryhmä pitää sisällään erilaiset pukineet, kodintekstiilit ja teollisuuskäyttöön menevät tekstiilit. Euromääräisen arvon perusteella laskettuna vuonna 2015 kaikesta tekstiilien käytöstä kotitalouksien osuus oli 23 % ja vaatteiden käytöstä 60 %. Viennin osuus oli tekstiileissä 25 % ja vaatteissa 20 %. Loppukäytön lisäksi yritykset käyttivät tekstiilejä (52 % kokonaiskäytöstä) ja vaatteita (20 % kokonaiskäytöstä) tuotantopanoksina tai lopputuotteina. Tekstiilejä ja vaatteita valmistavien yritysten sisäisen välituotekäytön lisäksi tekstiilejä ja vaatteita käyttivät mm. julkisen hallinnon, kaupan ja terveyspalveluiden toimialat. Vuonna 2012 Suomessa hankittiin noin 71 miljoonaa kiloa tekstiilejä ja vaatteita (Dahlbo ym., 2015).⁵¹ Etenkin kotitalouksissa vaatteiden ja tekstiilien kulutus on ollut kasvu-uralla, mihin yhtenä syynä on ollut niiden suhteellisten hintojen lasku (Šajn, 2019). Tuonti kattaa suurimman osan markkinoilla olevista tekstiileistä ja vaatteista. Vain 28 % kotimaan markkinoilla olevista tekstiileistä ja 9 % vaatteista on kotimaista tuotantoa. Suomalainen tuotanto väheni huomattavasti 1990-luvun alkupuoliskolla.

Vaate- ja tekstiiliteollisuuden suorat KHK-päästöt ovat Suomessa hyvin alhaiset (kuva 2), mikä selittyy vähäisellä tuotannolla (liite 2). Elinkaarisista KHK-päästöistä 84 % liittyy tuontiin (kuva 3), sillä keskeiset raaka-aineet ovat tuontitavaraa. Tekstiilien ja vaatteiden kotimaiseen tuotantoon kohdistuvilla kiertotaloustoimenpiteillä on siis hyvin rajalliset mahdollisuudet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Tekstiilien ja vaatteiden tuotanto aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä muun ympäristökuormituksen (vedenkäyttö, kemikaalien ja torjunta-aineiden käyttö) rinnalla (Dahlbo ym., 2015). Tuotteiden elinkaarisissa KHK-päästöissä korostuvat juuri valmistuksen työvaiheet, kuten kuitujen, lankojen ja kankaiden valmistaminen, märkäkäsittely ja viimeistely. (Sandin ym., 2019). Mahdollisuudet vähentää tekstiileihin liittyviä päästöjä Suomessa keskittyvät kysyntäperäisiin kiertotaloustoimiin ja silloinkin vaikutukset tapahtuvat miltei täysin rajojemme ulkopuolella (kuva 7).

Tekstiilejä poistettiin käytöstä vuonna 2012 arviolta 71 miljoonaa kiloa eli vastaava määrä kuin niitä hankittiin (Dahlbo ym., 2015). Arviolta reilu viidesosa päätyi hyväntekeväisyysjärjestöille ja loput jätehuollon käsiteltäväksi. Vuonna 2018 varsinaista tekstiilijätettä syntyi eri toimialoilla 14 miljoonaa kiloa. Eniten tekstiilijätettä syntyi elintarviketeollisuudessa (57 %) ja tekstiili- ja vaateollisuudessa (34 %) (Suomen virallinen tilasto, 2020). Kotitalouksien osuus erilliskerätyistä tekstiilijätteistä oli vain 2 %. Erilliskerätyistä tekstiilijätteistä 92 % hyödynnetään materiaalina ja loput hyödynnetään energiana (alle prosentti päätyy hävityspolttoon). Kuitenkin valtaosa vaate- ja tekstiilijätteistä päätyy jätehuollon

50 Nahka ja nahkatuotteet (sis. jalkineet) on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

51 Luku sisältää myös matot. Kotitalouksien ja yritysten osuuksia ei pystytty tutkimuksessa erottelemaan.

käsiteltäväksi sekalaisen yhdyskuntajätteen mukana. Vuodesta 2016 lähtien käytännössä kaikki tämän jätevirran tekstiilit päätyvät poltettavaksi jätevoimaloissa. Vuonna 2018 pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteestä noin 6 % oli tekstiilejä ja jalkineita (HSY, 2018). Karkean laskelman pohjalta kotitalouksien sekajätteen mukana tekstiilejä ja jalkineita päätyy polttoon noin 60 miljoonaa kiloa. Ainakin osa tästä määrästä voitaisiin hyödyntää materiaalina ja täten vähentää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. EU:n jätedirektiivi edellyttää tekstiilien erilliskeräyksen järjestämistä vuoteen 2025 mennessä. Suomen hallitusohjelmassa tavoitteeksi on asetettu järjestää erilliskeräys jo vuoden 2023 aikana. Lisäksi yhdyskuntajätteen materiaalihyödyntämisen kiristyvät tavoitteet (55 % vuoteen 2025 mennessä) edellyttävät toimenpiteitä käytöstä poistettujen tekstiilien nykyistä tehokkaampaan keräämiseen ja hyödyntämiseen.

Taulukossa 11 esitetään arvio tekstiilien kiertotaloustoimien päästövähennys-potentiaalista. Valtaosa päästövähennyksistä tapahtuu Suomen rajojen ulkopuolella.

Taulukko 11. Arvio tekstiilien kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalista.

Kiertotaloustoimenpide	Arvio suhteellisesta päästövähennyspotentiaalista Suomessa	Arviointiperusta ja arviointiin liittyvät epävarmuudet
Käyttöiän pidentäminen	3 hyvä	Vaatteiden ja tekstiilien käyttöiän pidentäminen sisältää mm. vaateen käyttämisen itse pidempään ja siihen liittyvän mahdollisen korjaamisen, toiselle henkilölle kierrättämisen suoraan tai kirpputorien kautta sekä lahjoittamisen hyväntekeväisyyteen. Tuotteen käyttöiän kaksinkertaistaminen vähentää hiilijalanjälkeä 49 % (Sandin ym., 2019).
Vaatevuokraus	2 kohtalainen tai 1 matala	Vaatteiden vuokraaminen vähentää tarvetta ostaa uusia tuotteita, mutta samalla lisää yhden vaateen käyttöastetta. Potentiaalia rajoittavat ihmisten kulutus- ja käyttötottumukset sekä kuljetusmatkat harvaan asutuilla seuduilla.
Tuotteiden uudelleentekeminen	2 kohtalainen	Uusien tuotteiden valmistaminen käytöstä poistetuista tekstiileistä korvaa neitseellisiä raaka-aineita. Vaatteiden elinkaarisista päästöistä jopa 64 % syntyy kuitujen, lankojen ja kankaiden valmistuksesta ja käsittelystä (Sandin ym., 2019). Nämä työvaiheet ja niistä syntyvät päästöt voidaan välttää uudelleentekemisessä.
Tekstiilijätteen kuitujen hyödyntäminen	2 kohtalainen	Kuituja voi kierrättää mekaanisesti, kemiallisesti ja termisesti (Dahlbo ym., 2015). Ilmastohyödyt riippuvat hyödyntämismenetelmästä ja käyttökohteesta. Vaatteiden osalta kuitujen valmistuksen osuus elinkaarisista KHK-päästöistä on noin 16 % (Sandin ym., 2019).
Uusien kuitumateriaalien (esim. puupohjaiset kuitut) hyödyntäminen	2 kohtalainen	Tekstiilikuituja voidaan valmistaa mm. sellusta sekä erilaisista biojätevirroista (esim. oljet). Nämä kuidut ovat valtaosin vielä pilotointiasteella. Nettopäästövähennykset riippuvat tuotantotavasta ja korvattavasta materiaalista.

Käyttöiän pidentäminen sisältää erilaisia kysyntäperusteisia ja kulutukseen liittyviä toimenpiteitä. Tavoitteena on vähentää vaatteiden kysyntää käyttämällä vaatteita pidempään joko itse tai muiden henkilöiden toimesta (kirpputorivaatteet, hyväntekeväisyys). Esitellyistä toimenpiteistä tällä on suurin päästövähennyspotentiaali. Potentiaalinen toteutuminen liittyy sekä muoti- ja vaateollisuuden tuotantotapojen muuttumiseen (kestävämät tuotteet) ja kuluttajien asenteiden muuttumiseen siten, että siirrytään ns. pikamuodista muotisykliin pidentämiseen (ns. slow fashion) (Šajn, 2019; Niinimäki ym., 2020). Kuluttajien asenteet vaikuttavat myös siihen, kuinka paljon vaatevuokrauksen avulla voidaan vähentää KHK-päästöjä. Vaatevuokraamot ja -lainaamot vähentävät kuluttajien

tarvetta ostaa etenkin sellaisia vaatteita, joita käytetään vain muutamia kertoja vuodessa. Kuten muidenkin vuokraamiseen liittyvien toimenpiteiden, myös vaatevuokraamoiden käytön selkeä kasvu edellyttää muutosta kulutustottumuksissa, mistä ei toistaiseksi ole selkeitä merkkejä eikä päästövähennyspotentiaali siksi ole erityisen hyvä.

Vaatteiden ja muiden tuotteiden uudelleenvalmistaminen käytöstä poistetuista tekstiileistä merkitsee neitseellisten raaka-aineiden vähäisempää kysyntää. Puhtaiden ja pääosin ehjien tekstiileiden käyttö uudelleenvalmistamisessa vähentää tuotteiden elinkaarisia päästöjä jopa 64 % (Sandin ym., 2019). Suomen tekstiilijätevirrat huomioiden uudelleenvalmistamisessa olisi selkeää potentiaalia ja useat yritykset ovatkin tarttuneet tähän mahdollisuuteen.

Kierrätettäviä tekstiilikuituja voidaan hyödyntää materiaalina eri tavoin (Dahlbo ym., 2015). Mekaaninen kierrätys tarkoittaa kudoksen rikkomista kuiduiksi ja käyttämistä esimerkiksi täytemateriaalien ja imeytystuotteiden valmistuksessa. Myös perinteinen matonkuteiden leikkaaminen on mekaanista kierrätystä, mistä saadaan raaka-aineita myös korkeamman arvontuotannon tuotteisiin. Menetelmä sopii kaikille kuitulajeille. Kemiallinen kierrätys soveltuu tekokuiduille ja selluloosapohjaisille kuiduille. Materiaalit palautetaan alkuperäisiksi lähtöaineiksi erilaisten kemiallisten reaktioiden avulla. Tämän jälkeen kuiduista voidaan valmistaa alkuperäisen kaltaisia tuotteita. Terminen kierrätys soveltuu tekokuiduille. Kuituaines sulatetaan ja käytetään raaka-aineena erilaisiin muovituotteisiin. Kierrätyskuitujen käyttö tekstiilien valmistuksessa korvaa neitseellisten kuitujen valmistusvaiheen ja tätä kautta vähentää KHK-päästöjä. Muilta osin päästövähennyspotentiaali riippuu siitä, mitä neitseellistä raaka-ainetta korvataan. Suomessa tarjolla olisi tekstiilijätteitä kuitukierrätykseen selvästi nykyistä käyttöä enemmän.

Tekstiiliteollisuudessa perinteisiä kuituja voidaan korvata myös vaihtoehtoisilla kuitumateriaaleilla. Kuitujen valmistaminen sellusta tai erilaisista maatalouden tai muista jätevirroista ovat aktiivisen tutkimuksen kohteena, ja pilottitoiminta on jo käynnistynyt (esim. Spinnova⁵² ja Ioncell⁵³). Vaikutukset KHK-päästöihin riippuvat siitä, mitä korvataan millä ja kuinka päästöintensiivisiä tuotantotavat ovat.

Suomen Tekstiili & Muoti ry:n koordinoimana myös tekstiilialalle on laadittu toimialakohdainen tiekartta, joka julkaistiin kesäkuussa 2020.⁵⁴ Hiilineutraali tekstiiliala -tiekarttatyö oli osa hallituksen, ministeriöiden ja toimialaliittojen välistä yhteistyötä Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseksi vuonna 2035. Tiekartta laadittiin tiiviissä yhteistyössä alan

52 <https://spinnova.com/archives/news/from-agricultural-waste-to-textile-fibre-spinnova-becomes-part-of-for-tums-bio-based-ecosystem/>

53 <https://ioncell.fi/>

54 <https://www.stjm.fi/toiminta-alueemme/vastuullisuus/hiilineutraali-tekstiiliala-tiekartta/>

yritysten ja sidosryhmien kanssa, ja päätavoitteena oli tunnistaa uusia ratkaisuja ilmasto-
päästöjen vähentämiseksi tekstiilialalla. Tiekartan mukaan pääosa tekstiilialan hiilijalan-
jäljestä muodostuu teollisesta tuotannosta ja palveluista. Näin ollen yritysten energia- ja
polttoainevalinnoilla voidaan merkittävästi myös vähentää päästöjä. Lisäksi kiertotalous-
toimien osalta nostettiin esille kierrätys- ja selluloosapohjaisten tekstiilikuitujen kehittä-
minen ja tuotanto Suomessa sekä tähän liittyvän osaamisen vieni. Uusilla suomalaisilla
tekstiilikuiduilla voidaan korvata esimerkiksi puuvillaa, jonka tuotanto kuluttaa paljon
luonnonvaroja.⁵⁵

4.10 Muut osa-alueet

Kiertotalouden saralla potentiaalia kasvihuonekaasujen vähentämisessä on myös
muilla osa-alueilla, kuten kemianteollisuudessa ja jätehuollossa. Erityisesti kemianteol-
lisuudella on mahdollisuus saavuttaa kiertotaloustoimenpiteiden kautta merkittäviä
päästövähennyksiä.

Tässä raportissa käytetyssä toimialajaottelussa kemianteollisuuden alle kuuluvat kemi-
kaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus, lääketeollisuus ja kumi- ja muovituotteiden
valmistus, johon on keskitytty muovien osalta luvussa 4.7. Lisäksi kemianteollisuuteen las-
ketaan usein myös öljynjalostus. Öljynjalostuksen suorat KHK-päästöt ovat 2 400 Mkg CO₂e
ja elinkaariset KHK-päästöt 9 870 Mkg CO₂e. Vastaavasti kemikaalien ja kemiallisten tuot-
teiden valmistuksen päästöt ovat 2 240 Mkg CO₂e ja 8700 Mkg CO₂e, kumi- ja muovituot-
teiden valmistuksen 199 Mkg CO₂e ja 2 640 Mkg CO₂e ja lääketeollisuuden 2 Mkg CO₂e ja
313 Mkg CO₂e.

Kemianteollisuus on yksi kotimaan suurista teollisuudenaloista vastaten noin kuuden-
neksen Suomen teollisuustuotannon vuosittaisesta arvonnäistä (Kemianteollisuus, 2020).
Kemianteollisuus on vahvasti kytköksissä muihin toimialoihin sekä tässä selvityksessä
tarkasteluihin osa-alueisiin. Esimerkiksi biopohjaiset ja synteettiset liikennepolttoaineet,
maatalouden kierrätyslannoitteet ja muovien mekaaninen sekä kemiallinen kierrätys (ja
hyötykäyttö) sekä CCU ovat kaikki kemianteollisuuteen liittyviä kiertotaloustoimenpiteitä.
Yleisesti kemianteollisuus on keskiössä, kun tarkastellaan raaka-aineiden ja materiaalien
kierrätyksen ratkaisuja tai kun neitseellisiä fossiilisia raaka-aineita korvataan vaihtoehtoi-
silla biopohjaisilla, kierrätetyillä tai synteettisillä materiaaleilla.

55 https://www.stjm.fi/tiedotteet-kannanotot-ja-lausunnot/hiilineutraali-tekstiiliala-tiekartta/https://stjm.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20200610133352/STJM-Hiilineutraali-tekstiiliala-tiekartta_FINAL.pdf

Kiertotalous on tunnistettu kemianteollisuuden hiilineutraaliuden saavuttamisen yhdeksi peruspilareista (Kemianteollisuus, 2020). Kemianteollisuuden hiilineutraaliustiekartassa (Pöyry, 2020c, s. 134) kunnianhimoisen ”hiilineutraali kemia 2045” skenaarion taustalla oletetaan, että käytetyistä raaka-aineista ja materiaaleista merkittävä osa (41 %) on joko kierrätettyjä tai uusiutuvia (42 %) ja vain vajaa 10 % on fossiilisperäisiä, kun nykyisellään kemianteollisuus pohjaa pitkälti (83 %) fossiilisiin raaka-aineisiin.



5 Kiertotalouden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

5.1 Arviointimenetelmä

Selvityksen toisena päätavoitteena KHK-päästövähennysten lisäksi on arvioida kiertotalouden vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen. Arvioinnissa pyritään käymään läpi samat kiertotaloustoimenpiteet kuin KHK-päästöarvioinnissa ja avataan kiertotaloustoimenpiteiden vaikutuskanavia biodiversiteettiin. Arviointityö pohjaa asiantuntijoiden kanssa käytyihin keskusteluihin sekä seitsemään vuoden 2020 aikana järjestettyyn työpajaan (liite 4). Työpajojen ja keskustelujen taustatietoina ovat toimineet ENVIMAT-mallin maankäyttö- ja biodiversiteettivaikutuksia kuvaavat toimialakohtaiset tiedot (ks. kuvat 5 ja 6) sekä aikaisemman tutkimuskirjallisuuden ja asiantuntijatyön pohjalta koostetut havainnot kiertotalouden biodiversiteettivaikutuksista.

Arvioinnissa on hyödynnetty aikaisempaa kansallista ja kansainvälistä tutkimuskirjallisuutta. Keskeisin arvioinnissa hyödynnetty tutkimuskokonaisuus on Suomen järjestyksessään kolmas lajien uhanalaisuusarviointi Punainen kirja⁵⁶, joka noudattaa kansainvälisen luonnonsuojeluliiton IUCN:n ohjeita. Huomionarvoista on, että Punaisen kirjan (Hyvärinen ym., 2019) ja ENVIMAT-mallin havaintojen kautta (ks. kuva 6) päädytään samoihin prioriteettialueisiin eli metsätalouteen, ruokajärjestelmään ja rakentamiseen.

Lähtökohtana selvityksessä on ollut tunnistaa, mitkä kiertotaloustoimenpiteet ovat todennäköisesti merkittävimpiä ja avata samalla toimenpiteiden mahdollisia vaikutuskanavia biodiversiteettiin. Kun vaikutusreitit ja biodiversiteettiin on monia, on tärkeää pyrkiä tunnistamaan niistä merkittävimmät. Esimerkiksi liikennejärjestelmässä merkittävin biodiversiteettivaikutus ei tule yksittäisen kiertotaloustoimenpiteen kautta, vaan siellä korostuu tiestön ja väylärakentamisen maankäyttö ja itse liikenne.

⁵⁶ <https://punainenkirja.laji.fi/>

Arviointityön rajoituksista

Tässä selvityksessä toteutettu kiertotaloustoimenpiteiden biodiversiteettivaikutusten arviointi on ensimmäinen lajissaan ja pystyy tarjoamaan vain rajatun näkemyksen mahdollisista vaikutuksista. Arvioinnissa pysytellään selvityksen laajuudesta johtuen ylätasolla ja vaikutusketjuja kuvataan pääasiassa yksittäisten esimerkkien avulla.

Kiertotaloustoimenpiteiden biodiversiteettivaikutukset liittyvät usein raaka-aineiden ottoon ja sitä kautta maankäytön muutoksiin. Maankäytön seurauksien tuntemus on kuitenkin usein puutteellista ja lisäksi vaikutuksissa korostuvat usein paikalliset tekijät. Kaikkien selvityksessä käsiteltyjen (ja käsittelemättä jäävien) osa-alueiden kohdalla olisikin tärkeää toteuttaa yksityiskohtaisemmat ja kattavammat tutkimukset mahdollisine aineistonkeruineen, jotta kiertotalouden monimuotoisuusvaikutuksista saataisiin muodostettua entistä parempi kokonaiskuva. Kiertotalouden biodiversiteettivaikutusten seuranta ja mittaaminen, alueellisten erojen huomioon ottaminen ja syy-seuraussuhteiden perinpohjainen ymmärtäminen vaatii vielä paljon lisätutkimusta.

Selvityksessä metalliteollisuuden, rakentamisen, metsäteollisuuden ja ruokajärjestelmän osa-alueiden kohdalla kiertotalouden ja luonnon monimuotoisuuden välisiä yhteyksiä on esitelty painekuvien avulla (ks. kuvat 14–17)⁵⁷. Painekuvien tavoitteena on ilmentää kunkin osa-alueen sisällä eri kiertotaloustoimenpiteiden suhteellista roolia vähentää (vihreällä) tai lisätä (punaisella) biodiversiteettiin kohdistuvaa painetta ja kuvata mihin elinympäristöihin vaikutukset Suomessa pääasiassa kohdistuvat. Siniset katkoviivat painekuvissa puolestaan kuvaavat eri kiertotaloustoimenpiteiden välillä vallitsevia mahdollisia yhteyksiä⁵⁸.

