



Suomen kansantalouden materiaalivirrat ja niiden vaikutukset

Toteutunut kehitys ja kiertotalouden skenaariot vuodelle 2035

Valtioneuvoston julkaisu 2024:8

Suomen kansantalouden materiaalivirrat ja niiden vaikutukset

Toteutunut kehitys ja kiertotalouden skenaariot vuodelle 2035

Suomen ympäristökeskus, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy,
Luonnonvarakeskus, Geologian tutkimuskeskus, Tilastokeskus

Valtioneuvosto Helsinki 2024

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Valtioneuvosto
CC BY-NC-ND 4.0

ISBN pdf: 978-952-383-759-1
ISSN pdf: 2490-0966

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2024

Suomen kansantalouden materiaalivirrat ja niiden vaikutukset Toteutunut kehitys ja kiertotalouden skenaariot vuodelle 2035

Valtioneuvoston julkaisu 2024:8

Julkaisija Valtioneuvosto

Tekijä/t	Hannu Savolainen, Johanna Niemistö, Mari Heikkinen, Jyri Seppälä, Saana Springare, Jani Salminen, Mikko Savolahti, Sampo Soimakallio, Enni Ruokamo, Tiina Koljonen, Ali Harlin, Janne Keränen, Terttu Vainio, Tiina Vainio-Kaila, Päivi Kivikytö-Reponen, Inka Orko, Marjaana Karhu, Heikki Lehtonen, Vesa Joutsjoki, Oiva Niemeläinen, Mari Kivinen, Toni Eerola, Neea Heino, Tuomas Kaariaho		
Yhteisötekijä	Suomen ympäristökeskus, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Luonnonvarakeskus, Geologian tutkimuskeskus, Tilastokeskus		
Kieli	suomi	Sivumäärä	253

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli lisätä ymmärrystä kiertotalouden potentiaalista vaikuttaa Suomen luonnonvarojen käyttöön ja niistä aiheutuviin ympäristö- ja talousvaikutuksiin.

Viimeaikaisen kehityksen lisäksi arvioitiin kolmea luonnonvarojen käytön skenaariota vuodelle 2035. Niihin lisättiin kiertotaloustoimenpiteitä vaiheittain siten, että kunniahimoisin skenaario pyrki saavuttamaan Suomen kiertotalouden strategisen ohjelman luonnonvaratavoitteiden lisäksi myös Suomen hiilineutraalisuustavoitteen.

Tulosten perusteella kiertotalouden strategisessa ohjelmassa asetut luonnonvaratavoitteet ovat osin saavutettavissa. Tällöin Suomen raaka-aineiden kokonaiskulutus vuonna 2035 ei ylitä vuoden 2015 tasoa, ja materiaalien kiertotalousaste kaksinkertaistuu vuodesta 2015. Myös hiilineutraalisuus voidaan saavuttaa vuoteen 2035 mennessä työssä hahmoteltujen oletuksien ja lisätoimien toteutuessa. Puhdas energiasiirtymä vähentää Suomen päästöjä ja luonnonvarojen käyttöä merkittävästi jo nykyisten päätösten toteutuessa perusskenaariossa. Kiertotaloustoimenpiteet edistävät edelleen päästöjen laskua ja vahvistavat nieluja.

Suomen raaka-aineiden kulutus asukasta kohden säilyy kiertotaloustoimenpiteistä huolimatta globaalisti erittäin korkealla tasolla ja resurssituottavuudessa jäädään kauas EU-maiden keskiarvosta. Kiertotalouden toteutukseen tarvitaan lisää kunnianhimoa ja toimintaa tukevia ohjauskeinoja.

Julkaisu on päivitetty 22.3.2024, s. 21, 23, 43, 89.

Asiasanat tutkimus, tutkimustoiminta, kiertotalous, luonnonvarat, raaka-aineet, skenaariot, panos-tuotosanalyysi, ENVIMAT, ympäristövaikutukset, kansantalous

ISBN PDF 978-952-383-759-1

Hankenumero YM046:00/2021

ISSN PDF

2490-0966

Julkaisun osoite <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-759-1>

Materialflöden i Finlands samhällsekonomi och deras verkningar Utveckling hittills och scenarier för den cirkulära ekonomin fram till 2035

Statsrådets publikationer 2024:8

Utgivare Statsrådet

Författare Hannu Savolainen, Johanna Niemistö, Mari Heikkinen, Jyri Seppälä, Saana Springare, Jani Salminen, Mikko Savolahti, Sampo Soimakallio, Enni Ruokamo, Tiina Koljonen, Ali Harlin, Janne Keränen, Terttu Vainio, Tiina Vainio-Kaila, Päivi Kivikytö-Reponen, Inka Orko, Marjaana Karhu, Heikki Lehtonen, Vesa Joutsjoki, Oiva Niemeläinen, Mari Kivinen, Toni Eerola, Neea Heino, Tuomas Kaariaho

Utarbetad av Suomen ympäristökeskus, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Luonnonvarakeskus, Geologian tutkimuskeskus, Tilastokeskus

Språk finska

Sidantal

253

Referat

Syftet med undersökningen var att öka förståelsen för hur den cirkulära ekonomin kan påverka användningen av Finlands naturresurser och vilka ekonomiska och miljömässiga konsekvenser denna användning medför.

Utöver en granskning av den senaste tidens utveckling bedömdes även tre möjliga scenarier för användningen av naturresurser fram till år 2035. Framtidsscenarierna kompletterades stegvis med åtgärder för främjande av cirkulär ekonomi, så att syftet med det mest ambitiösa scenariot var att uppnå både de mål som ställts upp i fråga om naturresurser i Finlands strategiska program för främjande av cirkulär ekonomi och Finlands mål om kolneutralitet.