57 Painekuvat esitetään näille osa-alueille etenkin siitä syystä, että kyseiset osa-alueet korostuvat kotimaan biodiversiteettivaikutuksia arvioitaessa. Painekuvien esitystapa osoittautui haastavaksi toteuttaa (etenkin elinympäristöjen suhteen) liikennejärjestelmän, muovien ja tekstiilien osa-alueiden kohdalla.

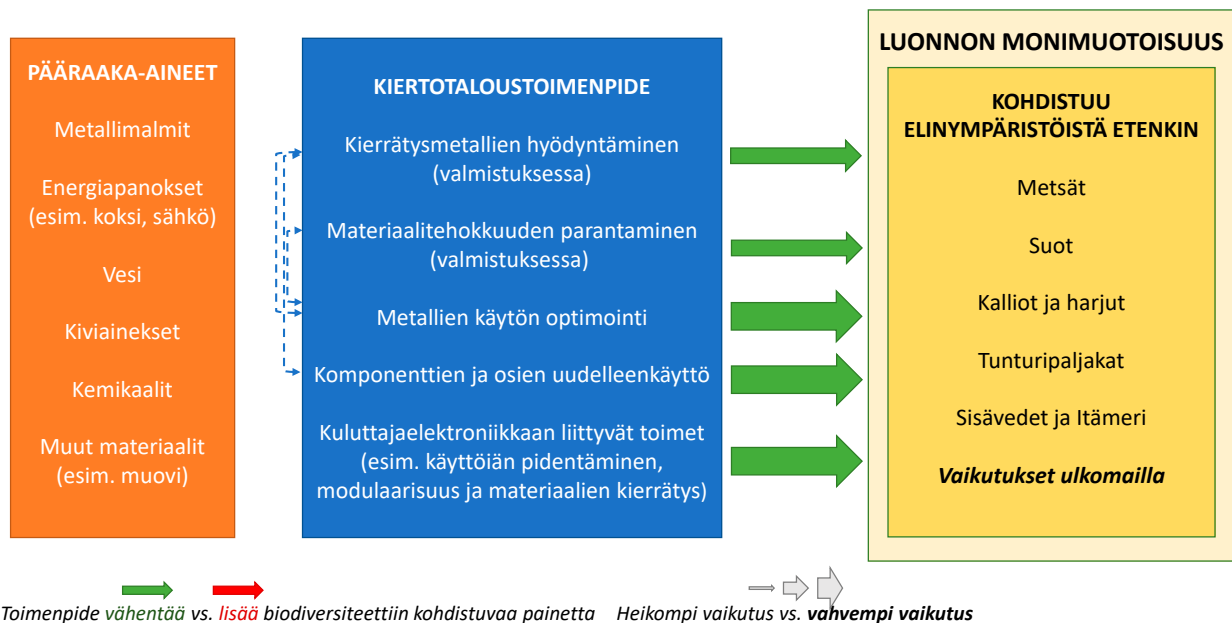
58 Esimerkiksi metallisten komponenttien ja osien uudelleenkäytön määrän muutokset vaikuttavat metallien valmistuksessa hyödynnettävien kierrätysmetallien saatavuuteen (kuva 14) tai CCU on myös mielenkiintoisissa materiaali-tehokkuustoimenpiteeksi (kuva 16).

5.2 Metalliteollisuus ja elektroniikka

Metalliteollisuus ei kuulu merkittävimpiin kotimaan luonnon monimuotoisuutta heikentäviin toimialoihin (ks. kuva 6). Metalliteollisuuden vaikutukset biodiversiteettiin syntyvät pääasiassa metallimalmien hankinnan (kaivos- ja rikastustoiminta) kautta, mutta myös itse jalostava teollisuus voi aiheuttaa painetta luonnon monimuotoisuutta kohtaan esimerkiksi vesistö päästöjen kautta. Vaikutukset biodiversiteettiin ovat yleensä tyypiltään paikallisia.

Kuvassa 14 on esitelty metalliteollisuuden kiertotaloustoimenpiteiden yhteyksiä luonnon monimuotoisuuteen. Samassa yhteydessä tarkastellaan elektroniikkaa, sillä myös kyseisen osa-alueen monimuotoisuusvaikutukset kulminoituvat pitkälti metallien kaivos- ja rikastustoimintaan. Metalliteollisuuden pääraaka-aineita ovat erilaiset metallimalmit, energiapanokset, vesi ja kemikaalit. Kiertotaloustoimenpiteet kohdistuvat neitseellisten raaka-aineiden oton vähenemisen kautta kotimaassa erilaisiin elinympäristöihin, kuten metsiin, soihin ja sisävesiin. Merkittävä määrä monimuotoisuusvaikutuksista ulottuu maamme rajojen ulkopuolelle, sillä metalliteollisuus hyödyntää paljon tuontipanoksia (esim. metallimalmit) tuotantoketjuissaan (kuva 4).

Kuva 14. Metalliteollisuuden ja elektroniikan kiertotaloustoimenpiteiden yhteydet biodiversiteettiin.



Suurimmat vaikutukset biodiversiteettiin koko metalliketjusta tulevat kaivos- ja rikastomotoinnasta. Kaivostoiminta on ollut kasvussa Suomessa ja vuonna 2019 kaivoksia ja

louhoksia oli yhteensä 44 sijoittautuneina eri puolille Suomea (Kaiva, 2020). Kaivostoiminta ja uudet valtausalueet voivat sijoittua lähelle Natura- tai muita suojelualueita, jotka ovat malmiesiintymien lisäksi myös biodiversiteetin kannalta erityisiä ja tärkeitä. Esimerkiksi Sodankylässä oleva Kevitsan kaivos sijaitsee lähellä Natura 2000-verkostoon kuuluvaa Koitelaisen aluetta ja Kemin kaivos sijaitsee lähellä Kirvesvaaran suojelualueita, Elijärvenviiaa ja Musta-avaan Natura-alueita. Lisäksi kaivostoiminta painottuu harvaanasutuille alueille, jolloin rakentaminen (tiet, sähkölinjat ym. infra) aiheuttaa elinympäristöjen pirstaloitumista ja vaikuttaa täten negatiivisesti biodiversiteettiin. Kaivos- ja rikastustoiminnalla on myös merkittäviä vesistövaikutuksia niin kotimaassa kuin globaalistikin. Toiminnassa käytetään suuria jätealtaita, joista puhdistettua jätevettä lasketaan luonnonvesistöihin aiheuttaen negatiivisia biodiversiteetti- ja muita hyvinvointivaikutuksia. Esimerkiksi Talvi-vaaran kipsisakka-altaan jätevesivuodot, joista pahin tapahtui loppuvuodesta 2012, ovat aiheuttaneet merkittäviä ympäristöhaittoja mukaan lukien vesilajiston monimuotoisuuden romahtamista (Kauppi ym., 2013; Leppänen ym., 2017). Suomessa ei kuitenkaan ole veden niukkuuteen liittyviä haasteita, jotka ovat ongelmia rikastustoiminnassa kuivilla alueilla esimerkiksi Chillessä ja Australiassa.

Suurin osa metalleista tuodaan Suomeen ulkomailta – tänne tuodaan etenkin rautamalmirikasteita, kuparia ja sinkkiä. Suomessa on eurooppalaisittain kuitenkin vahva primäärituotanto esimerkiksi nikkelin ja koboltin osalta (Euroopan komissio, 2019). Vaikka teräksen valmistus on Suomessa yksi merkittävä teollisuudenala, ei sen pääraaka-ainetta rautamalmia tuoteta täällä, vaan rautamalmirikaste tuodaan Suomeen pääosin Ruotsista⁵⁹. Täten teräksen biodiversiteettivaikutukset sijoittuvat pääasiassa maamme rajojen ulkopuolelle. Yleisesti tuontimetallien kohdalla paikallinen sääntely ja valvonta kaivostoimintaan liittyen määrittävät paljolti sen, millaisia ympäristövaikutuksia toiminta aiheuttaa.

Kiertotaloustoimenpiteet, joilla pienennetään neitseellisten metalliraaka-aineiden kysyntää, vaikuttavat biodiversiteettiin myönteisesti. Kaikki kuvassa 14 esitetyt toimenpiteet kuuluvat tähän kategoriaan, joskin niiden potentiaalissa monimuotoisuuden suhteen on arvioitu olevan eroavaisuuksia.

On tärkeää huomata, että metalliraaka-aineiden kysynnän pienentäminen ei välttämättä merkitse sitä, että kiertotaloustoimet vähentäisivät Suomessa metallien jalostustoiminnan ja kaivostoiminnan vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen. Tuotannon volyymit saattavat materiaalitehostumisen seurauksena kuitenkin kasvaa Suomessa. Positiivinen biodiversiteettivaikutus näkyy ulkomailla, koska globaaliin kysyntään tarvitaan vähemmän toimintaa maamme rajojen ulkopuolella.

⁵⁹ Globaalisti rautamalmin suurimpia primäärituotantoalueita ovat Kiina, Afrikka ja Etelä-Amerikka. Seosaineiden tuotannon vaikutukset ovat pääasiassa Suomessa.

Metallien kierrätysvirtoja hyödyntämällä pystytään vähentämään neitseellisten raaka-aineiden kysyntää merkittävästi, joskin täysin niitä ei pystytä korvaamaan kierrätysraaka-aineella. Tällöin toteutuu tehokas hyödyntäminen jo louhituista ja rikastetuista mineraaleista ja maankäytön paine vähenee. Suomessa terästä valmistetaan jo nyt varsin laajasti kierrätysmetalliromusta.

Kuluttajaelektroniikkaan liittyvät kiertotaloustoimenpiteet (esim. käyttöiän pidentäminen, modulaarisuus ja kierrätettävyyden varmistaminen) pienentävät neitseellisen metalliraaka-aineen ja muidenkin valmistuksessa käytettävien raaka-aineiden kysyntää (esim. muovit), ja täten toimenpiteillä pystytään myös vähentämään biodiversiteettiin kohdistuvaa painetta. Sähkö- ja elektroniikkaromua (SER) tarkasteltaessa on kuitenkin muistettava, että yksittäiset monimutkaiset tuotteet sisältävät metalleja yleensä vain hyvin pieniä määriä, jolloin on tärkeää pohtia kierrätysprosessoinnin resurssi-intensiivisyyttä suhteessa säävutettuihin ympäristöhyötyihin. Ekosuunnittelu onkin elektroniikan kohdalla olennaista: tuotteiden suunnittelussa tulee varmistaa korjattavuuden ja varaosien saatavuuden lisäksi mahdollisimman resurssitehokas kierrätettävyyden. Jotta tuotteesta saataisiin mahdollisimman helposti kierrätettävä, on tunnistettava tuotteen optimaalinen materiaalirakenne, ja tämä vaatii arvoketjuysteistyötä kierrättäjien, teknologiatoimittajien ja lopputuotteen suunnittelijoiden välillä. Kuluttajaelektroniikan kohdalla ympäristövaikutukset, mukaan lukien biodiversiteettivaikutukset, tapahtuvat pääasiassa maamme rajojen ulkopuolella, jolloin valmistusmaan paikallinen sääntely ja valvonta määrittävät pitkälti lopputuloksen.

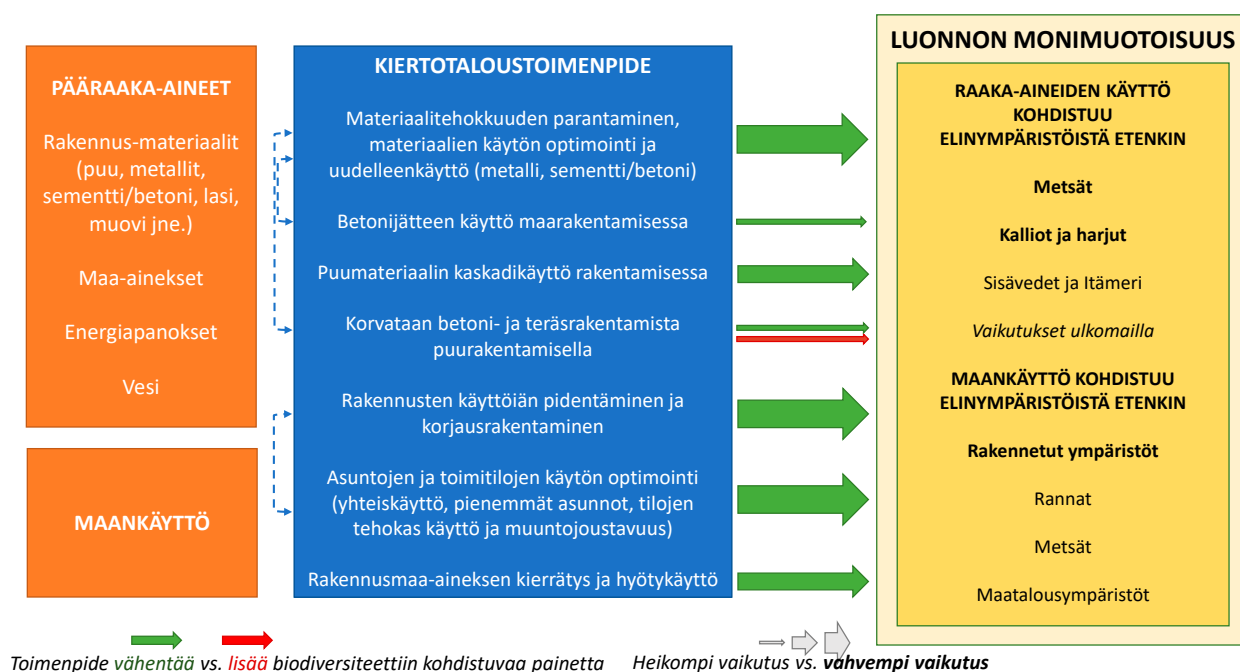
5.3 Rakentaminen ja kiinteistöjen käyttö

Rakentaminen (ml. talonrakentaminen sekä maa- ja vesirakentaminen⁶⁰) aiheuttaa merkittävää painetta biodiversiteettiä kohtaan (ks. kuva 6; Hyvärinen ym., 2019). Rakentamisessa biodiversiteettivaikutukset syntyvät pääosin maankäytön laajuuden ja intensiteetin kautta. Rakentamisessa maankäyttö muodostuu suoraan rakennusten (ja tonttien) ja väyliä varaamasta maapinta-alasta, välillisesti rakennusmateriaalien ja muiden raaka-aineiden (esim. maa-ainekset, polttoaineet) otossa käytetystä maa-alasta sekä rakennusjätteen käsittelyyn ja loppusijoitukseen hyödynnettävästä maa-alasta. Rakentamisessa elinympäristöt yksipuolistuvat, pirstoutuvat ja vähenevät tai niiden laatu heikkenee. Lisäksi keskeisillä rakennusmateriaaleilla, kuten puulla (ks. myös luku 5.4), sementillä ja betonilla, metalleilla (ks. luku 5.2), muovilla (ks. luku 5.7) ja lasilla, on kaikilla omanlaisensa kytkökset biodiversiteettiin. Rakentamisessa käytetään myös paljon maa-aineksia, joiden otolla, käsitellyllä ja loppusijoituksella on vaikutuksia monimuotoisuuteen (Ympäristöministeriö, 2009).

60 Väylärakentamisen vaikutuksia avataan tarkemmin liikennejärjestelmän yhteydessä (ks. luku 5.6).

Rakentamisen ja kiinteistöjen käytön kiertotaloustoimenpiteiden yhteyksiä luonnon monimuotoisuuteen on esitelty kuvassa 15. Rakentamisen kiertotaloustoimenpiteiden mahdolliset biodiversiteettivaikutukset kohdistuvat monenlaisiin elinympäristöihin. Rakentamisen suorat maankäytön vaikutukset korostuvat etenkin rakennetuissa ympäristöissä, joilla tarkoitetaan yleensä asutuskeskuksia (ml. kaupunkiympäristöt), teollisuusalueita ja näiden välittömässä läheisyydessä olevia alueita. Puistot, puutarhat ja pihamaat ovat lajistoltaan monipuolisia ympäristöjä, sillä ne tarjoavat toissijaisen elinympäristön monille eliölajeille, kuten kovakuoriaisille, perhosille, sienille ja pistiäisille (Luonnontila, 2020). Kaupunkien alueella on myös paljon arvokasta alkuperäisluontoa, jonka säilymisen rakennetun alueen laajeneminen vaarantaa (Luonnontila, 2020). Toisaalta rakennusaineteollisuuden kautta syntyy toinen vaikutuskanava biodiversiteettiin. Puurakentamisen biodiversiteettivaikutukset juontavat luonnollisesti raaka-aineen hankinnan kautta elinympäristöistä metsiin, kun taas sementin ja betonin raaka-aineiden hankinnan vaikutukset kohdistuvat elinympäristöistä etenkin kallioihin ja harjuihin. Rakentamisessa järkevä sijoittaminen ja suunnittelu, niin rakennuspaikan suhteen kuin raaka-ainehankinnankin kohdalla, on erittäin oleellista.

Kuva 15. Rakentamisen ja kiinteistöjen käytön kiertotaloustoimenpiteiden yhteydet biodiversiteettiin.



Rakentamisen kiertotaloustoimenpiteistä materiaalitehokkuuden parantamisella (esim. klinkkerin korvaus muilla sidosaineilla), materiaalikäytön optimoinnilla (esim. ei tehdä

ylivahvoja rakenteita) ja uudelleenkäytöllä (esim. betonielementtien ja metallirakenteiden uudelleenkäyttö) on merkittävä potentiaali niin KHK-päästöjen kuin biodiversiteettivaikutustenkin minimoinnissa. Näillä kaikilla saadaan vähennettyä neitseellisten raaka-aineiden käyttöä, jolloin myös ympäristövaikutukset ovat myönteisiä. Rakennus- ja purkujätteen hyödyntäminen maantäyteaineena (esim. betoni) tai polttoaineena ei ole niin ilmaston kuin biodiversiteetinkään kannalta parhaita kiertotaloustoimia. Raaka-aineet ja materiaalit pitäisi ennemmin ohjata uudelleenvalmistukseen tai uudelleenkäyttöön, jolloin pystytään pienentämään neitseellisten raaka-aineiden ottoa. Etenkin puurakennusmateriaalin kierrätystä ja jatkohyödyntämistä (kaskadikäyttö) parantamalla voidaan vaikuttaa myönteisesti biodiversiteettiin.

Sementinvalmistuksessa tarvittavien raaka-aineiden (hiekkä, kalkkikivi, vesi) ottoon liittyy negatiivisia biodiversiteettivaikutuksia. Sementinvalmistuksessa keskeisen raaka-aineen, kalkin, suhteen on biodiversiteetin kannalta oleellista, louhitaanko olemassa olevia kalkkiesiintymiä syvemältä vai otetaanko käyttöön uusia alueita. Harvinaiset kalkkipaljastumat ovat olleet jo pitkään tehokkaassa käytössä Suomessa ja jäljellä olevat kalkkikivikalliot ovat lajistoineen erittäin uhanalaisia (Kontula ja Raunio, 2018). Yleisesti kiertotaloustoimenpiteet, joilla pystytään pienentämään sementin ja betonituotteiden kysyntää voivat tarjota hyviä "win-win"-tilanteita niin päästöjen kuin biodiversiteetinkin suhteen.

Puurakentamisen puuraaka-aine saadaan hakkuukierrosta, joka palvelee myös kuitupuun hankintaa. Tämän takia puurakentamisen biodiversiteettivaikutukset voidaan ajatella jakaantuvan kuitupuun ja tukkipuun kesken niiden puumäärien suhteessa.

Pitkäikäinen rakentaminen voi vähentää uuden rakentamisen tarvetta tulevaisuudessa merkittävästi, jolloin rakennusmateriaalien ja edelleen neitseellisten raaka-aineiden kysyntä voi pienentyä selkeästi pitkällä tähtäimellä. Rakennusten pitkäikäisyys voi myös vähentää painetta uusien maa-alueiden käyttöönotolle, jolloin rakennuksien välitön ympäristö (piha- ja lähialueen puusto ja pintamaa) saa kehittyä rauhassa, kun alueella ei tapahdu suuria maansiirtoja tai rakentamisen aikaisia kaivuita. Tällainen toiminta tukee etenkin paikallista monimuotoisuutta. Esimerkiksi elävän maan organismien lajidiversiteetti kasvaa iän myötä sekä kookkaat puut tuottavat ekosysteemipalveluita pienempiä tehokkaammin ja tarjoavat elinympäristön monelle lajille (mm. linnut, hyönteiset, jäkälät, sammaleet).

Asuin- ja toimitilojen käytön optimointi (tilojen käytön tehostaminen, yhteiskäyttö, modulaarinen suunnittelu, muuntojoustavuus) vähentävää uuden rakentamisen tarvetta nyt ja tulevaisuudessa. Käytön optimoinnin toimenpiteillä voidaan vähentää rakennusmateriaalien kysyntää ja neitseellisten raaka-aineiden käyttöä, jolloin voidaan saavuttaa myös positiivisia biodiversiteettivaikutuksia. Lisäksi asumisen tiivistäminen ja tilojen käytön optimointi voivat johtaa ulkomitoiltaan pienempiin rakennuksiin ja tällä voi olla positiivinen

vaikutus lähiympäristön biodiversiteettiin, jos samalla tähdätään isompiin piha-alueisiin ja läpäisevän pinnan lisäämiseen. Mikäli samalla tehdään tiivistämistä myös rakentamisen sijoittelulla, ei tällä toimenpiteellä ole merkitystä paikallisen biodiversiteetin osalta.

Rakentaminen vaatii paljon maamassojen (kiviainekset, kuten sora, hiekka ja kalliomurske ja -louhe) käyttöä. Neitseellisten maa-ainesten ottaminen⁶¹ vaikuttaa ottoalueen elinympäristöön, biodiversiteettiin ja maisemakuvaan (Ympäristöministeriö, 2009). Maa-ainestankkien käyttö ja ylipäättänsä materiaalien kierrätys vähentää neitseellisen maa-ainesten ottoa ja säästää näin luontoympäristöä. Jos rakennusalueen maamassoja pystytään kierrättämään ja käyttämään itse alueella, ja siten vähentämään rakennusalueen ulkopuolelta tuotavia maamassoja ja välttämään väli- ja loppusijoitusta toisaalla, ovat vaikutukset positiivisia luonnon monimuotoisuudelle. Tämän toimenpidealueen biodiversiteettiä hyödyt voidaan arvioida vähintään kohtuullisiksi.

5.4 Metsäteollisuus

Suomen maapinta-alasta noin 75 % on metsää (Luonnonvarakeskus, 2020b) ja hieman yli 40 % lajeistamme elää niissä (Auvinen ym., 2020). Metsälajien suuri määrä heijastuu myös uhanalaisiksi arvioitujen lajien määrässä, sillä noin kolmasosa uhanalaisista lajeista on metsälajeja. Tuoreimman lajien uhanalaistumisarvioinnin mukaan metsäluonnon köyhtymistä ei ole saatu pysäytettyä Suomessa (Hyvärinen ym., 2019), vaikkakin köyhtyminen on hidastunut viime vuosina (Auvinen ym., 2020). Syitä metsäluonnon köyhtymiseen on useita: lahoppuun ja kuolleen puun, vanhojen puiden ja palaneen puuaineksen vähentyminen sekä metsärakenteen yksipuolistuminen ja pirstoutuminen. Näiden taustalla on erityisesti metsätalous, jonka vaikutukset ulottuvat Suomessa suojelualueiden ulkopuoliseen metsäalaan. Suomen metsätaloudessa ympäristövaikutukset (ml. vaikutukset biodiversiteettiin) on pyritty huomioimaan useilla erilaisilla toimenpiteillä kuten säästöpuilla ja suojavyöhykkeillä. Toisaalta tuoreet tutkimukset (Kuuluvainen ym., 2019; Shorohova ym., 2019) osoittavat, että Suomessa ei jätetä säästöpuuta avohakkuiden yhteydessä riittävästi ja myös lahoppuun määrä on muuhun boreaaliseen vyöhykkeeseen verrattuna selkeästi vähäisempi, jolloin metsäluonnon köyhtymistä on hankala estää⁶².

Kuvassa 16 on kuvattu metsäteollisuuden kiertotaloustoimenpiteiden vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen. Metsäteollisuuden pääraaka-aineita ovat puubiomassat, energiapanokset, vesi, kemikaalit ja sideaineet, joiden hyödyntämisen kiertotaloustoimenpiteiden

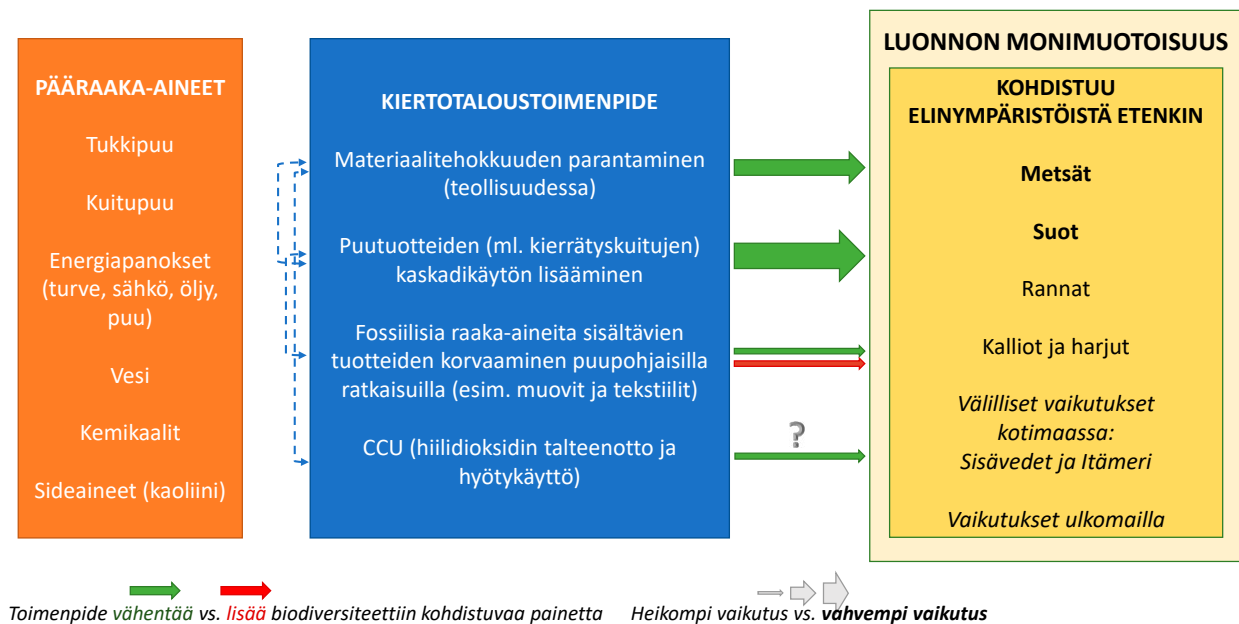
61 Maa-ainesten ottoa säännellään maa-aineslaissa, jonka tarkoituksena on ohjata maa-ainesten ottamista niin, että luonnon ja maiseman sekä eräiden muiden ympäristöarvojen suojelu saadaan turvattua (Ympäristöministeriö, 2009).

62 Lisää tutkimuksia aiheesta saatavilla: <https://www.springeropen.com/collections/vrf>.

biodiversiteettivaikutuksia arvioidaan tässä yhteydessä. Myös metsien hoidossa ja hakkuutoiminnassa voidaan soveltaa kiertotalouden periaatteita. Näitä toimia ei ole kuitenkaan käsitelty tässä yhteydessä, koska kirjallisuus aiheesta on puutteellista. Aihe vaatii lisää selvittämistä tulevaisuudessa.

Suomen rajojen sisällä puubiomassoihin liittyvät kiertotaloustoimenpiteet teollisuudessa (kuva 16) vaikuttavat metsien hyödyntämisen ja maankäytön kautta suoraan metsä-, suo-, ranta-, kallio- ja harjuelinympäristöihin. Välilliset vaikutukset kohdistuvat muun muassa ravinteiden ja kiintoaineksen huuhtoutumisen kautta sisävesiin⁶³ ja Itämereen. Metsäteollisuus, etenkin paperiteollisuus, hyödyntää myös paljon tuontipanoksia tuotantoketjuissaan (kuva 4), joiden monimuotoisuusvaikutukset ulottuvat maamme rajojen ulkopuolelle⁶⁴.

Kuva 16. Metsäteollisuuden kiertotaloustoimenpiteiden yhteydet biodiversiteettiin.



Yleisesti kiertotaloustoimenpiteet, jotka vähentävät puuraaka-aineen ottoa, ovat biodiversiteetin kannalta myönteisiä. Lähtökohtana teollisuuden materiaalitehokkuuden parantamisessa ja puun kaskadikäytön lisäämisessä on, että samasta puumäärästä saadaan tuotettua ja jalostettua enemmän, jolloin metsiin kohdistuu vähemmän painetta. Näistä

63 Sisävesielinympäristöistä metsätalouden vaikutukset pienvesiin ovat erityisen suuria, sillä vedenlaadun muutosten lisäksi metsätalous vaikuttaa voimakkaasti muun muassa purojen rakenteeseen ja ravintoketjuihin.

64 Selvityksessä metsäteollisuuden biodiversiteettivaikutusten tarkastelu keskittyy kotimaahan.

merkittävin potentiaali monimuotoisuuden kannalta on puun kaskadikäytön lisäämisellä (ks. kuva 16 ja luku 4.4). Suomen prosesseiltaan tehokkaassa metsäteollisuudessa materiaalihokkuuden parantamisen potentiaali ei todennäköisesti ole kovin suuri. Tästä syystä tehtaiden materiaalitehostumisen mahdollisuus vähentää painetta biodiversiteettiä kohtaan on arvioitu hieman kaskadikäyttöä pienemmäksi.

Sellutehtaat voivat tarjota tulevaisuudessa ratkaisun bioperäisen hiilidioksidin talteenottoon ja edelleen hiilidioksidin jatkojalostamiseen synteettiseksi polttoaineeksi, proteiiniksi ja materiaaliksi (ks. luku 4.4). Näiden kehitteillä olevien ns. CCU-teknologioiden käyttämä hiilidioksidi on parhaiten erotettavissa biopohjaisista savukaasuista. Varovaisen arvion mukaan CCU:lla on suuri potentiaali monimuotoisuuden heikkenemisen estämiseen tulevaisuudessa. Sellutehtaista otetun hiilidioksidin vaikutus on suurimmillaan, jos CCU:lla voidaan valmistaa synteettistä lihaproteiinia. Tällä on erittäin suuria vaikutuksia peltomaan raivaustarpeeseen etenkin Suomen ulkopuolella. CCU:lla hillitään myös ilmastonmuutosta, jolloin saavutetaan välillisesti positiivisia biodiversiteettivaikutuksia.

Puulla pystytään korvaamaan uusiutumattomia raaka-aineita ja fossiilisia polttoaineita, jolloin puun käyttö vähentää fossiilisten ottoon ja käyttöön liittyviä kielteisiä ympäristövaikutuksia niin biodiversiteettiin kuin kasvihuonekaasupäästöihin liittyen (ks. luvut 4.4 ja 5.7). Kokonaisvaikutusten määrittäminen ei kuitenkaan ole helppoa, sillä samaan aikaan kun uusiutumattoman raaka-aineen käyttö vähenee, niin korvaavan uusiutuvan raaka-aineen käyttö kasvaa, jolloin uusiutuvan raaka-aineen hankintatapa ja kokonaiskäytön taso korostuvat. Puupohjaisilla ratkaisuilla korvaaminen voi lisätä painetta metsien monimuotoisuutta kohtaan, mikäli samanaikaisesti puuraaka-aineen kokonaiskysyntä kasvaa merkittävästi nykyisestä ja monimuotoisuutta huomioon ottavia metsien käsittelytoimia ei vahvisteta⁶⁵.

Metsänhoidon toimenpiteet ovat avainasemassa tarkasteltaessa metsäbiodiversiteetin elinvoimaisuutta. Metsälaissa säädetään metsänhoidon vähimmäisvaatimuksia ja täten se on metsäbiodiversiteetin turvaamisessa oleellinen. Metsälaki ei kuitenkaan ole kiertoaloustoimenpide, vaan muuta ohjausta. Jatkovapeitteinen kasvatus ja poimintahakkuut ovat joissakin tutkimuksissa osoittautuneet monimuotoisuudelle paremmiksi kuin päätehakkuukäytäntö (esim. Kuuluvainen ym., 2012; Peura ym., 2018). Jatkovassa kasvatuksessakin tulee kiinnittää huomiota luonnonhoitoon. Etenkin järeämpää puuta ja lahoppuuta lisäävät metsänhoitotoimenpiteet ovat metsäbiodiversiteetin kannalta keskeisiä (Gao ym., 2015; Hyvärinen ym., 2019). Suomessa 4000–5000 lajia elää lahoppuulla (Siitonen, 2001), joten lajiston kannalta etenkin lahoppuuta lisäävät ratkaisut ovat keskeisiä.

65 Metsänhoitotoimenpiteiden biodiversiteettivaikutuksia on tarkasteltu mm. Kuuluvainen ym. (2012), Calladine ym. (2015), Korhonen ym. (2016) ja Peura ym. (2018) tutkimuksissa.

Mikäli metsäteollisuuden muutos johtaisi siihen, että puusta tehtäisiin yhä enemmän pitkäikäisiä tuotteita, olisi tällä todennäköisesti vaikutusta myös metsänhoitokäytäntöihin. Puumateriaalin käyttöön kasvattaminen vahvistaisi myös puun kaskadikäyttöä ja täten sillä olisi kiertotaloutta tukeva vaikutus. Metsätalouden osalta on huomioitava myös energiantuotannon tarpeisiin kerättävien hakkuujätteiden vaikutukset. Näiden ravinteiden säilyminen metsän ekosysteemissä tukee metsän kasvua ja biodiversiteettiä (Korhonen ym., 2001). Kokonaisuudessaan on kuitenkin epäselvää, kuinka erilaiset metsien käsittelytoimet voidaan lukea kiertotalouden piiriin ja asia vaatii jatkossa oman erillisen selvityksen.

Suomen metsäteollisuudella on paljon mahdollisuuksia, kun uusiutuvista raaka-aineista valmistettujen tuotteiden kysyntä kasvaa maailmanlaajuisesti. Kasvava metsäbioenergian ja puurakentamisen kysyntä sekä uudet tuotteet (biopohjaiset muovit ja -tekstiilit), joilla tyydytetään niin kotimaisia kuin vienninkin tarpeita, lisäävät kuitenkin hakkuupaineita. Metsätalouden tehostumisen seurauksena on vaarana, että metsänhoitotoimet ja hakkuut ulottuvat vähemmän hyödynnetyille alueille kuten suometsiin. Tällöin voi syntyä selkeä ristiriita sekä KHK-päästöjen vähentämisen että luonnon monimuotoisuuden turvaamisen kanssa. Esimerkiksi korvet ja niiden käyttö ja maanmuokkaus ovat merkittävä uhkatekijä metsäluonnon monimuotoisuudelle (Hyvärinen ym., 2019).

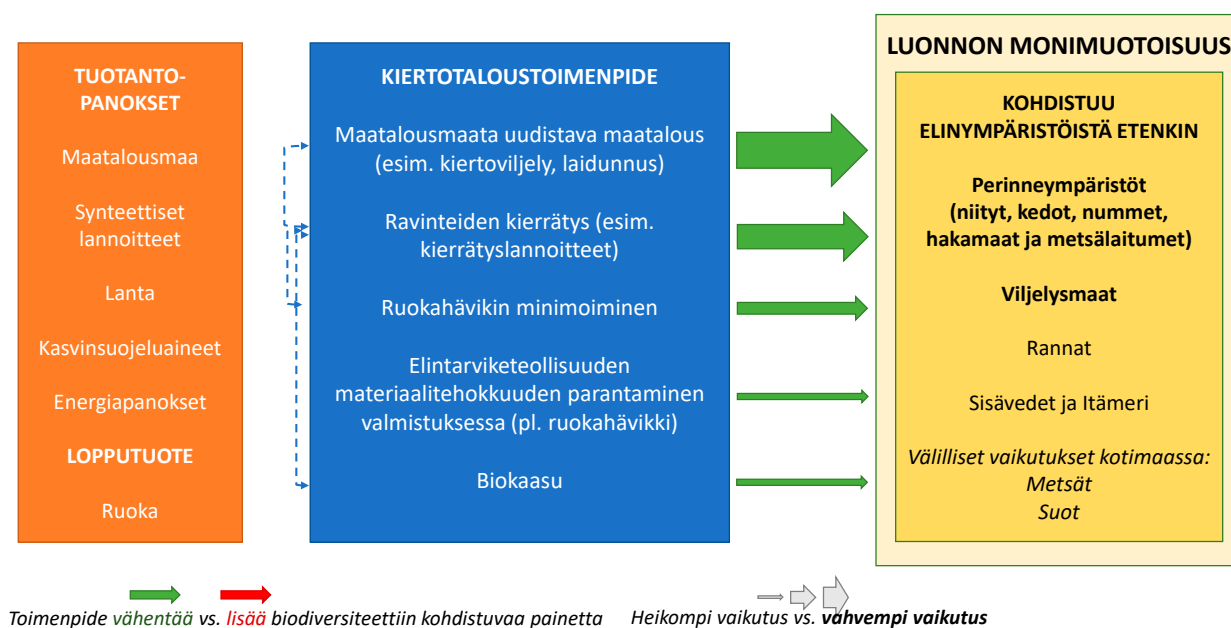
Kaiken kaikkiaan kiertotalouden materiaalitehokkuustoimet, joilla puuraaka-aine hyödynnetään tehokkaasti ja kaskadikäyttö lisääntyy merkittävästi, ovat avainasemassa positiivisten metsäluonnon biodiversiteettivaikutusten synnyttämisessä. Niiden avulla samasta hakkuumäärästä saadaan enemmän tuotteita, mikä vähentää metsien hyödyntämisen intensiteettiä ja antaa sitä kautta enemmän mahdollisuuksia suunnitella ja toteuttaa metsänhoito metsäbiodiversiteetin kannalta hyvin.

5.5 Ruokajärjestelmä

Suomessa on vajaat 2,3 miljoonaa hehtaaria käytössä olevaa maatalousmaata, josta noin kolmasosa on nurmirehunviljelyalaa kotieläintalouden tarpeisiin (Luonnonvarakeskus, 2020a). Samanaikaisesti maatalousluonnon köyhtyminen on yksi merkittävimpiä biodiversiteettiongelmia niin Suomessa kuin globaalistikin. Suomessa äärimmäisen uhanalaisten luontotyyppien osuus on suurin juuri perinneympäristöillä, joita ovat kedot, niityt, hakamaat ja metsälaitumet (Kontula ja Raunio, 2018). Perinneympäristöt ovat perinteisen karjatalouden ja laiduntamisen muovaamia, tyypillisesti runsaslajisia elinympäristöjä. Etenkin Etelä-Suomessa maatalousluonnon köyhtyminen on kasvava ongelma: karjatalous ja laidunnus vähenevät ja lounaaseen päin mentäessä myös peltojen keskikoko kasvaa, jolloin myös biodiversiteetti tyypillisesti kärsii.

Kuvassa 17 esitetään ruokajärjestelmän kiertotaloustoimenpiteiden vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen. Tarkasteltaviin kiertotaloustoimenpiteisiin läheisesti liittyvät tuotantopanokset ovat maatalousmaa, synteettiset lannoitteet, lanta, kasvinsuojeluaineet ja energiapanokset. Lopputuote ruoka puolestaan liittyy ruokahävikin minimoimiseen ja elintarviketeollisuuden materiaalitehostumiseen. Kiertotaloustoimenpiteiden biodiversiteettivaikutukset kohdistuvat elinympäristöistä välittömästi kotimaassa etenkin viljelymaihin ja perinneympäristöihin, kuten niittyihin, kesantoihin, ketoihin ja nummiin. Vaikutuksia kohdistuu myös rantoihin sekä sisävesiin ja Itämereen. Välilliset vaikutukset puolestaan kohdistuvat elinympäristöistä soihin ja metsiin. Ruokajärjestelmän kohdalla biodiversiteettivaikutukset maamme rajojen ulkopuolella on rajattu ulos kuvatarkastelusta, koska ruokaan liittyvien tuontivirtojen jäljittäminen monimuotoisuusnäkökulmasta on monimutkainen tehtävä.

Kuva 17. Ruokajärjestelmän kiertotaloustoimenpiteiden yhteydet biodiversiteettiin.



Kiertotalouden rooli maatalousluonnon biodiversiteetin turvaajana riippuu pääosin siitä, miten uudistavan maatalouden ja siihen kuuluvien kiertotaloustoimintojen ajatellaan vaikuttavan maatalouden perinneympäristöjen kehittymiseen. Perinneympäristön väheneminen on selvästi tärkein maatalousympäristön biodiversiteetin köyhtymisen syy (Kontula ja Raunio, 2018; Punainen kirja, 2020).