Resultaten visar att de mål som fastställts för naturresurser i det strategiska programmet för (främjande av) cirkulär ekonomi kan delvis uppnås. I så fall kommer den totala förbrukningen av råvaror i Finland år 2035 inte att överstiga 2015 års nivå, och graden av cirkulär ekonomi för material kommer att fördubblas från år 2015. Kolneutralitet kan också uppnås 2035, om de antaganden och åtgärder som skisserats upp i undersökningen uppfylls och genomförs. Omställningen till ren energi minskar utsläppen och användningen av naturresurser i Finland avsevärt redan när de nuvarande besluten verkställs, vilket illustreras i basscenariot. Åtgärder som vidtas för främjande av cirkulär ekonomi främjar även utsläppsminskningar och stärker sänkorna.

Trots åtgärderna för främjande av cirkulär ekonomi är förbrukningen av råvaror per invånare i Finland mycket hög globalt sett och resurseffektiviteten är mycket lägre än genomsnittet i EU-länderna. För att främja den cirkulära ekonomin behövs det fler styrmedel som stöder ambitionen och verksamheten.

Publikation uppdaterades den 22 mars 2024, s. 21, 23, 43, 89.

Nyckelord

forskning, forskningsverksamhet, cirkulär ekonomi, naturresurser, råvaror, scenarier, input-outputanalys, ENVIMAT, miljökonsekvenser, samhällsekonomi

ISBN PDF 978-952-383-759-1

ISSN PDF

2490-0966

Projektnummer YM046:00/2021

URN-adress <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-759-1>

Material Flows of Finland's National Economy and Their Impacts Actual Development and Scenarios of a Circular Economy for 2035

Publications of the Finnish Government 2024:8

Publisher Finnish Government

Author(s) Hannu Savolainen, Johanna Niemistö, Mari Heikkinen, Jyri Seppälä, Saana Springare, Jani Salminen, Mikko Savolahti, Sampo Soimakallio, Enni Ruokamo, Tiina Koljonen, Ali Harlin, Janne Keränen, Terttu Vainio, Tiina Vainio-Kaila, Päivi Kivikytö-Reponen, Inka Orko, Marjaana Karhu, Heikki Lehtonen, Vesa Joutsjoki, Oiva Niemeläinen, Mari Kivinen, Toni Eerola, Neea Heino, Tuomas Kaariaho

Group author Suomen ympäristökeskus, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Luonnonvarakeskus, Geologian tutkimuskeskus, Tilastokeskus

Language Finnish **Pages** 253

Abstract

The purpose of the study was to increase understanding of the potential of a circular economy to influence the use of natural resources in Finland and the environmental and economic impacts this causes.

Besides the recent developments, three scenarios on the use of natural resources extending until 2035 were analysed. In these, circular economy measures were added by stages so the most ambitious scenario aims to achieve not only the natural resources targets of the Strategic Programme to Promote a Circular Economy but also Finland's carbon neutrality target.

Based on the results, the natural resources objectives set in the Strategic Programme to Promote a Circular Economy can be partly reached. This means that the total consumption of raw materials in Finland in 2035 will not exceed the level of 2015, and the circular material use rate will double from that year. If the hypotheses and additional measures are realised, it will also be possible to reach carbon neutrality by 2035. The clean energy transition will reduce Finland's emissions and use of natural resources significantly even in the basic scenario that is based on decisions that have already been made. Circular economy measures will further promote the decrease in emissions and strengthen sinks.

Despite the circular economy measures, in the global context the per capita consumption of raw materials in Finland will stay at a very high level and in terms of resource productivity we are far behind the average of the EU countries. Higher ambition and steering instruments that support the actions will be needed to implement a circular economy.

Publication was updated on 22nd March 2024, p. 21, 23, 43, 89.

Keywords research, research activities, circular economy, natural resources, raw materials, scenarios, input-output analysis, ENVIMAT, environmental impacts, national economy

ISBN PDF 978-952-383-759-1 **ISSN PDF** 2490-0966
Project number YM046:00/2021

URN address <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-759-1>

Sisältö

Sanasto ja lyhenteet	8
Esipuhe	13
1 Johdanto	15
1.1 Taustaa.....	15
1.2 Työn tarkoitus ja tavoitteet	19
1.3 Tutkimuslaitoskonsortion osapuolten roolit toteutuksessa	20
2 Työn toteutus, aineistot ja menetelmät	23
2.1 Suomen materiaalivirtojen laskentajärjestelmä ja RMC-indikaattorin tuottaminen	23
2.2 Toteutuneen tilanteen arviointi ENVIMAT-mallilla	28
2.2.1 Peruseriaatteet	28
2.2.2 Raaka-aineiden otto ja käyttö ja materiaalivirtaindikaattorien laskeminen	30
2.2.3 Ympäristökuormitusten ja -vaikutusten arviointi	31
2.2.4 Maakuntien tilannekuvan arviointi.....	33
2.3 Luonnonvarojen käytön skenaarioiden laadinta ja arviointi.....	34
2.3.1 Skenaariot ja niiden lähtötietojen määrittäminen	34
2.3.2 Arviointiperiaatteet ENVIMATscen-mallissa	37
2.3.3 Materiaalien kiertotalousaste	40
2.3.4 Sähköautojen akustojen erillistarkastelu	42
2.4 Muutosalueet ja niiden lähtötiedot eri skenaarioissa.....	43
2.4.1 Resurssiviisas rakennettu ympäristö	44
2.4.2 Kiertotalouteen perustuva teollisuus	46
2.4.3 Kestävä kulutus ja liiketoiminta.....	53
2.4.4 Materiaalitehokas energiajärjestelmä	54
2.4.5 Uudistava ruokajärjestelmä	57
2.5 Skenaarioiden yhteenvedot ja yleiset taustaoletukset.....	61
2.5.1 Perusskenaario	61
2.5.2 Kiertotalousskenaario	63
2.5.3 Hiilineutraalisuusskenaario.....	63

3 Tulokset	64
3.1 Luonnonvarojen käytön kehitys vuosina 2010–2021.....	64
3.2 Luonnonvarojen otto ja käyttö sekä niihin liittyvät ympäristövaikutukset Suomessa vuonna 2019.....	70
3.2.1 Kansantalouden materiaalivirrat.....	70
3.2.2 Raaka-aineiden jalostus lopputuotteiksi.....	81
3.2.3 Raaka-aineiden kulutuksen rakenne.....	85
3.2.4 Raaka-aineiden käytön ympäristövaikutukset.....	89
3.3 Luonnonvarojen otto ja kulutus maakunnittain vuonna 2015.....	96
3.4 Skenaariotulokset vuodelle 2035.....	113
3.4.1 Talous- ja työllisyysvaikutukset.....	113
3.4.2 Materiaalivirrat.....	120
3.4.3 Kasvihuonekaasupäästöt.....	131
3.4.4 Muut ympäristövaikutukset.....	140
3.4.5 Kiertotalousaste.....	145
3.4.6 Lisätarkastelut.....	146
3.5 Lähtöaineistojen ja mallinnuksen epävarmuustekijöitä.....	149
3.6 Skenaarioiden toteutumisen edellytykset.....	151
4 Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet	152
Lähteet	155
Liitteet	164
Liite 1. ENVIMAT-mallin toimialaluokituksia.....	164
Liite 2. Kiertotalouden green deal- ja skenaariotyöhön ilmoittautuneet tahot. Lähde: Ympäristöministeriö (Valtioneuvosto), 2023.....	171
Liite 3. Lisätietoa resurssiviisas rakennettu ympäristö -muutosalueesta.....	174
Liite 4. Lisätietoa kiertotalouteen perustuva teollisuus -muutosalueesta.....	181
Liite 5. Lisätietoa kestävä kulutus ja liiketoiminta -muutosalueesta.....	202
Liite 6. Lisätietoa materiaalitehokas energiajärjestelmä -muutosalueesta.....	206
Liite 7. Arviointia mahdollisuuksista vähentää turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2035 hiilineutraalisuusskenaariossa.....	209
Liite 8. Lisätietoa uudistuvan ruokajärjestelmän toimenpidealueen ”Lisätään ravinteiden kierrätystä ja sivuvirtojen hyödyntämistä” arvioinnista.....	217
Liite 9. Avaintoimialojen tunnusluvut.....	233
Liite 10. Maakuntien raaka-aineiden käyttö ja kulutus vuonna 2015.....	234

Sanasto ja lyhenteet

BAU-skenaario (Business as usual scenario) tarkoittaa perus- tai vertailuskenaariota, joka laaditaan kuvastamaan tavanomaista tai lähimenneisyyden kaltaista kehitystä.

BECCS (bioenergy with carbon capture and storage) tarkoittaa bioenergian tuotantoon yhdistettyä hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia.

BKT (gross domestic product) tarkoittaa bruttokansantuotetta. BKT kuvaa kotimaisten tuotantoyksiköiden tuotannon kokonaisarvon (tuotetun arvonlisäyksen markkinahintaan) yhden vuoden osalta, ja siihen lasketaan yhteen kaikki arvoa tuottava taloudellinen toiminta yhteiskunnassa, kaikki tavaratuotanto ja palvelut.

BKT/RMC on eräs resurssituottavuuden indikaattori, joka kuvastaa kuinka suurta on raaka-aineiden kulutus suhteessa bruttokansantuotteeseen eli tuotettuun arvonlisäykseen. Kiertotalousohjelman tavoitteiden mukaan resurssien tuottavuus (indikaattorina BKT/RMC) tulisi kaksinkertaistaa vuoden 2015 tasosta vuoteen 2035 mennessä.

CCU (carbon capture and utilization) tarkoittaa hiilidioksidin talteenottoa ja hyödyntämistä tuotantotoiminnassa.

CHP (combined heat and power) tarkoittaa lämmön ja sähkön yhteistuotantoa.

CMU (circular material use rate) tarkoittaa materiaalien kiertotalousastetta eli kiertetyn materiaalin suhdetta kaikkeen tuotantotoiminnassa käytettyyn materiaaliin.

COICOP (classification of individual consumption by purpose) tarkoittaa yksilöllisen kulutuksen käyttötarkoituksen mukaista luokitusta.

DE (domestic extraction) tarkoittaa kotimaista käytettyä ottoa eli kotimaan luonnosta talouden käyttöön otettuja raaka-aineita.

DM (direct material imports) tarkoittaa tuonnin suoraa materiaalmäärää.

DMC (domestic material consumption) tarkoittaa kotimaista materiaalien kulu-
tusta, joka saadaan vähentämällä suorista materiaalipanoksista (DMI) viennin suora
materiaalimäärä.

DMI (direct material input) tarkoittaa suoraa materiaalipanosta. Se koostuu luon-
nosta käyttöön otetusta raaka-ainemäärästä kotimaassa ja tuonnin suorasta
materiaalimäärästä.

DX (direct material exports) tarkoittaa viennin suoraa materiaalimäärää.

DTA (domestic technology assumption) tarkoittaa kotimaisen teknologian oletusta.

Elinkaarinen vaikutus sisältää kaikki arvoketjussa muodostuvat vaikutukset, jotka
voidaan laskea esimerkiksi tuotteelle, toimialalle tai loppukäytölle.