Maatalousmaata uudistava maatalous eli regeneratiivisuus on multavuutta ja maan tiiveyttä, kosteusoloja, hiilenkiertoa ja ravinnevirtoja parantavaa toimintaa, jonka ajatellaan kuuluvan kiertotalouteen (ks. tietolaatikko luvussa 4.5). Laajasti ymmärrettyä uudistavaa toimintaa ovat muun muassa kasvipeitteisyyden lisääminen, kiertoviljely, muokkauksen vähentäminen, monipuolisemmat viljelylajit ja -lajikkeet sekä agroekologia, kiertolaidunnus, metsälaidunnus, agrometsätalous ja permakulttuuri (Ellen MacArthur Foundation, 2019a). Näillä toimenpiteillä on selvä yhteys perinneympäristöjen asemaan ja myös muuhun aktiivikäytössä olevien peltojen monimuotoisuuden parantamiseen. Näiden "kiertotaloustoimenpiteiden" käyttöönottopotentiaali on kuitenkin epäselvä, koska samaan aikaan paineet maatalouden tehostamiseen jatkuvat kotimaisen maataloustoiminnan lisääntyvän kustannustehokkuusvaatimuksen ja maailmanlaajuisen ruoantuotannon kasvupaineen myötä. Vaikutusarviota hankaloittaa se, että kaikki kiertotaloustoimet, jotka vähentävät peltohehtaarikohtaista satoa, voivat myös toimia biodiversiteetin turvaamista vastaan. Esimerkiksi jos ruoantuotannon kysyntä säilyy samana, pienempi sato jossakin saattaa merkitä esim. metsien raivaamista jossakin muualla peltokäyttöön ja pienentää sitä kautta kokonaisbiodiversiteettiä. Asia vaatii yksityiskohtaista tutkimustietoa ja kiertotaloustoimenpiteiden täsmällisempää määrittelyä tuekseen, jotta saadaan tarkempi käsitys kiertotaloustoimien vaikutuksista perinneympäristöihin ja maataloustoiminnan biodiversiteettivaikutuksiin laajemmin. Seuraavaksi nostetaan esiin arviointiin liittyviä näkökulmia, joiden toivotaan parantavan jatkossa aihealueen tarkempaa analyysiä.

Suomessa maaperän kunto ja monimuotoisuus ovat hyvällä tasolla globaaliin tilanteeseen verrattuna lounaisinta Suomea lukuun ottamatta (WWF, 2018). Tilanne kuvaa paremminkin viljelytoiminnan historiaa ja kannattavuutta Suomessa kuin sitä, kuinka uudistavaa maataloutta on toteutettu eri puolella Suomessa. Määritelmän selkeän rajauksen puute ei myöskään anna tarkempia perusteita tässä yhteydessä arvioida kuinka yleistä uudistava maatalous Suomessa on. Luomuviljelyn voidaan katsoa kuuluvan uudistavaan maatalouteen joiltakin toiminnoiltaan. Suomessa luomuviljeltyä peltoa oli vuonna 2019 noin 13 % koko viljelyalasta (Niemi ja Väre, 2019). Luomuviljely on lähtökohtaisesti peltoalan biodiversiteetin kannalta hyvä asia, mutta toisaalta myönteisiä vaikutuksia menetetään, kun luomuviljelyn toiminnot peltoalan viljelyssä tehostuvat. Ensisijainen vaikutuskanava luomuviljelyssä tulee kasvinsuojeluaineiden käyttämättömyydestä, joka edelleen mahdollistaa monipuolisemman lajiston. Myös monipuolisemmilla viljelykierroilla on havaittu olevan positiivisia vaikutuksia biodiversiteettiin (Koikkalainen ym., 2012), mutta tämä on tehtävissä myös ilman luomua. Toisaalta luomun pienempi satotaso merkitsee paineita pitää suurempaa peltoalaa aktiivikäytössä, mikä saattaa heikentää kokonaisbiodiversiteettiä tilanteesta riippuen.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimissa kiertotaloustoimina nousivat esiin kivennäismaiden hiilensidonnan kasvattaminen ja turvepeltojen päästöjen hallinta. Toimet, joilla kasvatetaan peltomaan hiilensidontaa, aiheuttavat selkeää parannusta peltomaiden

kasvuolosuhteisiin (maaperän tiiveys, kosteusolot, ravinteiden pidätyminen) (Rumpel ym., 2018) ja parantavat sitä kautta myös lähtökohtaisesti peltojen eliöstön elinolosuhteita. Turvepeltojen pohjaveden pinnan noston ja kosteikkoviljelyn yleistyminen lisäävät myös oletettavasti peltoalojen biodiversiteettiä. Asiakokonaisuus vaatii kuitenkin tarkempaa tutkimusaineistoa Suomen olosuhteissa.

Avoin viljelemätön pinta-ala maataloudessa pienenee koko ajan ja tällä on selkeä vaikutus biodiversiteettiin. Pientareitten väheneminen (esim. salaojitus vs. sarkaojitus) on tärkeimpiä syitä maatalousluonnon köyhtymiseen, mutta on kyseenalaista kuuluvatko pientareiden vähenemisen estämistoimet kiertotalouteen. Pientareet tarjoavat monille lajeille tärkeitä reunavyöhykkeitä ja ekologiaa käytäviä, joita pitkin lajit voivat levitä uusille alueille (Tarmi ja Bäckman, 2004). Kasvipeitteisyyden lisääminen näkyisi biodiversiteetissä etenkin talvisaikaan, kun syyskyltöjä vältetään. Tästä voisi syntyä lievä positiivinen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen, kun potentiaalisia talvehtimisympäristöjä olisi tarjolla enemmän. Toisaalta kasvipeitteisyyden lisääminen liittyy läheisesti yleisen rehevöitymisen torjuntaan, jolloin välillisesti voidaan vähentää vesien rehevöitymistä ja vesilajiston muutoksia.

Laidunnus on biodiversiteetin ja perinneympäristöjen kannalta elintärkeä ratkaisu ja on suurin yksittäinen uhanalaisuuteen vaikuttava maataloustekijä. Karjatilat vähenevät koko ajan etelässä, jolloin laidunnusta tarvitsevat perinnebiotoopit uhanalaistuvat entisestään. Laiduntamisen vähentyessä aiemmin avonaiset peltomaat menevät helpommin umpeen, josta kärsivät erityisesti aurinkoisia alueita tarvitsevat putkilokasvit ja niitä hyödyntävät hyönteiset kuten perhoset (Hyvärinen ym., 2019; Hyvönen ym., 2020). Laiduntaminen parantaa myös maaperän kuntoa, ja lisäksi lehmälannassa on eliöitä, jotka ovat uhanalaistuneet Suomessa. Yhteenvetona voidaan sanoa: laiduntamisen lisääminen parantaa monimuotoisuutta, mutta on epäselvää, missä määrin laiduntaminen voidaan lukea kiertotalouden alle.

Ravinteiden kierrätys on moniulotteinen kiertotaloustoimi, johon liittyy niin synteettisten lannoitteiden käytön vähentäminen, kierrätyslannoitteet kuin biokaasukin. Tehokkailla ravinnekierroilla voidaan vaikuttaa etenkin yleisen rehevöitymisen torjuntaan ja sitä kautta vesiympäristöjen monimuotoisuuden turvaamiseen. Lisäksi kierrätysravinteiden käyttö mineraalilannoitteiden sijaan vähentää tarvetta fosfaattikaivosten laajentamiselle tai uusien kaivosten perustamiselle, mikä vaikuttaa myönteisesti monimuotoisuuteen etenkin Suomen rajojen ulkopuolella. Vaikka ravinnekierätys on Suomessa lisääntynyt, ei tämä kuitenkaan näy esimerkiksi epäorgaanisten lannoitteiden myynnin vähenemisenä (Luonnonvarakeskus, 2020d). Suomessa on paljon mahdollisuuksia lisätä ravinnekierätystä (ks. esim. luvut 4.5 ja 4.6. biokaasuun liittyen), mutta kokonaisuudessaan kierrätyslannoitteiden käytön kasvun monimuotoisuusvaikutuksia voidaan pitää suhteellisen vähäisinä.

Kun keskitytään perinteiseen lannan levitykseen, se voi olla biodiversiteetin kannalta lähtökohtaisesti hyvä asia. Ylimääräinen lanta tulisi kuitenkin saada prosessoinnin piiriin esim. biokaasulaitoksiin, koska peltojen raivaaminen lannanlevitystarkoituksessa ei ole toivottavaa niin monimuotoisuuden kuin päästöjenkään kannalta. Biokaasu mahdollistaa myönteisiä monimuotoisuusvaikutuksia. Biokaasun tuotanto vähentää fossiilisten polttoaineiden ja metsäbiomassan energiakäyttöä, jolloin fossiilisten polttoaineiden tuotantoketjun biodiversiteettivaikutukset ja ympäristövahinkojen riski (ks. luku 5.7; Harfoot ym., 2018; Singh ym., 2020) sekä metsien käyttöpaine pienenevät.

Ruokahävikki aiheuttaa ympäristökuormitusta, jonka minimoimisella voidaan saavuttaa myös myönteisiä biodiversiteettivaikutuksia. Hävikiksi päätyvä ruoka tarkoittaa, että koko tuotantoketjun panokset menetetään eli maatalouden tuotantotoiminta ja elintarvikkeiden valmistus on ollut turhaa. Ruokahävikin minimointi voi vapauttaa peltoalaa⁶⁶, joka olisi hyvä kanavoida esimerkiksi luonnonhoito- ja monimuotoisuuspeltojen lisäämiseen sekä pientarealojen kasvattamiseen, jotka ovat monimuotoisuuden kannalta hyviä ratkaisuja. Metsittäminen, jota usein esitetään ilmastotoimenpiteenä hiilensidonnan kasvattamiseksi, puolestaan ei ole maatalousluonnon biodiversiteetin köyhtymisen kannalta hyvä vaihtoehto (Hyvönen ym., 2020). Jo nykyisellään metsittämistoimet keskittyvät herkästi heikotuohtoisempiin alueisiin, jotka ovat biodiversiteetin kannalta tyypillisesti merkittävimpiä.

Elintarviketeollisuus voi myös lisätä materiaalitehokkuuttaan muutoin kuin ruokahävikkiä pienentämällä. Muun muassa prosessitekniikassa, raaka-aineiden valinnassa, logistikassa ja pakkausmateriaaleissa voidaan saavuttaa luonnonvarojen käytön näkökulmasta hyvin erilaista tehostumista, mikä ei kuitenkaan näy suoraan ruokahävikin pienemisenä. Näiden muiden toimenpiteiden monimuotoisuusvaikutukset voidaan arvioida kuitenkin ruokahävikin pienentämisen monimuotoisuusvaikutuksia vähäisemmiksi.

Yleisesti maataloudessa pitäisi kehittää biodiversiteettiä tukevia ohjauskeinoja, mutta näiden kautta saavutettuja toimia ei pidä lukea kuin vain osittain kiertotaloustoimiksi. Luonnonhoitopellot ja monimuotoisuuspellot olisivat parhaita peltoluonnon monimuotoisuuden turvaajia (Hyvönen ym., 2020; Toivonen ym., 2015) ja näille pitäisi saada luotua riittävän kannustavat tukimuodot (Hyvönen ym., 2020). Myös laidunnukseen tulisi kehittää kannustimia ja huomiota voisi myös kiinnittää peltojen lohkokokoon, jossa pientareiden pinta-ala olisi keskiössä eli ojia olisi määrällisesti tarpeeksi tai ne olisivat kooltaan isompia.

66 Taustaoletuksena tässä on, ettei kotimaassa tapahtuva ruoan kysynnän pieneminen korvautu viennillä.

5.6 Liikennejärjestelmä

Suomessa liikenneväylien rakentaminen ja itse liikenne ovat olennaisessa osassa, kun tarkastellaan liikennejärjestelmän vaikutuksia biodiversiteettiin. Liikenneväylät pirstovat ja hävittävät lajien elinympäristöjä (esim. metsät) ja vaikeuttavat eläinten liikkumista. Lisäksi itse liikenne aiheuttaa suuren määrän erikokoisten nisäkkäiden, sammakkoeläimien, matelijoiden ja lintujen kuolemia, ja liikenteen päästöt, tärinä ja melu heikentävät eliöiden elinolosuhteita (Känkänen ym., 2011; Väylävirasto, 2020a). Toisaalta väyläalueet (tiet ja radat) voivat myös tarjota korvaavia elinympäristöjä lisäämällä paahteisia tai niitty- ja ketomaisia ympäristöjä (Erävuori ym., 2018).

Yksi tehokkaimmista keinoista estää monimuotoisuuden heikkenemistä liikennejärjestelmässä on pidättäytyä laajentamasta väyläverkkoa, joka itsessään ei ole kiertotaloustoimenpide⁶⁷. Kun laajentamisen välttäminen ei ole mahdollista, biodiversiteetin turvaaminen on otettava huomioon uusien väylähankkeiden suunnittelussa ja nykyisten väylien kunnossapidossa (Väylävirasto, 2020a).

Väylien rakentamisessa käytetään paljon erilaisia raaka-aineita. Massamäärissä korostuvat erityisesti sora, hiekka ja kalliomurske, mutta myös betonia, terästä ja asfalttia käytetään paljon. Väylärakentamisessa pystytäänkin vähentämään luonnon monimuotoisuuden kohdistuvaa painetta hyödyntämällä turvallisiksi todettuja uusiomateriaaleja neitseellisten sijaan. Uusiomateriaalien hyödyntäminen tieväylien rakentamisessa on vielä kuitenkin suhteellisen haastavaa lainsäädännöllisistä syistä.

Käsiteltävistä kiertotaloustoimenpiteistä myös kimppakyydit mahdollistavat myönteisiä monimuotoisuusvaikutuksia, sillä kimppakyydit voivat vähentää jonkin verran liikenteen määrää sekä väylien käytön/rakentamisen painetta ajosuoritteen pienenemisen kautta. Yhteiskäyttöautot eivät välttämättä vähennä ajosuoritteen määrää, jolloin myös liikenteen vähenemisen positiiviset biodiversiteettivaikutukset jäävät syntymättä. Yhteiskäyttöautojen yleistyminen voi kuitenkin parhaassa tapauksessa vähentää pysäköintirakentamista etenkin kaupunkiympäristöissä (esim. autopaikat taloyhtiöissä), jolloin myös paine elinympäristöjä ja eliöstöä kohtaan pienenee. Tässä taustaoletuksena on, ettei pysäköinnistä vapautunutta maa-alaa hyödynnetä muun rakentamisen tarpeisiin.

Myöskään biokaasu ja muut jäte- ja sivuvirroista valmistetut biopolttoaineet eivät itsessään vähennä ajosuoritteiden määrää ja täten vähennä liikenteen ja liikenneväylien aiheuttamaa painetta biodiversiteettiin. Toisaalta biokaasu ja muut fossiilisia polttoaineita

67 Myös nykyisillä liikenteen tuilla (esim. kuljetustuki ja kilometrikorvaus) on negatiivisia vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen niiden ylläpitämien liikennesuoritteiden määrän ja tiekysynnän kautta (Ympäristöministeriö, 2015).

vähähiiliset biopolttoaineet vähentävät fossiilisten polttoaineiden tuotannon (ja käytön) negatiivisia biodiversiteettivaikutuksia, joita on avattu öljylle muovien yhteydessä luvussa 5.7. Kehittyneiden toisen sukupolven jäte- ja sivuvirtaperäisten biopolttoaineiden kotimaisen tuotannon biodiversiteettivaikutukset linkittyvät niissä käytettävien raaka-aineiden tuotantolähteisiin eli maatalouteen, elintarviketeollisuuteen sekä metsäteollisuuteen (ks. luvut 5.5 ja 5.4).

Biopolttoaineiden kestävyyttä ja kestävyyskriteereitä säädellään niin EU-tason direktiiveillä⁶⁸ kuin kansallisen tason laeilla⁶⁹ sekä muun kansallisen ympäristölainsäädännön kautta. Kestävyyskriteerit koskevat biopolttoaineen elinkaaren aikaista kasvihuonekaasupäästöjen vähennystä verrattuna korvattavan fossiilisen polttoaineen kasvihuonekaasupäästöihin sekä biopolttoaineiden raaka-aineiden alkuperää, jossa huomioidaan muun muassa maankäytön muutos, biodiversiteetin köyhtyminen ja lisääntynyt vedenkäyttö (TEM, 2019).

Uusiutuvan energian RES-direktiivin uudistuksen tavoitteena on rajoittaa sellaisten biopolttoaineiden käyttöä, joiden raaka-aine kelpaa ravinnoksi tai kilpailee viljelysmaasta ruoan kanssa ja tätä kautta pyrkiä luomaan lisäkannustimia eritoten jäte- tai tähdeperäisille kehittyneille 2. sukupolven biopolttoaineille (TEM, 2019). Biodiversiteetin kannalta epäsuotuisilta vaikutuksilta välttyäkseen jätteillä ja tähteillä tulisi tarkoittaa vain jakeita, jotka eivät ole peräisin luonnonsuojelualueilta tai biodiversiteetille tärkeitä alueilta, eivät ole peräisin runkopuusta, kannoista, lahoppuusta tai jatkojalostettavasta kuitupuusta tai peräisin bioenergiaksi kasvatetuista vieraslajeista. Kestävillä jakeilla ei myöskään tulisi olla vaihtoehtoista käyttöä. Kestävyyslaki rajaakin esimerkiksi aarniometsät, suojelualueet sekä biologisesti erityisen monimuotoiset ruohoalueet sekä alueet, joihin on sitoutunut paljon hiiltä kestävien raaka-ainelähteiden ulkopuolelle (TEM, 2019). Metsäbiomassaa koskevat kestävyyskriteerit koskevat hakuiden laillisuutta, metsän uudistamista, luonnonsuojelutarkoitukseen osoitettujen alueiden suojelua sekä maaperän laadun ja biodiversiteetin säilyttämistä ja metsän pitkän aikavälin tuotantokapasiteetin ylläpitoa tai parantamista (TEM, 2019).

Uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisen ILUC-direktiivin keskeinen tavoite on rajoittaa biopolttoaineiden käytöstä aiheutuvia epäsuoria maankäytön muutoksia. Epäsuoria maankäytön muutoksia rajoitetaan ensisijaisesti asettamalla

68 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi (RES-direktiivi), Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001 uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi (RED II), Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi bensiinin ja dieselpolttoaineiden laadusta annetun direktiivin 98/70/EY ja uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi annetun direktiivin 2009/28/EY muuttamisesta ((EU) 2015/1513) (ILUC)).

69 Laki biopolttoaineista ja bionesteistä (393/2013) (ns. Kestävyyslaki), Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä (446/2007).

viljakasveista ja muista paljon tärkkelystä sisältävistä viljelykasveista, sokerikasveista ja öljykasveista sekä maatalousmaalla pääasiassa energiakäyttöön viljellyistä pääviljelykasveista tuotettujen biopolttoaineiden osuudelle katto (TEM, 2019). Kuitenkin ulkomailta ostettua ja Suomeen tuotua etanolia valmistetaan edelleen pääosin sokeri- ja tärkkelyspitoisista raaka-aineista. Peltoviljellyistä raaka-aineista tuotettujen biopolttoaineiden käyttö Suomessa on ollut suhteellisen vähäistä. Biopolttoaineiden maatalousperäisten raaka-aineiden tuotanto ja käyttö eivät saa johtaa biologisesti monimuotoisten maa-alueiden tuhoutumiseen, kosteikkojen ja metsien maankäyttötatukseen muutokseen tai aiemmin kuivattamattomien turvemaiden kuivattamiseen (TEM, 2019).

Suomessa käytetyimmät biopolttoaineet ovat uusiutuva diesel ja etanoli. Suomessa uusiutuva diesel tuotetaan pääosin erilaisista jäte- ja sivuvirtaperäisistä raaka-aineista. Käytettyinä raaka-aineina ovat muun muassa erilaiset kasviöljyt, eläinrasvat, käytetyt paistirasvat ja mäntyöljypiki. Etanolia valmistetaan Suomessa teollisuuden, kaupan ja kotitalouksien biojäteistä sekä teollisuuden tähteistä (TEM, 2019). Ongelmana on kuitenkin kotimaisten jäte- ja sivuvirtojen riittämättömyys, joten raaka-aineita joudutaan tuomaan Suomeen jo nykyisellään ja niiden biodiversiteettivaikutukset voivat olla suuremmat kuin kotimaisten jäte- ja sivuvirtojen. Palmuöljyä ei ole enää juurikaan käytetty raaka-aineena Suomessa. Palmuöljyn tuotantoon liittyy useita ongelmakohtia, joista tärkeimpinä metsien hävittäminen plantaasien tieltä ja näin ollen suuri biodiversiteetin kato. Raaka-aineina käytetään myös palmuöljytuotannon sivutuotteita, joita ovat esimerkiksi steariini ja palmuöljyn rasvahappotisle, jotka eivät kuitenkaan ole aitoja jätevirtoja. Luopumalla palmuöljytuotannon sivutuotteiden käytöstä Suomi voisi ehkäistä niin metsäkatoa kuin maankäytön muutoksen vaikutuksia ulkomailla.

Biopolttoaineiden biodiversiteettivaikutuksista on hankalaa saada yksiselitteistä tietoa, sillä ne riippuvat paljon käytetyistä raaka-aineista. Toisaalta biopolttoaineet vähentävät päästöjä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin, mutta toisaalta ne saattavat lisätä kuormitusta. Osa vaikutuksista on vielä selvittämättä. Arvion mukaan biopolttoaineiden tuotannon riski on, että kasvihuonekaasuvähenemässä saavutettavat globaalit hyödyt häviävät paikallisille ympäristöhaitoille, kuten biodiversiteettivaikutuksille, maan laadun heikkeneemiselle sekä lisääntyvälle veden käytölle (TEM, 2019).

Kotimaisen biopolttoaineiden tuotannon kapasiteetin nosto tarvitsee uusia biovoimainvestointeja. Erityisesti synteettisten polttoaineiden käyttöönotto isossa mittakaavassa vaatii suuren panostuksen infrastruktuuriin. Isot ja laajat investoinnit eivät vielä ole läheneet liikkeelle, mutta uusia tuotantolaitoksia sekä tuotannon tarvitsemaa uusiutuvan energian voimalaitoksia tarvittaisiin suuri määrä. Uusien laitosten rakentaminen aiheuttaa niin suoraa maankäyttöä ja sen muutosta, maa- ja vesirakentamista kuin itse tuotantolaitosten rakentamista, joilla kaikilla voi olla merkittävä vaikutus biodiversiteettiin (ks. luku 5.3). Suoran maankäytön muutos ja mahdollinen elinympäristöjen tuhoutuminen

tai pirstoutuminen kohdistuvat kotimaahan. Pääasiallisesti kotimaahan kohdistuvat myös maa- ja vesirakentamisen maa-ainesten otto, käsittely ja loppusijoitus, joilla on vaikutuksia biodiversiteettiin. Tuotantolaitosten varsinainen rakentaminen ja laitteisto voivat heikentää biodiversiteettiä niin kotimaassa kuin ulkomailla riippuen materiaalien ja tuotteiden alkuperästä. Biodiversiteettivaikutuksia voidaan pienentää muuttamalla nykyisiä öljynjalostamoina valmistamaan synteettisiä polttoaineita tai rakentamalla uudet tuotantolaitokset tiiviisti biojalostamoiden ja tehtaiden viereen (Välimäki, 2020).

Sähköautojen akkujen kierrätyksen ja uusiokäytön paranemisella on merkittäviä vaikutuksia tulevaisuudessa biodiversiteettiin neitseellisten akkumetallien kaivostoiminnan tarpeen vähenemisen kautta (vrt. luku 4.6). Vaikutukset näkyvät etenkin ulkomailla. Myös Suomessa on kaivostoimintaa akkumetalleihin (mm. litium) liittyen, mutta kokonaisuudessaan Suomessa käyttöönotettavien sähköautojen akkumateriaalit ovat pääosin peräisin ulkomailla ja kaivostoiminnan haitat luonnon monimuotoisuudelle kehitysmaissa ovat suuria (Gaines ja Dunn, 2014).

5.7 Muovit

Muovien vaikutukset biodiversiteettiin syntyvät pääasiassa raaka-aineiden oton, tuotannon ja muoviroskan kautta. Suomessa muoviteollisuuden käyttämät raaka-aineet ovat usein tuontituotteita, kuten öljy, jolloin myös raaka-aineiden otosta syntyvät biodiversiteettivaikutukset sijaitsevat pääasiassa maamme rajojen ulkopuolella. Toisaalta biopohjaisen muovien pääraaka-aineet voivat olla kotimaista alkuperää, jolloin näiden raaka-aineiden oton monimuotoisuusvaikutukset tapahtuvat Suomessa.

Muovien fossiilinen pääraaka-aine on öljy ja globaalista öljyntuotannosta noin 6 % käytetään vuosittain muoviteollisuuden tarpeisiin (Ellen MacArthur Foundation ym., 2016). Öljyn etsintään, tuotantoon, jalostukseen ja käyttöön liittyy monenlaisia suoria (esim. kuluminen, häirintä, saastuminen) ja epäsuoria (esim. käytön kautta syntyvä ilmaston lämpeneminen) monimuotoisuusvaikutuksia (Harfoot ym., 2018). Öljyn vaikutukset luonnon monimuotoisuudelle ovat todella suuria etenkin öljyvuotojen ja -onnettomuuksien kohdalla (Singh ym., 2020).

Globalilla tasolla muoviroska ja mikromuovit aiheuttavat vakavan uhan monimuotoisuudelle, erityisesti merten ja muiden vesistöjen eliöstölle⁷⁰ (Blettler ym., 2018; Werner ym., 2016). Merieliöt, kuten merinisäkkäät, linnut ja kalat, takertuvat ajelehtivaan muoviroskaan tai syövät sitä erehdyksessä. Itämerellä muoviroskaamisen tilanne ei ole niin huolestuttava

⁷⁰ Muoviroska on hyvin yleinen ongelma etenkin Aasiassa ja Afrikassa.

kuin globaalisti, mutta samanaikaisesti se muodostaa kuitenkin potentiaalisen ongelman (Ympäristöministeriö, 2019). Itämeren tapauksessa eniten muovirooskaa on kaupunkien rantojen läheisyydessä (Setälä ym., 2017). Muovirooskaan ja mikromuoveihin liittyy myös haitallisten aineiden näkökulma. Niiden sisältämien haitallisten aineiden biodiversiteetti- ja muista ympäristövaikutuksista tiedetään jonkin verran, mutta samanaikaisesti tieto on hajanaista ja jopa perustieto puutteellista (Muovitiekartta, 2020). Sama pätee myös kierrätysperäisen muovin mahdollisiin haitta-aineisiin ja niiden vaikutuksiin.

Kiertotaloustoimista muovimateriaalin kierrätys ja hyötykäyttö, muovituotteiden uudelleenkäyttö ja muovin käytön optimointi vähentävät painetta biodiversiteettiin, sillä niillä kaikilla pystytään vähentämään ensiömuovin kysyntää. Muovijätteen polton lopettamisella sekä jakeen kierrättämisellä (mekaaninen ja kemiallinen) ja hyötykäytöllä voidaan todennäköisesti saavuttaa näistä merkittävin myönteinen biodiversiteettivaikutus, sillä muovituotteiden uudelleenkäytön lisäämisen ja muovin käytön optimoinnin yläraja tulee nopeammin vastaan.

Biopohjaisten muovien ympäristökestävyys suhteessa perusmuoveihin riippuu monesta tekijästä (Brizga ym., 2020) ja ympäristö- ja muiden vaikutusten (esim. voi varata maata tarpeelliselta ruoantuotannolta) arviointiin liittyvä tutkimustieto on vielä suhteellisen hajanaista (Spierling ym., 2018). Biopohjaisten muovien etuna on valmistus uusiutuvista raaka-aineista (esim. sokeri, maissi, puu tai risiiniöljy), joita voidaan tuottaa tasapuolisemmin ympäri maailmaa verrattuna alueellisesti hyvin keskittyneeseen fossiilisten raaka-aineiden tuotantoon. Biodiversiteetin kannalta tärkeitä ovat bioraaka-aineen kasvatukseen liittyvät maankäytön ja vedenkäytön näkökulmat sekä biopohjaisten muovien haitalliset aineet, kierrätettävyys ja biohajoavuus. Mikäli biomuovit eivät ole biohajoavia, ne aiheuttavat kulkeutuessaan ympäristöön samoja ongelmia kuin fossiilisista polttoaineista valmistetut muovit. Toisaalta biohajoavien jätemuovien ei pidä joutua samoihin kiertoihin fossiilispohjaisten muovien kanssa, koska ne vaikeuttavat muovien kierrätysprosesseja. Näin voi jäädä saavuttamatta materiaalitehostumisen kautta tapahtuva hyöty, jolla vähennetään uuden muovin tuottamisen tarvetta raaka-aineen hankinnasta lähtien. Mitä vähemmän kierrätettyä muovia on markkinoilla, sitä suurempi paine on lisätä biopohjaisten muovien käyttöä. Biopohjaisten muovien tuotannon kasvu voi tarkoittaa kasvavaa maankäyttöä ja täten myös suurempaa negatiivista painetta biodiversiteettiä kohtaan (Brizga ym., 2020). Suomessa etenkin selluloosapohjaiset ratkaisut ovat potentiaalisia raaka-aineen hyvän saatavuuden vuoksi. Selluloosapohjaisissa ratkaisuissa biodiversiteetin kannalta oleellista on, että metsien käyttö kotimaassa ei kasva merkittävästi nykyisestä ja raaka-aineen hankinta toteutetaan biodiversiteettivaikutuksia minimoiden (ks. luku 5.4).

Kaikkiaan muovin (ml. perinteiset muovit ja kestävästi tuotetut biopohjaiset muovit) ympäristövaikutuksia, niin biodiversiteetti- kuin päästövaikutuksiakin, voidaan vähentää hyvällä tuotesuunnittelulla, jossa optimoidaan materiaalin tarve, kierrätettävyys ja

lopputuotteen käyttöikä. Materiaalitehokkuuden ja kierrätettävyyden pitää olla lähtökohtana suunnittelutyössä, jolloin muovijätteen polttamiselle löytyy kustannustehokkaat vaihtoehdot ja ensiömuovin kysyntää saadaan vähennettyä. Myös toimiva ja hyvin suunniteltu kierrätysjärjestelmä on oleellinen, jotta muovimateriaali päätyy kierrätykseen eikä ympäristöön.

5.8 Tekstiilit

Kuten luvussa 4.9 todettiin, Suomessa käytettävät tekstiilit ja vaatteet sekä näitä valmistavien yritysten pääraaka-aineet ovat suurimmaksi osaksi tuontitavaraa. Näin ollen myös erilaiset biodiversiteettivaikutukset kohdistuvat ulkomaille.

Tekstiilien valmistamiseen ja käyttöön liittyy useita ympäristövaikutuksia, joilla on yhteys luonnon monimuotoisuuteen. Puuvillan viljelyyn tarvitaan huomattavia maa-alueita ja uusien viljelyalueiden ottaminen puuvillantuotantoon on haitallista luonnon monimuotoisuudelle. Esimerkiksi puuvillasta valmistetun T-paidan elinkaarisista maankäyttövaikutuksista yli 75 % aiheutuu puuvillan tuotannosta (Sandin ym., 2019). Puuvillan viljely vaatii myös huomattavaa kastelua, joka vaarantaa ekosysteemien normaalin toiminnan vesivarojen vähentyessä vesiniukoilla alueilla. Lisäksi puuvillapelloilla käytetään suuria määriä torjunta-aineita, jotka ovat yhteydessä pölyttäjien joukkokuolemiin (IPBES, 2016). Keino-
kuitujen valmistamisen osalta vaikutukset biodiversiteetille tulevat puolestaan öljyn tuotannon kautta. Vaikutukset ovat vastaavia kuin muovilla (ks. luku 5.7).

Tekstiilien valmistamisessa käytetään huomattavia määriä energiaa, vettä ja erilaisia kemikaaleja. Luonnon monimuotoisuudelle keskeinen paine aiheutuu jätevesistä, jotka saattavat uhata kokonaisia ekosysteemejä. Maailmanlaajuisen vaateollisuuden logistiikkaan liittyy huomattavia kasvihuonekaasupäästöjä. Tekstiilijätteitä syntyy sekä valmistusvaiheessa että tuotteiden käytöstä poistamisen yhteydessä. (Niinimäki ym., 2020.)

Kiertotaloustoimenpiteet, jotka vähentävät uusien vaateiden ja tekstiilien hankkimista (käyttöiän pidentäminen, vaatevuokraus) vähentävät kaikkia edellä mainittuja haitallisia vaikutuksia luonnon monimuotoisuudelle. Tekstiilituotteiden uudelleenvalmistus ja kierrätyskuitujen hyödyntäminen vähentävät osaltaan neitseellisten raaka-aineiden tarvetta ja tätä kautta biodiversiteettikatoa. Uusien kuitumateriaalien nettovaikutukset luonnon monimuotoisuudelle riippuvat useista tekijöistä. Mikäli puupohjaisia raaka-aineita ja pelto-
biomassoja on saatavilla ns. sivuvirtoina, uudet kuituvaihtoehdot saattavat olla parannus nykytilanteeseen. Tutkimusnäyttö ympäristöhyödyistä on puutteellista ja osin ristiriitaista (Asada ym., 2020; Sandin ja Peters, 2018). Puu- ja peltobiomassapohjaisten kuitujen mahdolliset monimuotoisuusvaikutukset kohdistunevat enemmän Suomeen kuin ulkomaille.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Selvitys perehtyy tärkeään, joskin suhteellisen vähän tutkittuun aiheeseen kiertotalouden saralla eli kuinka kiertotaloustoimenpiteillä voidaan vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöihin ja luonnon monimuotoisuuteen. Se tarjoaa tietoa kiertotalouden mahdollisuuksista vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja turvata luonnon monimuotoisuutta Suomen talouden eri osa-alueilla. Selvityksessä käsitellään laaja valikoima erilaisia kiertotaloustoimenpiteitä erityisesti rakentamiseen, metalli- ja metsäteollisuuteen, ruoka- ja liikennejärjestelmään, muoveihin, elektroniikkaan ja tekstiileihin liittyen. Selvityksessä ei käsitellä toimenpiteiden sosiaalisia tai taloudellisia vaikutuksia.

Kiertotaloustoimenpiteiden kasvihuonekaasupäästöjen vähennyspotentiaalinen määrällinen ja biodiversiteettivaikutusten laadullinen arviointi osoittautuu kirjallisuusselvityksiin nojautuen tietyiltä osin vaikeaksi. Lähtötiedot eri kiertotaloustoimenpiteiden käyttöönoton tasosta ja kehityksestä ovat usein puutteellisia ja toimenpiteillä on yleensä keskinäisiä riippuvuussuhteita. Päätelmiin vaikuttavat vahvasti myös valitut arviointimenetelmät ja etenkin se, kuinka kiertotalous on määritelty ja rajattu. Tiedontarve kiertotalouden kasvihuonekaasupäästö- ja biodiversiteettivaikutusten tunnistamiseksi on kuitenkin merkittävä, ja täten arviointimenetelmiä ja tietoaineistoja täytyy kehittää. Jotta kiertotalouden vaikutuksia ilmastonmuutoksen hillintään ja luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen pystytään hahmottamaan paremmin, on tärkeää pystyä määrittelemään kiertotaloustoimenpiteet nykyistä täsmällisemmin. Tämä koskee etenkin uudistavaa maataloutta ja metsätaloutta.

Tässä selvityksessä yleisen käytännön mukaisesti kiertotalouteen ei ole sisällytetty toimenpiteitä, joilla vähennetään suoraan energiatuotannon päästöjä ja energiankäyttöä. Selvityksessä kiertotaloustoimien kasvihuonekaasupäästöjen arviointi on perustunut pääsääntöisesti osa-alueittain määriteltyjen kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennyspotentiaalinen keskinäiseen luokitteluun asteikolla 0 – 4 (0 ei vaikutusta, 1 matala, ..., 4 erittäin hyvä). Ainostaan joiltakin osin on pystytty tekemään määrällisiä päästövähennysarviointoja. Osa-alueiden välisiä päästövähennyspotentiaaleja (esim. rakentaminen vs. ruokajärjestelmä) ei ole pystytty arvioimaan systemaattisesti.

Kiertotaloustoimenpiteiden avulla kotimaan kasvihuonekaasupäästöjä pystytään vähentämään selvästi kaikilla tarkasteltavilla talouden osa-alueilla elektroniikkaa ja tekstiilejä lukuun ottamatta. Elektroniikan ja tekstiilien kiertotaloustoimenpiteiden kasvihuonekaasupäästö- ja biodiversiteettivaikutukset toteutuvat pääosin ulkomailla, koska näiden

osa-alueiden tuotteiden valmistus ja siihen liittyvä luonnonvarojen otto tapahtuu valtaosin ulkomailla eivätkä tuotteiden käytönaikaiset päästöt ole suuria kotimaassa.

Hyvän päästövähennyspotentiaalın omaavia kiertotaloustoimenpiteitä tunnistettiin selvityksessä tarkastelluilla talouden osa-alueilla useita. Esille nousevat metallien käytön optimointi ja uudelleenkäyttö metalli- ja konepajateollisuudessa sekä rakentamisessa, sementin- ja betoninkäytön optimointi ja betonielementtien uudelleenkäyttö, klinkkerin korvaaminen muilla sidosaineilla, puumateriaalin kaskadikäytön lisääminen metsäteollisuudessa ja rakentamisessa, biokaasu sekä muovijätteen polton lopettaminen, kierrätys ja materiaalihyötykäyttö. Ruokajärjestelmässä tärkeitä ovat etenkin uudistavan maatalouden toimet, jotka liittyvät turvepeltojen päästöjen vähentämiseen ja kivennäismaapeltojen hiilensidontaan. Myös monilla muilla kiertotaloustoimenpiteillä voidaan saavuttaa KHK-päästövähennyksiä. Esimerkiksi rakennusten käyttöiän pidentäminen ja tilojen käytön optimointi sisältävät toimenpiteiden käyttöönoton tasosta ja toteutuksesta riippuen merkittävän päästövähennyspotentiaalın. Tulevaisuuden potentiaalisista kiertotaloustoimenpiteistä esille nousevat geopolymeerit sementti- ja betoniteollisuudessa sekä hiilidioksidin talteenoton ja hyödyntämisen CCU-teknologia, jota voidaan käyttää ainakin metalli-, metsä- sementti- ja kemianteollisuudessa. CCU:lla ja Power-to-X-teknologialla voidaan valmistaa päästöttömällä energialla lähes hiilineutraaleja liikennepolttoaineita, proteiinia ja materiaaleja.

Trinomics (2018) arvioi EU:lle tekemässä selvityksessään kiertotaloustoimenpiteiden päästövähennysvähennyspotentiaalın olevan alle 5 %:n luokkaa vuoteen 2030 mennessä ja noin 10–18 %:n luokkaa vuoteen 2050 mennessä EU:n kokonaispäästöistä. Tässä selvityksessä ei pystytty arvioimaan kiertotaloustoimenpiteiden yhteenlaskettua päästövähennyspotentiaalia Suomessa, mutta todennäköisesti se on edellä mainittua tasoa selvästi suurempi. Ero muodostuu useasta seikasta: Suomessa turvepeltojen päästöt ovat erityispiirre eikä Trinomicsin (2018) selvityksessä ole otettu huomioon uudistavaa maataloutta ja CCU:ta kiertotaloustoimenpiteinä.

Kotimaan biodiversiteettivaikutuksia tarkasteltaessa merkittävimiksi osa-alueiksi osoittautuvat metsäteollisuus, rakentaminen ja ruokajärjestelmä, joilla maankäyttö on keskimäärin suurempaa. Maankäyttö onkin biodiversiteetin kannalta avainasemassa Suomessa ja globaalisti, kun monimuotoisuuden köyhtymistä halutaan ehkäistä (Auvinen ym., 2020; Nunez ym., 2020). Kiertotalouden toimenpiteet, joilla vähennetään raaka-aineiden ottoa ja lievennetään maankäytön painetta, ovat siten toimivia keinoja luonnon monimuotoisuuden turvaamisessa. Tiedetyt toimenpiteet, joilla voi olla kotimaassa metsien käyttöä kasvattava vaikutus (esim. fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen puupohjaisilla ratkaisuilla tai puurakentamisen lisääminen korvaamassa betoni- ja teräsrakentamista), saattavat heikentää luonnon monimuotoisuutta, jos samaan aikaan ei pystytä lisäämään luonnon monimuotoisuutta vahvistavia metsien hoitotoimia. Luonnon monimuotoisuuden turvaamisessa kotimaassa suurta vaikutuspotentiaalia omaavat etenkin materiaalitehokkuuden

parantaminen rakentamisessa ja teollisuudessa, materiaalien käytön optimointi ja uudelleenkäyttö rakentamisessa, rakennusten käyttöiän pidentäminen ja tilojen käytön optimointi, uudistava maatalous toimintoihin ja puun kaskadikäytön lisääminen. Maankäytön suunnittelun merkitystä ei kuitenkaan voi olla korostamatta.