ENVIMAT tarkoittaa Suomen ympäristökeskuksessa kehitettyä ympäristölaajennet-
tua panos-tuotosmallia. Panos-tuotosmalli kuvaa kansantalouden tuotevirtoja. Kan-
santalous jaetaan mallissa toimialoihin, joiden tuotokset ovat toisten toimialojen
tuotantopanoksia ja lopputuotteita. Panos-tuotosmallia voidaan käyttää tuotanto-
toiminnan rakenteen ja toimialojen välisten riippuvuuksien analysoinnissa. Ympäris-
tölaajennetussa panos-tuotosmallissa ovat mukana myös ympäristövaikutukset.

ENVIMATmaakunta-mallit ovat ENVIMAT-malliin kehitettyjä maakuntasovelluksia.

ENVIMATscen on ENVIMAT-mallin ympärille kehitetty Suomen talouden ympä-
ristölaajennettu pitkän ajan simulointimalli, joka ratkaistaan valittuun pääte-
vuoteen (tässä skenaariotyössä vuoteen 2035) siten, että talous on päätevuonna
tasapainossa.

ETOL eli ENVIMAT-mallin toimialaluokitus perustuu kansantalouden tilinpidon toi-
mialaluokitukseen. Taloudellinen tuotantotoiminta on luokiteltu pääsääntöisesti
eniten arvonlisäystä tuottavan toiminnan mukaisesti.

ETTL tarkoittaa ENVIMAT-mallin toimialoittaista tuoteluokitusta.

EXIOBASE 3 on globaali ympäristölaajennettu monialuepanos-tuotosmalli, jota on
tässä raportissa käytetty tuontituotteiden raaka-aine-ekvivalenttien ja muiden elin-
kaaristen ympäristökuormituskertoimien estimointiin.

GWP (global warming potential) tarkoittaa kasvihuonekaasujen yhteismitallistamisessa käytettyä ominaislämmitysvaikutusta tai lämmityspotentiaalia. Se lasketaan eri kasvihuonekaasupäästöjen GWP-kertoimien avulla tietyn ajanjakson, esimerkiksi 20 (GWP20) tai kuten tyypillisesti sadan vuoden (GWP100) yli.

Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekv. tai CO₂e) on kasvihuonekaasupäästöjen yhteismita, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmaston voimistumiseen. Eri kasvihuonekaasujen päästöt muutetaan CO₂-ekv.-tulokseksi kertomalla päästö ko. kasvihuonekaasua vastaavalla GWP-kertoimella.

IDM (indirect material use of imports) tarkoittaa tuontituotteiden valmistusketjussa tarvittuja raaka-ainepanoksia.

IDX (indirect material use of exports) tarkoittaa vientituotteiden valmistusketjussa tarvittuja raaka-ainepanoksia.

Käytetty otto (used extraction) tarkoittaa taloudelliseen hyödyntämiseen luonnosta otettuja raaka-aineita.

Käyttämätön otto (unused extraction) kuvaa materiaalmäärää, joka luonnonvarojen oton yhteydessä muunnellaan ja siirretään, mutta joka jää hyödyntämättömänä ympäristöön (kuten hyödyntämättömät hakkuutähteet tai kaivosalueiden sivukivet ja poistomaa).

LFP (lithium ferrophosphate, myös lithium iron phosphate)-akku tarkoittaa litium-rautafosfaatti-akkua, jota käytetään tyypillisesti nykyisissä sähköautoissa.

Lopputuote on kulutukseen tai muuhun loppukäyttöön hankittu valmis tuote (tavara tai palvelu), jota ei enää jalosteta (vrt. välituote).

LULUCF (land use, land use change and forestry) tarkoittaa maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektoria.

MISU tarkoittaa maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmaa.

NMC (nickel manganese cobalt)-akku tarkoittaa nikkeli-mangaani-koboltti-akkua, jota käytetään tyypillisesti nykyisissä sähköautoissa.

NMVO (non-methane volatile organic compound) tarkoittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, pois lukien metaani.

PDF (potentially disappeared fraction (of species)) on kerroin, joka kuvaa paikallisia ihmisen toiminnan aiheuttamia haittoja ekosysteemille. Niin sanotulla lajikato-kertoimella (PDF.m2.yr) tarkastellaan sukupuuttokuoleman riskissä olevien lajien osuutta neliömetrillä yhden vuoden aikana.

PtX tai **Power to X**-polttoaine eli synteettinen polttoaine, on kaasumainen tai nestemäinen polttoaine, joka on tuotettu sähkövoimalla.

Puolivalmiste on osittain valmis tuote, jota käytetään panoksena muiden tuotteiden valmistamiseen.

Rikastushiekka on malmin rikastamisesta jäljelle jäävä mineraaliaines, joka luokitellaan kaivannaisjätteeksi.

RMC (raw material consumption) tarkoittaa raaka-aineiden kulutusta. Se ilmaisee, kuinka paljon luonnon raaka-aineita (massana) kotimaisen loppukäytön eli kulutuksen ja pääomanmuodostuksen tyydyttäminen on vaatinut. Indikaattori sisältää sekä kotimaiset että ulkomailla käytetyt raaka-aineet.

RMC/asukas eli materiaalijalanjälki kuvaa asukaskohtaista raaka-aineiden kulutusta.

RME (raw material equivalent) tarkoittaa raaka-aine-ekvivalenteja materiaalivirtoja, jotka saadaan, kun tuonti- ja vientituotteiden suoriin massoihin lisätään tuotteiden koko valmistusketjussa tarvittavat raaka-ainepanokset.

RMI (raw material input) tarkoittaa talouden raaka-ainepanoksia. Se sisältää kotimaisen luonnonvarojen oton sekä raaka-aine-ekvivalentin tuonnin

RTB (raw material trade balance) on raaka-aineiden kauppataase, joka lasketaan raaka-aine-ekvivalentin viennin ja tuonnin erotuksena.