Kiertotalouden saralla on myös tunnistettavissa useita toimenpiteitä, joilla voidaan vähentää neitseellisten luonnonvarojen käyttöä maankäyttövaikutuksineen ja sitä kautta edistää sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä että turvata luonnon monimuotoisuutta. Näitä ovat ns. sisempien kiertojen toimenpiteet eli materiaalitehokkuuteen, materiaalikäytön optimointiin, uudelleenkäyttöön ja käyttöiän pidentämiseen pyrkivät toimenpiteet. Näillä toimenpiteillä pystytään tyypillisesti vähentämään tuotantotoiminnan ja raaka-ainneiden oton kautta syntyviä ympäristövaikutuksia yli toimialojen ja tuotantoketjujen.

LÄHTEET

- Aapala, K., Akujärvi, A., Heikkinen, R., Pöyry, J., Virkkala, R., Aalto, J., Forss, S., Kartano, L., Kempainen, E., Kuusela, S., Leikola, N., Mattsson, T., Mikkonen, N., Minunno, F., Piirainen, S., Punttila, P., Pykälä, J., Rajasärkkä, A., Syrjänen, K. & Turunen, M. (2020). Suojelualueverkosto muuttuvassa ilmastossa - kohti ilmastoviisasta suojelualuesuunnittelua. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/ 2020, Suomen ympäristökeskus. 70 s.
- Asada, R., Cardellini, G., Mair-Bauernfeind, C., Wenger, J., Haas, V., Holzer, D. & Stern, T. (2020). Effective bioeconomy? a MRIO-based socioeconomic and environmental impact assessment of generic sectoral innovations. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 153, 119946, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119946>.
- Adesanya, E., Ohenoja, K., Luukkonen, T., Kinnunen, P. & Illikainen, M. (2018). One-part geopolymers cement from slag and pretreated paper sludge. *Journal of Cleaner Production*, 185, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.007>
- Alarotu, M., Pajula, T., Hakala, J. & Harlin, A. (2020). Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutukset. ASIA-KASRAPORTTI VTT-CR-00682-20. Saatavilla: https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2020/06/16151319/Asiakasraportti_Metry_VTT_160620.pdf
- Ali, M. B., Saidur, R., & Hossain, M. S. (2011). A review on emission analysis in cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2252-2261. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.014>
- Alkemade, R., van Oorschot, M., Miles, L., Nellemann, C., Bakkenes, M. & ten Brink, B. (2009). GLOBIO3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss. *Ecosystems* 12, 374–390. <https://doi.org/10.1007/s10021-009-9229-5>
- Allwood, J. M., Ashby, M. F., Gutowski, T. G. & Worrell, E. (2011). Material efficiency: A white paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 362-381. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.002>
- Autoalan Tiedotuskeskus (2020). Liikenne- ja kuljetusalan vähäpäästöisen liikenteen tiekartta. Tieliikenteen päästövähennyspolku vuosille 2030 ja 2045. Tiivistelmäraportti 28.5.2020. 44 s.
- Auvinen, A.-P., Kempainen, E., Jäppinen, J.-P., Heliölä, J., Holmala, K., Jantunen, J., Koljonen, M.-J., Kolström, T., Lumiaro, R., Punttila, P., Venesjärvi, R., Virkkala, R. & Ahlroth, P. (2020). Suomen biodiversiteettistrategian ja toimintaohjelman 2012–2020 toteutuksen ja vaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:36. Valtioneuvoston kanslia. Helsinki.
- Betoniteollisuus. (2019). Kiertotalous toimii | Betoni. Saatavilla: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/>
- Blettler, M. C. M., Abrial, E., Khan, F. R., Sivri, N. & Espinola, L. A. (2018). Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water Research*, 143, 416-424. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.015>
- Bracker, J. & Timpe, C. (2017). An outline of sustainability criteria for synthetic fuels used in transport. Policy paper for Transport & Environment. Öko-Institut e.V. Freiburg. 21 s.
- Breure, A. M., Lijzen, J. P. A., & Maring, L. (2018). Soil and land management in a circular economy. *Science of the Total Environment* 624: 1125–1130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.137>
- Brizga, J., Hubacek, K. & Feng, K. (2020). The Unintended Side Effects of Bioplastics: Carbon, Land, and Water Footprints. *One Earth*, 3(1), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.06.016>
- Broadbent, C. (2016). Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. *The International Journal of Life Cycle Assessment* volume 21, pages 1658–1665. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1081-1>
- Buchmann-Duck, J. & Beazley, K. F. (2020). An urgent call for circular economy advocates to acknowledge its limitations in conserving biodiversity. *Science of the Total Environment*, 727, 138602. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138602>
- Calladine, J., Bray, J., Broome, A. & Fuller, R. J. (2015). Comparison of breeding bird assemblages in conifer plantations managed by continuous cover forestry and clearfelling. *Forest Ecology and Management*, 344, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.017>
- Carbon Action (2020). Hiiliopas - Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin. Toim. Jussi Heinonsalo.
- CE Delft (2019). Exploration chemical recycling – Extended summary. What is the potential contribution of chemical recycling to Dutch climate policy? Saatavilla: <https://www.cedelft.eu/en/publications/2173/%20exploratory-study-on-chemical-recycling>
- Cembureau (2020). A little-known fact about cement is that it is a carbon sink! <https://lowcarboneyconomy.cembureau.eu/5-years-on/the-5c-approach/recarbonation/> [luettu 14.7.2020].

- CircHubs (2020). Sähkö- ja elektroniikkaromu. Saatavilla: <https://circhubs.fi/tietopankki/sahko-ja-elektroniikkaromu-ser/> [luettu 14.8.2020].
- Dahlbo, H., Aalto, K., Salmenperä, H., Eskelinen, H., Pennanen, J., Sippola, K. & Huopalainen, M. (2015). Tekstiilien uudelleenkäytön ja tekstiilijätteen kierrätyksen tehostaminen Suomessa. Suomen ympäristö 4/2015. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/155612>
- Ellen MacArthur Foundation (2013). Towards the circular economy - Economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation (2019a). Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. Saatavilla: www.ellenmacarthurfoundation.org/publications
- Ellen MacArthur Foundation (2019b). Reuse – Rethinking Packaging. Saatavilla: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Reuse.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation (2020). What is a circular economy? A framework for an economy that is restorative and regenerative by design. Saatavilla: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept> [luettu 15.7.2020]
- Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum & McKinsey & Company (2016). The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics. Saatavilla: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>
- Energiavirasto (2019). Yrityskohtaiset päästötiedot 2013–2018. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/paastokaupan-julkaisut>
- Erävuori, L., Oksman, S., Holmén, H., Mustajärvi, K. & Hyvärinen, K. (2018). Luonnon monimuotoisuuden kannalta arvokkaat korvaavat elinympäristöt. Selvitys elinympäristöjen määrästä ja merkityksestä maantie- ja rataverkoilla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 10/2018.
- Eskelinen, H., Haavisto, T., Salmenperä, H. & Dahlbo, H. (2016). Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet. ARVI Material Value Chain. CLIC Innovation Raportti nro D4.1-3.
- Euroopan komissio (2015). Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>
- Euroopan komissio (2019). EU Critical raw materials in the circular economy and strategic value chains and EU R&D funding. Saatavilla: <https://www.euchems.eu/wp-content/uploads/2019/01/The-Periodic-Table-and-us-Handley-European-Commission.pdf>
- Euroopan komissio (2020a). Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma. Puhtaamman ja kilpailukyysisemmän Euroopan puolesta. COM(2020) 98 final. Bryssel 11.3.2020.
- Euroopan komissio (2020b). A European Green Deal. Saatavilla: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en [luettu 16.10.2020]
- EU (2018). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuviista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä.
- European Bioplastics (2020). Bioplastics market data. Saatavilla: <https://www.european-bioplastics.org/market/>
- European Environment Agency (EEA) (2018). Overview of electricity production and use in Europe. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4>
- European Environment Agency (EEA) (2020a). Europe's consumption in a circular economy: the benefits of longer lasting electronics. Recourse efficiency and waste. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/resource-efficiency/benefits-of-longer-lasting-electronics>.
- European Environment Agency (EEA) (2020b). The case for increasing recycling: Estimating the potential for recycling in Europe. Recourse efficiency and waste. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management/the-case-for-increasing-recycling>.
- Eurostat (2019). Waste electrical and electronic equipment (WEEE) by waste management operations. Saatavilla: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_waselee&lang=en.
- Farfan, J., Fasihi, M. & Breyer, C. (2019). Trends in the global cement industry and opportunities for long-term sustainable CCU potential for Power-to-X. Journal of Cleaner Production, 217, 821-835. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.226>
- Fleiter, T., Herbst, A., Rehfeldt, M. & Arens, M. (2019). Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry. Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonisation. ICF and Fraunhofer ISI. Saatavilla: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2050/docs/industrial_innovation_part_2_en.pdf
- Fortum (2020). Kierrätys- ja jätetalvelut. Muovit. Saatavilla: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/kierratys-ja-jatetalvelut/kierratys/muovit>
- Gaines, L.L. & Dunn, B.J. (2014). 21 - Lithium-Ion Battery Environmental Impacts. Advances and Applications, 483-508.

- Gao, T., Nielsen, A. B. & Hedblom, M. (2015). Reviewing the strength of evidence of biodiversity indicators for forest ecosystems in Europe. *Ecological Indicators*, 57, 420-434. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.028>
- Geerken, T., Schmidt, J., Boonen, K., Christis, M., & Merciai, S. (2019). Assessment of the potential of a circular economy in open economies – Case of Belgium. *Journal of Cleaner Production*, 227, 683-699. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.120>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P & Hultink, E.J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143: 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Ghanbari, H., Helle, M. & Saxén, H. (2015). Optimization of an Integrated Steel Plant with Carbon Capturing and Utilization Processes. *IFAC-PapersOnLine*, 48(17), 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.10.069>
- Hagström, M., Illman, J., Pesola, A., Vanhanen, J. & Gilbert, Y. (2011). Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011. Liikennevirasto. Helsinki. 90 s.
- Haines-Young, R. (2009). Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy*, 26, 178-186.
- Hallitusohjelma (2019). Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma 6.6.2019 OSALLISTAVA JA OSAAVA SUOMI – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-756-7>
- Harfoot, M.B.J., Tittensor, D.P., Knight, S., Arnell, A.P., Blyth, S., Brooks, S., Butchart, S.H.M., Hutton, J., Jones, M.I., Kapos, V., Scharlemann, J. Örn P.W. & Burgess, N.D. (2018). Present and future biodiversity risks from fossil fuel exploitation. *Conservation Letters*, 11, e12448. <https://doi.org/10.1111/conl.12448>
- Heino, P. (2019). Puurakentamisen tilanne Suomessa. Saatavilla: https://smy.fi/wp-content/uploads/2019/05/PMA46_Petri-Heino_Puurakentamisen-tulevaisuus-ja-haasteet.pdf
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY) (2018). Pääkaupunkiseudun sekajätteen koostumus vuonna 2018. Saatavilla: <https://julkaisu.hsy.fi/paakaupunkiseudun-sekajatteen-koostumus-2018.html>
- Herczeg, M., McKinnon, D., Milios, L., Bakas, I., Klaassens, E., Svatikova, K. & Widerberg, O. (2014). Resource efficiency in the building sector. The Netherlands: Ecorys. Saatavilla: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf>
- Hradil, P., Talja, A., Wahlström, M., Huuhka, S., Lahdensivu, J., & Pikkuvirta, J. (2014). Re-use of structural elements: Environmentally efficient recovery of building components. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Huttunen, M.J., Kuittinen, V. & Lampinen, A. (2018). Suomen biokaasurekisteri N:o 21 - Tiedot vuodelta 2017. Itä-Suomen yliopisto, raportteja N:o 33.
- Huttunen R. (toim.) (2017). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017. Saatavilla: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79189>
- Huuhka, S., Kaasalainen, T., Hakanen, J. H. & Lahdensivu, J. (2015). Reusing concrete panels from buildings for building: Potential in Finnish 1970s mass housing. *Resources, Conservation and Recycling*, 101, 105-121. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.017>
- Huuhka, S. & Lahdensivu, J. (2016). Statistical and geographical study on demolished buildings. *Building Research & Information*, 44(1), 73-96. 10.1080/09613218.2014.980101
- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kempainen, E., Uddström, A. & Luikko, U.-M. (toim.) (2019). Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K., Regina, K. & Turtola, E. (2020). Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO): loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki.
- ICCT (The International Council on Clean Transportation) (2018). Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. Briefing Feb 28, www.theicct.org.
- IEF (2020). Insight brief: The Circular Carbon Economy. Saatavilla: https://www.ief.org/_resources/files/comparative-analysis/march-ief-insight-brief--the-circular-carbon-economy.pdf
- Illikainen, M. (2019). Asiantuntijahaastattelu sementin- ja betonin päästövähennyspotentiaalista 19.8.2019. INFRA ry (2020). Purku ja kierrätys. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/tietoa-alasta/Purku-ja-kierratys/> [luettu 3.9.2020]
- International Energy Agency (2018). Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry. International Resource Panel (2019). Global resources outlook 2019 – Natural resources for the future we want. UNEP & International Resource Panel.
- IPCC (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, MoufoumaOkia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (eds.).
- IPBES (2019). Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. Saatavilla: <https://ipbes.net/global-assessment-report-biodiversity-ecosystem-services>

- IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages.
- Jäppinen, J.-P. & Heliölä, J. (ed.) (2015). Towards A Sustainable and Genuinely Green Economy. The value and social significance of ecosystem services in Finland (TEEB for Finland). The Finnish Environment 1/2015. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/152815>
- Järvelä, P. & Järvelä, P. (2015). Teknisten muovien kierrätys ja uusiokäyttö. Ympäristöministeriö.
- Kaiva (2020). Kaivostoiminta. Kaivannaistietoa kaikille. Saatavilla: <https://kaiva.fi/kaivannaissala/kaivostoiminta/>
- Kalliokoski, T., Heinonen, T., Holder, J., Mäkelä, A., Minunno, F., Lehtonen, A., Packalen, T., Peltoniemi, M., Pukkala, T., Salminen, O., Scheelhaas, M.-J., Vauhkonen, J., Kanninen, M., Seppälä, J. & Ollikainen, O. (2019). Skenaarioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2019. <https://www.ilmastopaneeli.fi/aineistot-ja-raportit/#2019>
- Kangas, H.-L., Sankelo, P., Kautto, P., Ruokamo, E., Lazarevic, D., Mattinen-Yuryev, M., Turunen, T. & Nissinen, A. (2019). Taloudellisten kannusteiden käyttö vähähiilisen rakentamisen ohjauksessa: TALO-hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:32. Saatavilla: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161923>
- Kauppi, S., Bachér, J., Laitinen, S., Kiviranta, H., Suomalainen, K., Turunen, T., Kautto, P., Mannio, J., Räisänen, M., Lautala, K., Porras, S., Rantio, T., Salminen, J., Santonen, T., Seppälä, T., Teittinen, T. & Wahlström, M. (2019). Kestävä ja turvallinen kiertotalous. Selvitys POP-yhdisteiden ja SVHC-aineiden hallinnasta kierto-taloudessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:58. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-787-1>
- Kauppi, S., Mannio, J., Hellsten, S., Nystén, T., Jouttijärvi, T., Huttunen, M., Ekholm, P., Tuominen, S., Porvari, P., Karjalainen, A., Sara-Aho, T., Saukkoriipi, J. & Maunula, M. (2013). Arvio Terrafame Talvivaaran kaivoksen kipsisakka-altaan vuodon haitoista ja riskeistä vesiympäristölle. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2013.
- Kemianteollisuus (2020). Hiilineutraali kemia 2045. Saatavilla: <https://www.kemianteollisuus.fi/fi/vastuullisuus/hiilineutraalikemia2045/>
- Koikkalainen, K., Seuri, P., Koivisto, A., Tauriainen, J., Hyvönen, T. & Regina, K. (2012). Luomu 50 - mitä tarkoittaisi, jos 50 % Suomen viljelyalasta siirtyisi luomuun. MTT raportti. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-349-9>
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) (2018). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>
- Kontula, T., Teeriahho, J., Husa, J., Grönlund, A., Gustafsson, J., Juutinen, R., Jäkäläniemi, A., Korvenpää, T., Nurmi, H., Pykälä, J. (2018). Kalliot ja kivikot. Julkaisussa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. s. 63-80.
- Korhonen, K. T., Auvinen A.-P., Kuusela, S., Puntila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J.-P. & Kolström, T. (2016). Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016. Luonnonvarakeskus. Helsinki 2016. 36 s.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. Ecological Economics, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Korhonen, J. & Snäkin, J.-P. (2005). Analysing the evolution of industrial ecosystems - concepts and application. Ecological Economic, s 52, 169–186. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.07.016>
- Korhonen, J., Wihersaari, M. & Savolainen, I. (2001). Industrial ecosystem in the Finnish forest industry: using the material and energy flow model of a forest ecosystem in a forest industry system. Ecological economics 39 (1): 145–161. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00204-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00204-X)
- Koskela, S., Mattila, T., Antikainen, R. & Mäenpää, I. (2013a). Identifying Key Sectors and Measures for a Transition towards a Low Resource Economy. Resources, 2(3). 10.3390/resources2030151
- Koskela, S., Mäenpää, I., Mattila, T., Seppälä, J., Korhonen, M.-R., Suorsa, M., Österlund, H. & Hippinen, I. (2013b). Suomen talouden materiaalivirrat vuonna 2008 ja resurssitehokkuuden tehostamisen vaikutukset vuoteen 2030. Ympäristöministeriön raportteja 26/2013.
- Kuuluvainen, T., Lindberg, H., Vanha-Majamaa, I., Keto-Tokoi, P. & Puntila, P. (2019). Low-level retention forestry, certification, and biodiversity: case Finland. Ecological Processes, 8, 47. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0198-0>
- Kuuluvainen, T., Tahvonen, O. & Aakala, T. (2012). Even-Aged and Uneven-Aged Forest Management in Boreal Fennoscandia: A Review. AMBIO 41, 720–737. <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0289-y>

- Känkänen, R., Väre, S., Teerihalme, H., Valli, R. & Nyrölä, L. (2011). Ekosysteemipalvelut väylänpidossa ja liikenteessä. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 53/2011. Saatavilla: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/its_2011-53_ekosysteemipalvelut_vaylanpidossa_web.pdf
- Laine, A., Raivio, T., Jonsson, H., Heino, A., Klimscheffskij, M. & Lehtomäki, J. (2020). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. Gaia Consulting Oy.
- Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, H., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S. & Niemi, J. (2020). Maatalouden ilmastotiekartta - Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maa-taloudessa.
- Leifeld, J. & Fuhrer, J.-O. (2010). Organic farming and soil carbon sequestration: what do we really know about the benefits? *Ambio*, 39(8), 585-99. doi: 10.1007/s13280-010-0082-8.
- Leppänen, J., Weckström, J. & Korhola, A. (2017). Multiple mining impacts induce widespread changes in ecosystem dynamics in a boreal lake. *Scientific Reports* 7, doi: 10.1038/s41598-017-11421-8
- Leskinen, P., Gardellini, G., Gonzalez-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T. & Verkerk, P.J. (2018). Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From science to policy. European Forest Institute.
- Liikanen, M., Grönman, K., Deviatkin, I., Havukainen, J., Hyvärinen, M., Kärki, T., Varis, J., Soukka, R. & Horttanainen, M. (2019). Construction and demolition waste as a raw material for wood polymer composites – Assessment of environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, 225, 716-727. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.348>
- Liikennevirasto (2018). Yhteiskäyttöautojen potentiaali ja vaikutukset käyttäjänäkökulmasta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 25/2018. Saatavilla: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/its_2018-25_yhteiskayttoautojen_web.pdf
- Liimatainen, H., Ollikainen, M. & Seppälä, J. (2019). Biokaasuautot liikenteen päästöjen vähentämisessä. Suomen Ilmastopaneeli.
- Lipasto (2020). LIPASTO – Liikenteen päästöinventaarior. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/inventaario.htm> [luettu: 28.7.2020]
- Luonnontila (2020). Kansallinen biodiversiteettiohjelma. Saatavilla: <https://www.luonnontila.fi/toimintaohjelma/esittely>
- Luonnonvarakeskus (2020a). Käytössä oleva maatalousmaa. Saatavilla: https://stat.luke.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2019_fi
- Luonnonvarakeskus (2020b). Metsävarat. Saatavilla: <https://stat.luke.fi/metsavarat>
- Luonnonvarakeskus (2020c). Ruokahävikki ja ruokajärjestelmän kiertotalous. Saatavilla: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/ruoka-ja-ravitsemus/ruokahavikki/> [luettu 15.7.2020]
- Luonnonvarakeskus (2020d). Kasviravinteiden myynti maataloilille. Saatavilla: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__08%20Indikaattorit__06%20Ymp%C3%A4rist%C3%B6__12%20Typpi-%20ja%20fosforitase/02_Kasviravinteiden_myynti.px/
- LUT (2018). Power-to-x (P2X) – Mitä se tarkoittaa ja miten se mullistaa energian- ja ruoantuotannon? 14.11.2018. Saatavilla: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/power-to-x-p2x-%E2%80%93-mita-se-tarkoittaa-ja-miten-se-mullistaa-energia-ja-ruoantuotannon-
- Luukkonen, T., Abdollahnejad, Z., Yliniemi, J., Kinnunen, P. & Illikainen, M. (2018). One-part alkali-activated materials: A review. *Cement and Concrete Research*, 103, 21-34. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.10.001>
- Maa- ja metsätalousministeriö (2020). LULUCF-asetus. Maankäyttösektorin sisällyttäminen EU:n ilmastotavoitteisiin. Saatavilla: <https://mmm.fi/lulucf> [luettu 23.9.2020]
- Malmqvist, T., Nehasilova, M., Moncaster, A., Birgisdottir, H., Nygaard Rasmussen, F., Houlihan Wiberg, A. & Potting, J. (2018). Design and construction strategies for reducing embodied impacts from buildings – Case study analysis. *Energy and Buildings*, 166, 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.033>
- Mannola, M. (2019). Väylänpidon hiilijalanjälki ja sen laskeminen. Väyläviraston julkaisuja 50/2019. Väylävirasto. Helsinki. 60 s.
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A., zu Castell-Rüdenhausen, M. (2017). Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017.
- Material Economics (2018). The circular economy - a powerful force for climate mitigation. Stockholm: Material Economics Sverige AB. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/en/publications/circular-economy-powerful-force-climate-mitigation/>
- Material Economics (2019). Industrial transformation 2050: pathways to net-zero emissions from EU heavy industry.
- Mayer, A., Kauppi, P., Angelstam, P., Zhang, Y. & Tikka, P. (2005). Importing timber, exporting ecological impact. *Science*, 308, 359–360. doi: 10.1126/science.1109476
- Mikulčić, H., Ridjan Skov, I., Dominković, D.F., Wan Alwi, S.R., Manan, Z.A., Tan, R., Duić, N., Hidayah Mohamad, S.N. & Wang, X. (2019). Flexible Carbon Capture and Utilization technologies in future energy systems and