Sivukivi on varsinaisen malmikiven kanssa kontaktissa olevaa kiveä, jota joudutaan louhimaan malmin hyödyntämisen mahdollistamiseksi.

TMC (total material consumption) tarkoittaa luonnonvarojen kokonaiskulutusta, joka sisältää käytetyn ja käyttämättömän oton.

Välituote on tavara tai palvelu, jota käytetään panoksena muiden tavaroiden ja palveluiden tuottamiseen.

WAM-skenaario (with additional measures scenario) tarkoittaa tyypillisesti toimenpiteiltään ja tavoitteiltaan kunnianhimoisempaa skenaariota.

WCEF (world circular economy forum) tarkoittaa maailman kiertotalousfoorumia.

ESIPUHE

Luonnonvarojen käyttö on ihmiskunnalle välttämättömyys. Ympäristökestävyyden haasteiden edessä luonnonvarojen käytön tavat ja määrät ovat kuitenkin nousseet uudella tavalla esiin. Niitä pitäisi pystyä käyttämään maapallon kestävyden rajoissa. Erityisesti ilmastonmuutoksen ja luontokadon eteneminen ovat johtaneet siihen, että luonnonvarojen käytössä tulisi tapahtua suuria muutoksia lähitulevaisuudessa. Tätä viestiä on tuotu esille muun muassa hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) sekä kansainvälisten luonnonvarapaneelin (IRP) ja luontopaneelien (IPBES) suunnalta.

Muutoksen välttämättömyys on tiedostettu, mutta tarpeellisten toimenpiteiden toteuttaminen riittävän nopeasti ja laajasti on vaikeaa. Euroopan unionin (EU) käynnistämä Green Deal -ohjelma pyrkii rakentamaan kestävästä muutoksesta myös uudenlaisen kivijalan EU:n taloudelle. Niin EU, YK, OECD kuin tiedepaneelit ovat viestineet kiertotalouteen siirtymisen välttämättömyydestä ja taloudellisista mahdollisuuksista, jotta luonnonvarojen käyttö saataisiin kestävälle tasolle tulevaisuudessa.

Suomessa on tiedostettu kiertotalouden merkitys, mikä näkyy hyvin Suomen tahtotilasta olla teemassa ja siihen liittyvien strategisten suunnitelmien laadinnassa yksi maailman johtavia toimijoita. Vaikka Suomessa on paljon osaamista ja toimijoita kiertotalouden alueella, muutos ei ole vielä valtavirtaistunut koko yhteiskuntaan. Kiertotalouden vaikutukset ja mahdollisuudet ovat huonosti tiedostettuja suhteellisen pientä joukkoa lukuun ottamatta ja ylipäätään tieteellinen tutkimus alueella on nuorta. Jotta valtion ja kuntien päättäjillä olisi nykyistä voimakkaampi tahtotila edistää kiertotaloussiirtymää, tarvitaan aiempaa kokonaisvaltaisempi kuva siirtymän mahdollisista seurauksista. Kansantalouden tason näkymä ei kuitenkaan yksin riitä, vaan tiedon pitäisi olla myös riittävän konkreettista, jotta käytännön toimijat kiinnostuvat asian edistämisestä.

Edellä esitettyä taustaa vasten Suomen ympäristökeskukselle, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:lle, Geologian tutkimuskeskukselle, Luonnonvarakeskukselle ja Tilastokeskukselle tarjoutui syksyllä 2021 mahdollisuus tarttua haasteeseen osana kansallista kiertotalouden green deal -prosessia. Tutkimuslaitosten tehtäväkokonaisuus nimettiin "Suomen materiaalivirta-analyysi ja luonnonvarojen käytön skenaariotyö kiertotaloussopimuksen tueksi (MaViSkene)"-hankkeeksi.

Työn aikana tutkijat ovat olleet kiinteässä vuorovaikutuksessa eri kiertotalousalueiden toimijoiden kanssa. Sidosryhmiä osallistui lukuisiin työpajoihin, jopa yhteensä yli 90 organisaatiosta. Syntyi oppimis- ja yhteiskehittämisprosessi, jossa tutkimustulokset ammensivat tietoa toimijoilta ja päinvastoin. Prosessi takasi sen, että MaViSkene-hankkeen skenaarioiden suunnittelu ja mallintaminen pystyttiin toteuttamaan mahdollisimman konkreettisella tasolla. Työ tuotti huomattavan määrän tutkimustuloksia, joita esitellään tässä raportissa. Kaikkia tutkimusaineiston mahdollistamia analyysejä ei kuitenkaan pystytty toteuttamaan hankkeen yhteydessä. Toivomme, että tutkimustulokset palvelevat suomalaisen yhteiskunnan kiertotaloustiedon tarvetta ja antavat lisäarvoa käytännön toimiin. Tulokset mahdollistavat jatkossa myös tieteellisen työn edistämisen kiertotalouden alueella ja uusien hankkeiden ideoinnin. Nämä tukevat omalta osaltaan käytännön kiertotalousaskelia ja vahvistavat suomalaisen tiedeyhteisön asemaa kansainvälisessä kiertotaloustutkimuksessa.

MaViSkene-hankkeen etenemistä seurasi Kiertotalouden green deal -ohjausryhmä, johon osallistuivat Leena Ylä-Mononen (pj., ympäristöministeriö), Jyrki Alkio (vpj., työ- ja elinkeinoministeriö), Jarmo Heinonen (Business Finland), Kari Herlevi (Sitra), Liisa Hyttinen (Pirkanmaan maakuntaliitto), Mikko Koskela (ympäristöministeriö), Jari Kostama (Energiateollisuus ry), Juha Laurila (Rakennusteollisuus ry), Satumaija Levón (Elintarviketeollisuusliitto ry), Jussi Nikula (WWF Suomi), Mia Nores (Kierrätysteollisuus ry), Jarmo Muurman (ympäristöministeriö), Tuuli Ojala (liikenne- ja viestintäministeriö), Marja Ola (Kaupan liitto), Miira Riipinen (Suomen Kuntaliitto ry), Helena Soimakallio (Teknologiateollisuus ry), Mikko Somersalmi (Rakli ry), Pekka Suomela (Kaivosteollisuus ry), Outi Suomi (Business Finland), Anne Vehviläinen (maa- ja metsätalousministeriö), Pia Vilenius (Kemianteollisuus ry) ja Aaron Vuola (Metsäteollisuus ry). Green deal -prosessia ja myös MaViSkene-hankkeen käytännön seurantaa ja valvontaa hoitivat ympäristöministeriöstä Taina Nikula, Heikki Sorasahi, Riikka Yliluoma ja Hannele Pudas sekä työ- ja elinkeinoministeriöstä Sari Tasa. He toimivat myös green deal -ohjausryhmän ja kiertotalouden strategisen ohjelman toimeenpanon sihteeristönä. Green deal -prosessin fasilitaattoreina toimivat Otso Sillanaukee (Demos Helsinki), Juha Leppänen (Demos Helsinki), Satu Lähteenoja (Demos Helsinki), Ella Lahtinen (FIGBC ry) ja Elina Samila (FIGBC ry), jotka myös osallistuivat myös MaViSkene-hankkeen toteutukseen liittyviin keskusteluihin.

Lopuksi haluamme kiittää green deal-ohjausryhmää hyvistä kommentteista hankkeen suuntaamisessa ja kiinnostuksesta työtämme kohtaan. Samoin kiitämme fasilitaattoreita arvokkaista näkemyksistä. Erityiset kiitokset ansaitsevat ympäristöministeriön ja työ- ja elinkeinoministeriön sihteeristön edustajat ja Maviskene-hankkeen valvojat hyvästä käytännön yhteistyöstä ja mahdollisuudesta toteuttaa hanke yhteistyöprosesina eri sidosryhmien kanssa. Kiitämme myös lukuisia sidosryhmiä antoisasta yhteistyöstä, jonka perusteella uskomme tekevämme jatkossa parempaa tutkimusta.

Tekijät 28.2.2024

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Ilmastonmuutos, luonnon monimuotoisuuden väheneminen ja ympäristön pilaantuminen ovat aikamme suurimpia globaaleja ongelmia, joiden ratkaiseminen on haasteellista ihmiskunnan väestön kasvaessa ja elintason noustessa. Viime kädessä ongelmat johtuvat neitseellisten luonnonvarojen käytön kasvusta, jolloin niiden otosta ja käytöstä aiheutuvat ympäristölliset ja sosiaaliset haitat ovat kasvaneet nopeammin kuin niiden rajoittamisessa on onnistuttu. Samalla tietyistä luonnonvaroista on tulossa yhä enemmän niukkuutta, mikä aiheuttaa uudenlaisia jännitteitä maailmantaloudessa ja huoltovarmuuden heikentymistä globaalisti eri maiden kesken.

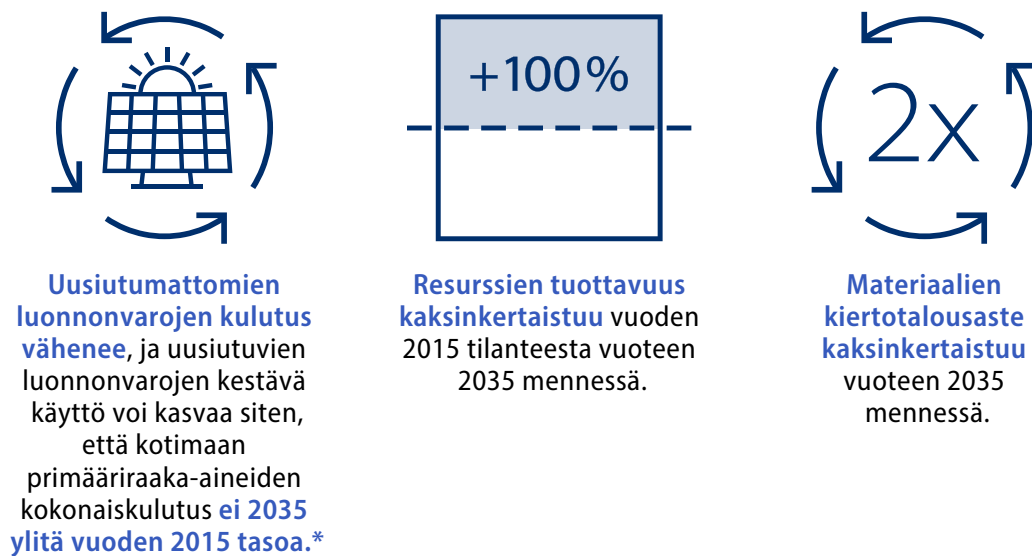
Kansainvälinen luonnonvarapaneeli on ennustanut neitseellisten luonnonvarojen (fossiiliset polttoaineet, biomassa, metallit, mineraalit) oton kasvavan globaalisti miltei 60 %, noin 100 miljardista tonnista 160 miljardiin tonniin vuoteen 2060 mennessä, mikäli kehitys jatkuu samalla tavalla kuin aikaisemmin (UNEP, 2024). Se tarkoittaisi kasvihuonekaasupäästöjen, ilman- ja vesisaasteiden ja luontokadon ongelma-alueiden ratkaisumahdollisuuden todennäköisyyden merkittävään pieneen globaalisti. Luonnonvarapaneelin arvion mukaan materiaalien, polttoaineiden ja ruoan tuotanto ja prosessointi aiheuttavat nykyisin yli 60 % globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä ja yli 90 prosenttia luontokadosta (UNEP, 2024).