- the utilization pathways of captured CO₂. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109338>
- Muovitiekartta (2020). Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa. Muovitiekartta Suomelle. Saatavilla: <https://muovitiekartta.fi/>
- Mutikainen, M., Sormunen, K., Paavola, H., Haikonen, T. & Väisänen, M. (2016). Ramboll Finland. Biokaasusta kasvua – Biokaasuliiketoiminnan ekosysteemien mahdollisuudet. Sitran selvityksiä 11/2016.
- Neste (2020). Tulevaisuuden raaka-aineet. Saatavilla: <https://www.neste.fi/yritysasiakkaat/vastuulliset-ratkaisut/tuotteet/raaka-aineet/tulevaisuuden-raaka-aineet>
- Niemi, J. & Väre, M. (2019). Suomen maa- ja elintarviketalous 2019. Luonnonvarakeskus. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-769-5>
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T. & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 189-200. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
- Nissinen, A. & Savolainen, H. (2019). Carbon footprint and raw material requirement of public procurement and household consumption in Finland - Results from the ENVIMAT-model. Reports of the Finnish Environment Institute 15en/2019. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/312377>
- Nunez, S., Verboom, J. & Alkemade, R. (2020). Assessing land-based mitigation implications for biodiversity. *Environmental Science & Policy*, 106, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.01.006>
- Nylund, N-O., Sipilä, K., Laurikko, J., Tamminen, S., Sipilä, E., Mäkelä, K., Hannula, I. & Honkatukia, J. (2015). Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset. Tutkimusraportti VTT-R-00752-15, 2015. http://www.transsmart.fi/files/248/Tutkimusraportti_VTT-R-00752-15_liitteinen.pdf
- Parikka, T. (2020). Yli 80 prosenttia kotitalouksista säilyttää kierrätyskelpoista elektroniikkajätettä. *Tieto & Trendit*. <https://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2020/yli-80-prosenttia-kotitalouksista-sailyttaa-kierratyskelpoista-elektroniikkajatetta/>
- Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K., Repo, A. & Mönkkönen, M. (2018). Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation*, 217, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.018>
- Punainen kirja (2020). Punaisen kirjan verkkopalvelu. Suomen lajiston uhanalaisuusarvioinnin 2019 tuloksia. Saatavilla: <https://punainenkirja.laji.fi/>
- Pöyry (2020a). Teknologiateollisuuden vähähiilietiekartta raportti – vaihe 2. Saatavilla: https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden%20tiekartta2_%20Skenaariot%20ja%20k%C3%A4denj%C3%A4kitarkastelu_P%C3%B6yry_0.pdf
- Pöyry (2020b). Tiekartta metsäteollisuudelle vähähiilistyvässä yhteiskunnassa, osa: päästöt. Saatavilla: https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2020/06/15161007/Mets%C3%A4teollisuus_ilmastotiekartta_AFRY_p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6suus_raportti_12062020.pdf
- Pöyry (2020c). Roadmap to reach carbon neutral chemistry in Finland 2045. Final report. Saatavilla: https://kemianteollisuus.studio.crasman.fi/file/dl/i/W03X2Q/yulYI_o2iB7IOGSXBKBNsw/Kemianteollisuusroadmapandexecutivesummary.pdf
- Raitanen, E., Antikainen, R., Turunen, T., Primmer, E. & Seppälä, J. (2017). Biomassan kaskadiperiaate ja muut politiikkatoimet - Synergiat ja ristiriidat. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2017.
- Raivio, T., Laine, A., Klimeschek, M., Lehtomäki, J., Heino, A., Jonsson, H., Pokela, P. & Ahlfors, M. (2020). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 2: Vähähiilisyiden mahdollisuuksien tarkastelu. Gaia Consulting Oy. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/tiekartta>
- Rakennusteollisuus (2020). Tietoa alasta. Tilastot ja suhdanteet. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/>
- Ramboll (2020). The decarbonisation benefits of sectoral circular economy actions. Quantification methodology for, and analysis of, the decarbonisation benefits of sectoral circular economy actions. Ramboll, Fraunhofer and Ecologic Institute on behalf of the EEA under the Request for Service No 02 in the context of the framework service contract EEA/ACC/18/001/LOT1. Saatavilla: <https://de.ramboll.com/-/media/files/rm/rapporter/methodology-and-analysis-of-decarbonization-benefits-of-sectoral-circular-economy-actions-17032020-f.pdf?la=de>
- RESCUE (2019). Resource-Efficient Pathways towards Greenhouse-Gas Neutrality – RESCUE. Summary Report. Saatavilla: https://www.umweltbundesamt.de/en/rescue/summary_report
- Reuter, M. A., Hudson, C., van Schaik, A., Heiskanen, K. & Meskers, C. (2013). Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. UNEP.
- Romare, M. & Dahllöf, L. (2017). The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries, IVL Swedish Environmental Research Institute. Roschier, S., Mikkola, J., Väre, U., Saario, M. & Gaia Consulting Oy (2020). Muovijätteen kemialliset hyödyntämiskäytännöt ja -markkinat kiertotaloudessa. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2019:64. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-476-1>
- Rumpel, C., Amiraslani, F., Koutika, L-S., Smith, P., Whitehead, D. & Wollenberg, E. (2018). Put more carbon in soils to meet Paris climate pledges. *Nature*, 564, 32-34. doi: 10.1038/d41586-018-07587-4

- Ruokamo, E. & Antikainen, R. (2020). Biodiversiteetti. Teoksessa: Berg, A., Räisänen, M. & Salo, H. (toim.) Kiertotalouden tieto käyttöön. Kahdeksan keskeistä teemaa ja uudet tietotarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2020. <http://hdl.handle.net/10138/310568>
- 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., Rikkinen, P., Seppälä, J. & Varho, V. (2019). Ruokavaliomuutoksen vaikutukset ja muutosta tukevat politiikkayhdistelmät: RuokaMinimi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:47. Saatavilla: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161742>
- Šajn, N. (2019). Environmental impact of the textile and clothing industry. Briefing. European Parliamentary Research Service.
- Salmenperä, H., Sahimaa, O., Kautto, P., Vahvelainen, S., Wahlström, M., Bachér, J., Dahlbo, H., Espo, J., Haavisto, T. & Laine-Ylijoki, J. (2016). Kohdenneut keinot kierrätyksen kasvuun. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 53/2016. Valtioneuvoston kanslia.
- Sandin, G. & Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 353–365.
- Sandin, G., Roos, S., Spak, B., Zamani, B. & Peters, G. (2019). Environmental assessment of Swedish clothing consumption. *Mistra Future Fashion report number: 2019:05*. Saatavilla: <http://mistrafuturefashion.com/wp-content/uploads/2019/08/G.Sandin-Environmental-assessment-of-Swedish-clothing-consumption.MistraFutureFashionReport-2019.05.pdf>
- Savolainen, H., Mäenpää, I., Nissinen, A. & Salo, M. (2019a). Tutkimuksen aineisto ja menetelmät. Teoksessa Nissinen, A. & Savolainen, H. (toim.) (2019). Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö – ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2019, Helsinki.
- Savolainen, H., Nissinen, A. & Mäenpää, I. (2019b). Kansantalouden kasvihuonekaasupäästöt ja luonnonvarojen käyttö vuonna 2015. In A. Nissinen, & H. Savolainen (eds.), *Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö - ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/300737>
- Seppälä, J., Asikainen, A., Kalliokoski, T., Kanninen, M., Koskela, S., Ratinen, I. & Routa, I. (2017). Tutkijoiden pääviestit metsien käytön ilmastovaikutuksista. *Suomen ilmastopaneeli 1/2017*.
- Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A. & 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.031>
- Seppälä, J. & Kanninen, M. (2019). Metsien hakkuiden kasvattaminen ei ole ilmastoteko. *Talous ja yhteiskunta* 1:20-27.
- Seppälä, J., Koskela, S., Palperi, M. & Melanen, M. (2000). Metallien jalostus ja ympäristö (Production of metals and the environment (an LCA study)). Helsinki, Finnish Environment institute. *The Finnish Environment* 431. 243 p. (In Finnish with an extended English summary.)
- Seppälä, J., Münther, J., Viri, R., Liimatainen, H., Weaver, S. & Ollikainen, M. (2019b). Autolaskurin käyttöopus ja laskennan perusteet. *Suomen ilmastopaneeli, Raportti 11/2019*. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/12/Ilmastopaneeli_autolaskuri_k%C3%A4ytt%C3%B6opus-ja-laskennan-perusteet_FINAL.pdf
- Seppälä, J., Mäenpää, I., Koskela, S., Mattila, T., Nissinen, A., Katajajuuri, J-M, Härmä, T., Korhonen, M-R, Saari, M. & Virtanen, Y. (2011). An assessment of greenhouse gas emissions and material flows caused by the Finnish economy using the ENVIMAT model. *Journal of Cleaner Production* 19(16): 1833-1841.
- Seppälä, J., Sahimaa, O., Honkatukia, J., Valve, H., Antikainen, R., Kautto, P., Myllymaa, T., Mäenpää, I., Salmenperä, H., Alhola, K., Kauppila, J. & Salminen, J. (2016). Kiertotalous Suomessa - toimintaympäristö, ohjauskeinot ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25/2016. Valtioneuvoston kanslia. Saatavilla: <https://vnk.fi/julkaisu?pubid=11902>
- Seppälä, J., Savolainen, H., Sironen, S., Soimakallio, S., & Ollikainen, M. (2019c). Päästövähennyspolku kohti hiilineutraalia Suomea-hahmotelma. *Suomen ilmastopaneeli*. Saatavilla: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/10/Suomen-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6v%C3%A4hennyspolku_final.pdf
- Setälä, O., Gustafsson, J., Haaksi, H. & Lehtiniemi, M. (2017). Roskapostia – kansalaisen tietokirja meren roskaantumisesta. Silverprint, Sipoo. Saatavilla: http://pidasaaristosiiistina.fi/files/2502/Roskapostia_nettti.pdf
- Shogren, R., Wood, D., Orts, W. & Glenn, G. (2019). Plant-based materials and transitioning to a circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 19, 194-215. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.04.007>
- Shorohova, E., Sinkevich, S., Kryshen, A. & Vanha-Majamaa, I. (2019). Variable retention forestry in European boreal forests in Russia. *Ecological Processes* 8, 34. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0183-7>
- Siitonen J. (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletin*, 49, 11-41.

- Silvennoinen, K., Koivupuro, H.-K., Katajajuuri J.-M., Jalkanen, L. & Reinikainen, A. (2012). Ruokahävikki suomalaisessa ruokaketjussa, Foodspill 2010–2012 -hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 41. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-362-8>.
- Singh, H., Bhardwaj, N., Arya, S. K. & Khatri, M. (2020). Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100305. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100305>
- Simons, M., Honkatukia, J., Antikainen, R., Hippinen, I., Merenheimo, T., Lehtomaa, J., Kautto, P., Mikkola, M., Tikkanen, S. & Salmenperä, H. (2018). Taloudelliset ohjaukeinit kierrätöuden arvoketjussa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 54/2018. Valtioneuvoston kanslia. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-605-8>
- Sipilä, E., Kiuru, H., Jokinen, J., Saarela, J., Tamminen, S., Laukkanen, M., Palonen, Nylund, N.-O. & Sipilä, K. (2018). Biopolttoaineiden kustannustehokkaat toteutuspolut vuoteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 63/2018. 115 s.
- Sitra (2014). Kierrätöuden mahdollisuudet Suomelle. Sitran selvityksiä 84. Saatavilla: <https://media.sitra.fi/2017/02/23221919/Selvityksia84-1.pdf>
- Sitra (2016). Leading the cycle – Finnish road map to a circular economy 2016–2025. Sitra Studies 121. Saatavilla: <https://media.sitra.fi/2017/02/28142644/Selvityksia121.pdf>
- Sitra (2019). Kriittinen siirto. Suomen kierrätöuden tiekartta 2.0. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/hankkeet/kriittinen-siirto-kierrätöuden-tiekartta-2/>
- Spierling, S., Knüpfner, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S., Albrecht, S., Hermann, C. & Endres, H. (2018). Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments. *Journal of Cleaner Production*, 185, 476–491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.014>
- SSAB (2020). CO2 efficiency. Saatavilla: <https://www.ssab.com/company/sustainability/sustainable-operations/co2-efficiency>
- Statistics Finland (2019). Greenhouse Gas Emission in Finland 1990–2017. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Saatavilla: https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_eu_nir_2017_2019-03-15.pdf
- Statistics Finland (2020). Greenhouse Gas Emission in Finland 1990–2018. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Saatavilla: https://www.stat.fi/static/media/uploads/fi_nir_eu_draft_2018_2020-01-15.pdf
- Steel Construction Info (2012). The recycling and reuse survey. Saatavilla: https://www.steelconstruction.info/The_recycling_and_reuse_survey#Definitions_of_recycling_and_reuse_rates
- Suomen Uusiomuovi Oy (2020). Tuottajavastuu. Mitä eroa on hyödyntämisellä ja kierrätyksellä? Saatavilla: http://www.uusiomuovi.fi/fin/tuottajavastuu/tuottajavastuulainsaadanto/hyodyntaminen_vai_kierratys/
- Suomen virallinen tilasto (SVT): Jättilasto [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-3339. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 12.8.2020]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/jate/>.
- Söderholm, P. & Ekvall, T. (2020). Metal markets and recycling policies: impacts and challenges. *Mineral Economics*, 33, 257–272.
- TEM (2019). Kestävyyssuhteiden väliraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 2019:63. Työ- ja elinkeinoministeriö. Helsinki. 61 s.
- Teollisuusliitto (2020). Toimialakatsaus. Kesä 2020. Tutkimusyksikön julkaisu 2/2020. Saatavilla: https://www.teollisuusliitto.fi/wp-content/uploads/2020/08/Teollisuusliiton-toimialakatsaus-2020_08.pdf
- Timonen, K., Ervasti, S., Salo, T., Katajajuuri, J.-J. & Rasi, S. (2020). Kierrätyslannoitevalmisteiden ilmastopäästöt. *Luonnonvarakeskus, Luonnonvara- ja biotaloudentutkimus* 34/2020.
- Takayabu, H., Kagawa, S., Fujii, H., Managi, S. & Eguchi, S. (2019). Impacts of productive efficiency improvement in the global metal industry on CO2 emissions. *Journal of Environmental Management*, 248, 109261. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109261>
- Tarmi, S. & Bäckman, J.-P. C. (2004). Pientareiden kasvit. Teoksessa: Tiainen, J., Kuussaari, M., Laurila, I.P. & Toivonen, T. (toim.). Elämää pellossa – Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus. Helsinki: Edita Publishing Oy. s. 98–111.
- Tieteen termipankki (2020). Nimitys: biodiversiteetti. Saatavilla: <https://www.tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:biodiversiteetti> [luettu: 28.07.2020].
- Tilastokeskus (2018). Asunnot ja asuinolot [verkkojulkaisu]. Liitetaulukko 3. Pinta-ala huoneistoa kohti (m²) asunnon talotyypin mukaan 1970–2018, koko asuntokanta. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 26.6.2020].
- Tilastokeskus (2020). Suomen kasviuonekaasupäästöt 1990–2019. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 28.6.2020]. Saatavilla: https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_suominir.html
- Toivonen, M., Herzon, I. & Kuussaari, M. (2015). Differing effects of fallow type and landscape structure on the occurrence of plants, pollinators and birds on environmental fallows in Finland. *Biological Conservation*, 181, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.10.034>
- Trinomics (2018). Quantifying the benefits of circular economy actions on the decarbonisation of EU economy. Svatikova, K., Vermeulen, J., Gandy, S., Hinton, S., & Coenen, P. (eds.). Rotterdam the Netherlands: Trinomics.

- Tsiropoulos, I., Faaij, A. P. C., Lundquist, L., Schenker, U., Briois, J. F. & Patel, M. K. (2015). Life cycle impact assessment of bio-based plastics from sugarcane ethanol. *Journal of Cleaner Production*, 90, 114-127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.071>
- Yle uutiset (2019). Ruotsissa testataan ratkaisua, joka mullistaisi yhteiskunnan ja romauttaisi päästöt – ja idea voi tulla käyttöön ensimmäisenä Suomessa. Julkaistu 8.9.2019. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-10942131>
- Vainikainen, A. (2020). Elintarviketeollisuuden vähähiilisyden tiekartta. Tiekarttojen tulokset ja jatkotyö -webinaari 9.6.2020.
- Valtionvarainministeriö (2014). Valtioneuvoston periaatepäätös valtion toimitilastrategiaksi. Periaatepäätös VM/2544/00.00.02/2014. Saatavilla: <https://vm.fi/documents/10623/307565/Valtioneuvoston+periaatep%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+valtion+toimitilastrategiaksi/0a92ff49-8d57-43fe-b49a-ae911c98b59d>
- Violainen-Hynnä, A. (2019). Biokaasun liikennekäyttö 2019 ja potentiaali 2020-luvulla. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry.
- VTT (2020). Hiilidioksidin talteenotto, käyttö ja varastointi (CCU ja CCS). Saatavilla: <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/hiilidioksidin-talteenotto-kaytto-ja-varastointi-ccu-ja-ccs> [luettu: 14.8.2020].
- Välimäki, V. (2020). Hiilidioksidista valmistettavat uusiutuvat synteettiset polttoaineet. Kandidaatintyö. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Tampereen yliopisto. 25 s.
- Väylävirasto (2020a). Luonnon monimuotoisuus. Saatavilla <https://vayla.fi/ymparisto/luonnon-monimuotoisuus> [luettu 29.07.2020]
- Väylävirasto (2020b). Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Väyläviraston ohjeita 6/2020. Väylävirasto, Helsinki. 67 s. Saatavilla: https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-06_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf
- Werner, S., Budziak, A., van Franeker, J., Galgani, F., Hanke, G., Maes, T., Matiddi, M., Nilsson, P., Oosterbaan, L., Priestland, E., Thompson, R., Veiga, J. & Vlachogianni, T. (2016). Harm caused by Marine Litter. MSFD GES TG Marine Litter - Thematic Report. JRC Technical report. EUR 28317 EN. doi:10.2788/690366
- Wijkman, A. & Skånberg, K. (2015). The Circular Economy and Benefits for Society Jobs and Climate Clear Winners in an Economy Based on Renewable Energy and Resource Efficiency. Club of Rome.
- Winkel, G. (2017). What Science Can Tell Us. Towards a sustainable European forest-based bioeconomy – assessment and the way forward European Forest Institute.
- WWF (2018). Living Planet Report - 2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A. (toim). WWF, Gland, Switzerland.
- Ympäristöministeriö (2009). Maa-ainesten kestävä käyttö. Opas maa-ainesten ottamisen sääntelyä ja järjestämistä varten. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2009. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/41538>
- Ympäristöministeriö (2015). Luonnon monimuotoisuudelle haitalliset tuet. Taustaselvitys. Luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävä käytön asiantuntijaverkosto. Ympäristöministeriön raportteja 19/2015. 56 s.
- Ympäristöministeriö. (2017). Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030 – Kohti ilmastoviisasta arkea. Ympäristöministeriö: Ympäristöministeriön raportteja 21/2017. Saatavilla: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/80703>
- Ympäristöministeriö (2019). Kysymyksiä ja vastauksia muoveista. Saatavilla: https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Muovit/Kysymyksiä_ja_vastauksia_muoveista
- Ympäristöministeriö (2020). Puurakentamisen toimenpideohjelma. Saatavilla: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Ohjelmat_ja_strategiat/Puurakentamisen_toimenpideohjelma
- Zhang, J., Liu, G., Chen, B., Song, D., Qi, J., & Liu, X. (2014). Analysis of CO2 Emission for the Cement Manufacturing with Alternative Raw Materials: A LCA-based Framework. *Energy Procedia*, 61, 2541-2545. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.041>

Liite 1 ENVIMAT-mallin toimialaluokitus

Taulukko L1. ENVIMAT-mallin toimialaluokitus.