Luonnonvarojen käyttöön liittyvä uhkaava ympäristökehitys on ollut pitkään tiedossa ja siihen liittyen myös EU on halunnut ottaa globaalia johtajuutta ympäristö-ongelmien ratkaisijana. Vihreän siirtymän avulla välttämättömästä muutoksesta on haluttu tehdä tulevaisuuden kilpailutekijä Euroopalle. Kiertotalous nähdään yhtenä ratkaisuna yllä mainittuihin ongelmiin. Kiertotaloudella tarkoitetaan materiaalin mahdollisimman pitkää käyttöä ja kiertoa. Kiertotalouden tavoite on vähentää, hidastaa ja sulkea materiaalivirtoja kiertotaloustoimien avulla. Kiertotaloustoimia ovat muun muassa kulutuksen ja jätteiden vähentäminen, materiaalien ja tuotteiden käyttöikänsä pidentäminen sekä korjattavuuden ja kierrätettävyyden parantaminen älykkään suunnittelun ja jakamistalouden avulla. Tämän toteutumiseksi tarvitaan tutkittuun tietoon perustuvaa päätöksentekoa ja ohjausta.

Ohjelmassa määriteltiin, että vision toteutuminen edellyttää luonnonvarojen kestävä ja tehokasta käyttöä. Tätä varten asetettiin tavoitteet (Kuvio 1):

- Uusiutumattomien luonnonvarojen kulutus vähenee, ja uusiutuvien luonnonvarojen kestävä käyttö voi kasvaa siten, että kotimaan primääriraaka-aineiden kokonaiskulutus ei 2035 ylitä vuoden 2015 tasoa. Vientituotteiden valmistukseen käytetyt luonnonvarat eivät kuulu tavoitteen piiriin.
- Resurssien tuottavuus kaksinkertaistuu vuoden 2015 tilanteesta vuoteen 2035 mennessä.
- Materiaalien kiertotalousaste kaksinkertaistuu vuoteen 2035 mennessä.

Kuvio 1. Kiertotalouden strategisen ohjelman tavoitteet (Lähde: Valtioneuvosto).



* Vientituotteiden valmistukseen käytetyt luonnonvarat eivät kuulu tavoitteen piiriin.

Alkuperäisen kuvion visualisointi: Kaskas / Janika Lähdes

Kotimaan primääri-raaka-aineiden kokonaiskulutusta päätettiin seurata raaka-aineiden kulutus eli RMC (raw material consumption) -indikaattorilla. Kyseisen indikaattorin todettiin kuvaavan kotimaan loppukäytön luonnonvarojen käyttöä. Suomen tapaisen vientivetoisen maan yhteydessä paremmin verrattuna yleisesti maailmalla käytössä olevaan kotimaan materiaalien kulutus- eli DMC (domestic material consumption) -indikaattoriin. RMC-indikaattoria tarvitaan myös resurssien tuottavuuden kehityksen arvioinnissa, joka saadaan jakamalla bruttokansantuote RMC:llä. Kolmas tavoite, materiaallinen kiertotalousaste (CMU, circular material use rate) kuvaa kierrätetyn materiaalin osuutta kaikesta materiaalin käytöstä. Vaikka sitä ei suoraan lasketa RMC-indikaattorin avulla, niin sen arvioinnissa voidaan hyödyntää RMC-laskennan yhteydessä kerättyä luonnonvaratietoa.

RMC-indikaattoria ei ole seurattu Suomessa virallisesti, ja viimeinen arvio oli tehty vuodelle 2015 Suomen ympäristökeskuksen toimesta. Kiertotalousohjelman tavoitteiden seurannan takia RMC:n säännöllinen arviointi koettiin tarpeelliseksi. Lisäksi nähtiin olennaisena, että käyttöön otettavien kiertotaloustoimenpiteiden talous-, ilmasto- ja muut ympäristövaikutukset ymmärrettäisiin paremmin kansantalouden tasolla. Tällöin kiertotalouden merkitys ja mahdollisuudet vihreässä siirtymässä pystyttäisiin hahmottamaan. Jo kiertotalousohjelman laadinnan yhteydessä oli tullut selväksi, että kiertotaloustoimenpiteiden vaikutuksista on hyvin vähän tutkittua tietoa. Kiertotaloustoimenpiteiden arvioinnille on suuri tarve, koska toimet kannattaa suunnata sinne, mistä saadaan suurimmat hyödyt. Erityisenä mielenkiinnon kohteena oli muodostaa käsitys etukäteen toimenpiteiden merkityksestä vuoden 2035 tilanteessa, jolloin Suomi pyrkii olemaan hiilineutraali yhteiskunta.

Kiertotaloustoimenpiteiden vaikutusten arviointia on tehty aiemmin muutamissa kansainvälisissä (ks. esim. Ellen MacArthur Foundation, 2019; Forslund ym., 2022; Geerken ym., 2019; Material Economics, 2018 ja 2019; RESCUE, 2019) ja kotimaisissa tutkimuksissa (Ruokamo ym., 2021 ja 2023; Seppälä ym., 2016), mutta ei tämän hankkeen laajuudessa. Seppälä ym. (2016) tarkastelivat Suomessa seitsemällä eri kiertotalouden osa-alueella kiertotalousskenaarioita vuoteen 2030 ja arvioivat määrittäen näiden ilmasto-, luonnonvarojen käyttö-, talous- ja työllisyysvaikutuksia kansantalouden tasolla. Tarkastelu tuki näkemystä kiertotalouden taloutta vahvistavasta ja ympäristövaikutuksia hillitsevästä luonteesta. Ruokamo ym. (2021) puolestaan selvittivät miten ja minkälaisilla kiertotalouden toimenpiteillä voitaisiin vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja turvata luonnon monimuotoisuutta talouden eri osa-alueilla. Tulosten mukaan kiertotaloudessa on tunnistettavissa useita toimenpiteitä, joilla voidaan vähentää neitseellisten luonnonvarojen käyttöä maankäyttövaikutuksineen ja sitä kautta edistää sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä että luontokadon hillitsemistä.