63 toimialan luokitus	Mallin laskentatason luokitus
1 Maatalous ja metsästys	Kasvinviljely, Puutarhatuotanto, Varsinainen kotieläintalous, Turkistarhaus, poronhoito ym., Maataloutta palveleva toiminta, Metsästys
2 Metsätalous	Metsänhoito, Puunkorjuu, Luonnon tuotteiden keruu, Metsätaloutta palveleva toiminta, Metsien nettokasvu
3 Kalatalous	Kalatalous
4 Kaivostoiminta ja louhinta	Energiamineraalien kaivu, Metallimalmien louhinta, Muu mineraalien kaivu, Soran, hiekan ja saven otto, Kaivostoimintaa ja louhintaa palveleva toiminta
5 Elintarviketeollisuus ym.	Teurastus, lihan säilyvyyskäsittely ja lihatuotteiden valmistus, Kalan, äyriäisten ja nilviäisten jalostus ja säilöntä, Hedelmien ja kasvien jalostus ja säilöntä, Kasvi- ja eläinöljyjen ja -rasvojen valmistus, Maitotaloustuotteiden valmistus, Mylly- ja tärkkelystuotteiden valmistus, Leipomotuotteiden, makaronien yms. valmistus, Muiden elintarvikkeiden valmistus, Eläinten ruokien valmistus, Juomien valmistus, tupakkatuotteiden valmistus
6 Tekstiili-, vaatetus- ja nahkateollisuus	Tekstiilien valmistus, Vaatteiden valmistus, Nahan ja nahkatuotteiden valmistus
7 Puuteollisuus	Puun sahaus, höyläys ja kyllästys, Puutuotteiden valmistus
8 Paperiteollisuus	Massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistus, Paperi-, kartonki- ja pahvituotteiden valmistus
9 Painaminen	Painaminen ja tallenteiden jäljentäminen
10 Öljynjalostus	Jalostettujen öljytuotteiden valmistus
11 Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus	Peruskemikaalien valmistus, Lannoitteiden ja typpiyhdisteiden valmistus, Maalien, lakan, painovärien yms. valmistus, Saippuan, pesu-, puhdistus- ja kiillotusaineiden; hajuvesien ja hygieniatuotteiden valmistus, Muiden kemiallisten tuotteiden valmistus
12 Lääketeollisuus	Lääkeaineiden ja lääkkeiden valmistus
13 Kumi- ja muovituotteiden valmistus	Kumituotteiden valmistus, Muovituotteiden valmistus
14 Rakennusaine-teollisuus	Lasin ja lasituotteiden valmistus, Keraamisten rakennusaineiden valmistus, Muiden posliini- ja keramiikkatuotteiden valmistus, Sementin, kalkin ja kipsin valmistus, Betoni-, kipsi- ja sementtituotteiden valmistus, Kiven leikkaaminen, muotoilu ja viimeistely, Hiontatuuotteiden ja muualla luokittelemattomien ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus

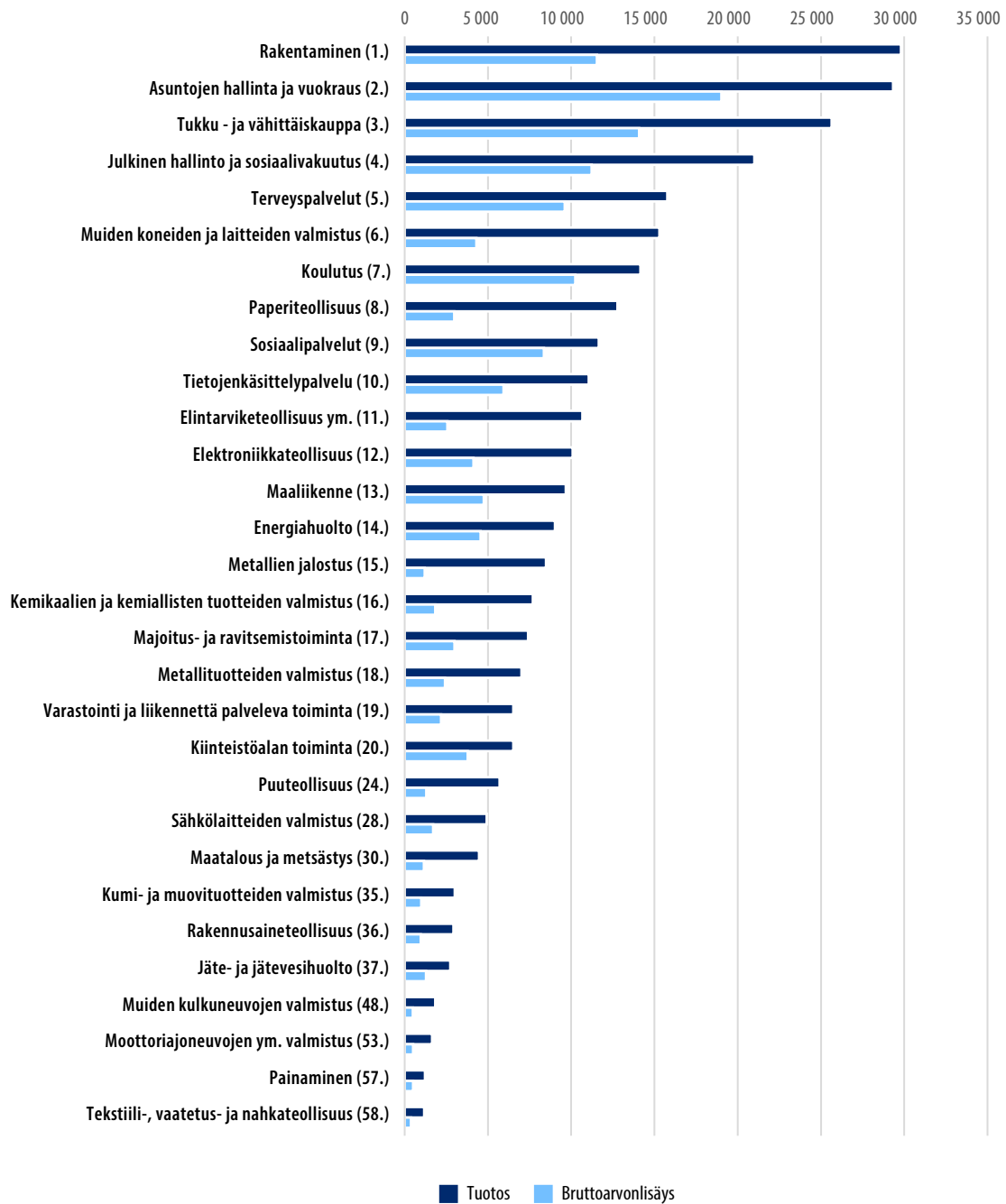
63 toimialan luokitus	Mallin laskentatason luokitus
15 Metallien jalostus	Raudan, teräksen ja rautaseosten valmistus, Putkien valmistus, muu teräksen jalostus, Jalometallien ja muiden värimetallien valmistus, Metallien valu
16 Metallituotteiden valmistus	Metallirakenteiden valmistus, Metallisäiliöiden ja -altaiden yms. valmistus, Höyrykattiloiden valmistus (pl. keskuslämmityslaitteet), Aseiden ja ammusten valmistus, Metallien takominen, käsittely, päällystäminen ja työstö, Ruokailu- ja leikkuuvälineiden yms. sekä työkalujen ja rautatavarain valmistus, Muu metallituotteiden valmistus
17 Elektroniikkateollisuus	Elektronisten komponenttien ja piirilevyjen valmistus, Viestintälaitteiden ja viihde-elektroniikan valmistus, Mittaus-, testaus- ja navigointivälineiden ja -laitteiden valmistus; kellot, Säteilylaitteiden sekä elektronisten lääkintä- ja terapialaitteiden valmistus,
18 Sähkölaitteiden valmistus	Sähkösäätö- ja moottorien, generaattorien, muuntajien sekä sähköjakelu- ja valvontalaitteiden valmistus, Sähköjohtojen ja kytkentälaitteiden valmistus, Sähkölamppujen ja valaisimien valmistus, Kodinkoneiden valmistus, Muiden sähkölaitteiden valmistus
19 Muiden koneiden ja laitteiden valmistus	Yleiskäyttöön tarkoitettujen voimakoneiden valmistus, Muiden yleiskäyttöön tarkoitettujen koneiden valmistus, Maa- ja metsätalouskoneiden valmistus, Metallin työstökoneiden ja konetyökalujen valmistus, Muiden erikoiskoneiden valmistus
20 Moottoriajoneuvojen ym. valmistus	Moottoriajoneuvojen valmistus, Moottoriajoneuvojen korien valmistus; perävaunujen ja puoliperävaunujen valmistus, Osien ja tarvikkeiden valmistus moottoriajoneuvoihin
21 Muiden kulkuneuvojen valmistus	Laivojen ja veneiden rakentaminen, Muiden kulkuneuvojen valmistus
22 Muu valmistus ml. huonekalut	Huonekalujen valmistus, Muu valmistus
23 Koneiden ja laitteiden korjaus, huolto ja asennus	Metallituotteiden, teollisuuden koneiden ja laitteiden korjaus ja huolto, Teollisuuden koneiden ja laitteiden ym. asennus
24 Energiahuolto	Sähkön tuotanto, Kaukolämmön ja kylmän tuotanto, Teollisuushöyryn tuotanto, Kaasun tuotanto ja jakelu putkiverkossa
25 Veden otto, puhdistus ja jakelu	Veden otto, puhdistus ja jakelu
26 Jäte- ja jätevesihuolto	Viemäri- ja jätevesihuolto, Jätteen keruu, Jätteen käsittely ja loppusijoitus, Materiaalien kierrätys, Maaperän ja vesistöjen kunnostus ja muut ympäristöhuoltopalvelut
27 Rakentaminen	Talonrakentaminen ym., Maa- ja vesirakentaminen ym.

63 toimialan luokitus	Mallin laskentatason luokitus
28 Moottoriajoneuvojen kauppa, huolto ja korjaus	Moottoriajoneuvojen kauppa, huolto ja korjaus
29 Tukku - ja vähittäiskauppa	Elintarvikkeiden kauppa, Jätteiden tukkukauppa, Muu kauppa
30 Maaliikenne	Rautatieliikenne, Linja-auto- ja paikallisliikenne, Taksiliikenne, Tieliikenteen tavarankuljetus, putkijohtokuljetus
31 Vesiliikenne	Vesiliikenne
32 Ilmaliikenne	Ilmaliikenne
33 Varastointi ja liikennettä palveleva toiminta	Varastointi ja liikennettä palveleva toiminta
34 Posti- ja kuriiritoiminta	Posti- ja kuriiritoiminta
35 Majoitus- ja ravitsemistoiminta	Majoitus, Ravitsemistoiminta
36 Kustannustoiminta	Kustannustoiminta
37 Audiovisuaalinen toiminta	Audiovisuaalinen toiminta
38 Televiestintä	Televiestintä
39 Tietojenkäsittelypalvelu	Tietojenkäsittelypalvelu
40 Rahoitustoiminta	Rahoitustoiminta
41 Vakuutustoiminta ym.	Vakuutustoiminta ym.
42 Rahoitusta ja vakuutusta palveleva toiminta	Rahoitusta ja vakuuttamista palveleva toiminta
43 Asuntojen hallinta ja vuokraus	Asuntojen vuokraus ja hallinta
44 Kiinteistöalan toiminta	Muu kiinteistötoiminta
45 Liikkeenjohdon palvelut	Lakiasia- ja laskentatoimen palvelut, Liikkeenjohdon konsultointi
46 Tekniset palvelut	Tekniset palvelut

63 toimialan luokitus	Mallin laskentatason luokitus
47 Tieteellinen tutkimus ja kehittäminen	Tieteellinen tutkimus ja kehittäminen
48 Mainostoiminta ja markkinatutkimus	Mainostoiminta ja markkinatutkimus
49 Muut liike-elämän palvelut ja eläinlääkintä	Muut erikoistuneet palvelut liike-elämälle, Eläinlääkintäpalvelut
50 Vuokraus- ja leasingtoiminta	Vuokraus- ja leasingtoiminta
51 Työllistämistoiminta	Työllistämistoiminta
52 Matkatoimistot ym.	Matkatoimistot ym.
53 Muut tukipalvelut	Turvallisuus-, vartiointi- ja etsiväpalvelut, Kiinteistön- ja maisemanhoito, Hallinto- ja tukipalvelut liike-elämälle
54 Julkinen hallinto ja sosiaalivakuutus	Julkinen hallinto ym., Pakollinen sosiaalivakuutus, Maanpuolustuskalusto ja varusmiehet, Radanpito, Tienpito
55 Koulutus	Koulutus
56 Terveyspalvelut	Terveyspalvelut
57 Sosiaalipalvelut	Sosiaalipalvelut
58 Kulttuuritoiminta ja rahapelit	Kulttuuri- ja viihdetoiminta ym., Rahapeli- ja vedonlyöntipalvelut
59 Urheilu-, huvi- ja virkistyspalvelut	Urheilutoiminta sekä huvi- ja virkistyspalvelut
60 Järjestöjen toiminta	Järjestöjen toiminta
61 Kotitaloustavaroiden korjaus	Kotitaloustavaroiden korjaus
62 Muut henkilökohtaiset palvelut	Muut henkilökohtaiset palvelut
63 Kotitalouspalvelut	Kotitalouspalvelut

Liite 2 Toimialojen tuotos ja bruttoarvonlisäys

Kuva L1. Valikoitujen toimialojen tuotos ja bruttoarvonlisäys vuonna 2015, milj. euroa. Suluissa toimialan järjestysnumero tuotoksen osalta 63 toimialan kokonaisuudessa.



Liite 3 MSA-kertoimet

Taulukko L2. ENVIMAT-mallissa käytetyt Mean species abundance -kertoimet (Alkemade ym., 2009).

ENVIMAT-maanpeiteluokitus	MSA
Keinotekoiset pinnat	0
Viheralueet	0,3
Viljely, intensiivinen	0,1
Viljely, orgaaninen, kesanto	0,3
Monivuotiset kasvit, intensiivinen	0,1
Monivuotiset kasvit, ekstensiivinen	0,3
Laitumet ja niityt, intensiivinen	0,3
Laitumet ja niityt, ekstensiivinen	0,7
Vanhat metsät	1,0
Talousmetsät	0,7
Avohakkuualueet, lyhytkiertoviljelyt	0,5
Muu maa, vähän käytetty tai hylätty	0,7
Muu maa, luonnontilainen	1,0

Liite 4 Työpajat ja keskustelutilaisuudet

Taulukko L3. Hankkeen aikana järjestetyt työpajat ja keskustelutilaisuudet.

Työpajan ajan-kohta ja toteutusmuoto	Työpajan aihe	Osallistujat
6.4.2020 (3h, etänä)	Aiheena oli kiertotalouden biodiversiteettivaikutusten tunnistaminen. Työpajassa keskityttiin etenkin rakentamisen ja metsäteollisuuden osa-alueisiin. Keskustelua käytiin myös maankäytön roolista ja ruokajärjestelmästä.	Työpaja oli kohdennettu SYKEN asiantuntijoille. Paikalla: Petri Ahlroth, Ari-Pekka Auvinen, Jukka-Pekka Jäppinen, Sari Kauppi, Tytti Kontula, Minna Pekkonen, Kati Vierikko ja hankkeen tutkijat Riina Antikainen, Enni Ruokamo, Milja Räisänen, Hannu Savolainen ja Jyri Seppälä
14.4.2020 (2h, etänä)	Aiheena oli kiertotalouden biodiversiteettivaikutusten tunnistaminen ruokajärjestelmässä.	Paikalla Mikko Kuussaari (SYKE) ja hankkeen tutkijat Riina Antikainen, Enni Ruokamo, Milja Räisänen ja Jyri Seppälä
5.5.2020 (1,5h, etänä)	Aiheena oli kiertotalouden päästövähennyspotentiaalin ja biodiversiteettivaikutusten arviointi ja työpajassa keskityttiin erityisesti rakentamisen ja kiinteistöjen käytön osa-alueeseen.	Paikalla Erja Fagerlund (TEM), Harri Hakaste (YM), Heta-Elena Heiskanen (YM), Eero Jalava (Sitra), Sari Kauppi (SYKE), Petrus Kautto (SYKE), Johanna Niemivuo-Lahti (MMM), Sami Niinimäki (OKM), Taina Nikula (YM), Minna Pekkonen (SYKE), Leena-Kaisa Piekkari (YM), Olli-Pekka Pietiläinen (YM), Taru Savolainen (YM), Heikki Sorasahi (YM), Milka Suomalainen (VM), Sari Tasa (TEM), Sarianne Tikkanen (YM), Birgitta Vainio-Mattila (MMM), Marina von Weissenberg (YM) ja hankkeen tutkijat Enni Ruokamo (SYKE), Milja Räisänen (SYKE), Hannu Savolainen (SYKE) ja Jyri Seppälä (SYKE)
28.5.2020 (1h, etänä)	Aiheena oli kiertotalouden päästövähennyspotentiaali ja biodiversiteettivaikutukset ruokajärjestelmässä.	Eero Jalava (Sitra), Petrus Kautto (SYKE), Milja Keskinen (MMM), Hanna Mattila (MMM), Johanna Niemivuo-Lahti (MMM), Taina Nikula (YM), Olli-Pekka Pietiläinen (YM), Kaisa Pirkola (MMM), Merja Saarnilehto (YM), Sirje Stén (YM), Heikki Sorasahi (YM), Milka Suomalainen (VM), Marja-Liisa Tapio-Biström (MMM), Sarianne Tikkanen (YM), Birgitta Vainio-Mattila (MMM), Tia-Maria Virtanen (MMM) ja hankkeen tutkijat Enni Ruokamo (SYKE), Milja Räisänen (SYKE), Hannu Savolainen (SYKE) ja Jyri Seppälä (SYKE)

29.5.2020 (1h, etänä)	Aiheena oli kiertotalouden päästövähennyspotentiaali ja biodiversiteettivaikutukset metsäteollisuudessa.	Eero Jalava (Sitra), Petrus Kautto (SYKE), Taina Nikula (YM), Anna-Maija Pajukallio (YM), Minna Pekkonen (SYKE), Kaisa Pirkola (MMM), Merja Saarnilehto (YM), Taru Savolainen (YM), Heikki Sorasahi (YM), Milka Suomalainen (VM), Sarianne Tikkanen (YM), Sari Tasa (TEM) ja hankkeen tutkijat Enni Ruokamo (SYKE), Milja Räisänen (SYKE), Hannu Savolainen (SYKE) ja Jyri Seppälä (SYKE)
9.6.2020 (1h, etänä)	Aiheena oli kiertotalouden päästövähennyspotentiaali ja biodiversiteettivaikutukset metalliteollisuudessa.	Eero Jalava (Sitra), Taina Nikula (YM), Leena-Kaisa Piekkari (YM), Heikki Sorasahi (YM), Sirje Sten (YM), Milka Suomalainen (VM), Sari Tasa (TEM), Sarianne Tikkanen (YM), Marina von Weissenberg (YM) ja hankkeen tutkijat Enni Ruokamo (SYKE), Milja Räisänen (SYKE), Hannu Savolainen (SYKE) ja Jyri Seppälä (SYKE)
11.6.2020 (1h, etänä)	Aiheena oli kiertotalouden päästövähennyspotentiaali ja biodiversiteettivaikutukset muoveihin liittyen.	Sari Kauppi (SYKE), Merja Saarnilehto (YM), Sirje Stén (YM), Sarianne Tikkanen (YM) ja hankkeen tutkijat Enni Ruokamo (SYKE), Milja Räisänen (SYKE) ja Hannu Savolainen (SYKE)



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet

ISBN: 978-952-361-205-1 PDF

ISSN: 2490-1024 PDF