Kiertotaloustoimenpiteiden vaikutusten arvioinnille oli myös tilaus ns. kiertotalouden strategisen green dealin kautta. Se on kiertotalouden strategista ohjelmaa toteuttava vapaaehtoinen sitoumus, jolla edistetään kiertotalousohjelman tavoitteiden saavuttamista ja vihreän siirtymän mahdollisuuksia yhteiskunnassamme. Toimijatahoina sitoumuksessa ovat maakunnat ja/tai kunnat sekä elinkeinoelämän järjestöt ja veturiyritykset arvoketjuineen. Sitoumukseen liittyvät tahot määrittelevät omat tavoitteensa ja toimenpiteensä, joilla ne konkretisoivat kiertotalousohjelman luonnonvaratavoitteiden lisäksi ilmastotavoitteita sekä luonnon monimuotoisuutta edistäviä tavoitteita. (Ympäristöministeriö, 2024).

1.2 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Kiertotalouden strategista ohjelmaa toteuttavan kiertotalouden green dealin kehittäminen sekä siihen kytkeytyvien tavoitteiden ja toimien asettaminen edellyttävät tuekseen ajantasaista, vahvaa ja laadukasta tietopohjaa raaka-aineiden käytöstä ja käytön vaikutuksista. Kiertotalousohjelman tavoitteiden seuranta edellyttää lisäksi tietoa erityisesti kotimaan loppukäytön raaka-aineiden kulutuksesta sekä materiaalien kiertotalousasteesta.

”Suomen materiaalivirta-analyysi ja luonnonvarojen käytön skenaariotyö kiertotaloussopimuksen tueksi (MaViSkene)”-tutkimushankkeen tarkoituksena oli luoda valmiudet Kiertotalousohjelman tavoitteiden seurantaan sekä vahvistaa eri toimijoiden kiertotaloussitoumusten suunnittelun tietopohjaa potentiaalisimpien kiertotaloustoimien tunnistamiseksi ja käytäntöön viemiseksi.

Hankkeen tavoitteina oli

- tuottaa Suomen materiaalivirtojen laskentakehikko, jolla seurataan keskeisten materiaalivirtaindikaattoreiden (erityisesti RMC) kehitystä sekä muodostaa aikasarja vuosille 2010–2019;
- laatia vuoteen 2035 ulottuvia skenaarioita Suomen materiaalijalanjäljen kehityksestä ja sen vaikutuksista ympäristöön ja talouteen, sekä
- tuottaa skenaariotyön avulla eri toimijoille heidän kiertotaloussitoumustensa suunnittelun tueksi tietoa kiertotaloustoimenpiteistä ja niiden vaikutuksia luonnonvarojen käyttöön, ympäristöön ja talouteen.

Hankkeessa tuotettujen laskenta- ja mallinnusjärjestelmien avulla edistetään luonnonvarojen käytön seuranta- ja kiertotaloustoimien vaikutusten arviointia. Skenaariotyön avulla arvioidaan, miten kansantalouden eri toimialoilla, julkishallinnossa ja kotitalouksissa käyttöönotettavat kiertotaloustoimenpiteet vaikuttavat luonnonvarojen ottoon ja käyttöön Suomessa ja ulkomailla, ja millaisia ilmasto-, ympäristö- ja talousvaikutuksia näillä muutoksilla on kotimaassa.

Raportti koostuu neljästä pääluvusta. Johdannon jälkeisessä luvussa kaksi kuvataan tutkimustyön toteutusta sekä hyödynnettyjä menetelmiä ja aineistoja. Luvussa kolme esitellään työn tuloksia eli toteutuneita materiaalivirtoja vaikutuksineen sekä muodostetut skenaariot tulevaisuuden materiaalivirroista ja niiden vaikutuksista vuodelle 2035. Johtopäätöksiä ja jatkotutkimustarpeita kuvataan luvussa neljä. Raportin liitteissä kuvataan lisätietoina ENVIMAT-mallin toimialaluokituksia (liite 1) kiertotalouden green deal- ja skenaariotyöhön ilmoittautuneet sidosryhmät (liite 2), skenaariotyön muutosalueita ja mallinnukseen valittuja lukuja ja taustaoletuksia (liitteet 3–8), Suomen kansantalouden avaintoimialojen elinkaarisia vaikutuksia valittujen indikaattoreiden osalta vuonna 2019 (liite 9) sekä maakuntien luonnonvarojen ottoa ja käyttöä vuonna 2015 (ns. maakuntakortit, liite 10).

1.3 Tutkimuslaitoskonsortion osapuolten roolit toteutuksessa

Tutkimushanketta koordinoi Suomen ympäristökeskus Syke, ja työn toteuttajina olivat Syke, Geologian tutkimuskeskus (GTK), Luonnonvarakeskus (Luke), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy (VTT) ja Tilastokeskus. Eri osapuolilla oli hankkeen kolmessa pääkokonaisuudessa seuraavat roolit:

- **Suomen materiaalivirtojen laskentajärjestelmän kehittäminen.**
Syke ja Tilastokeskus laativat raaka-aineiden kulutusta kuvaavan RMC-indikaattorin pysyvän ja päivitettävissä olevan laskentamenetelmän. Järjestelmällä tuotetaan tiedot kansalliseen seurantaan, tilastointiin sekä kansainväliseen raportointiin.
- **Luonnonvarojen oton ja käytön ympäristövaikutusten arviointi.**
Syke oli päävastuussa arvioinneissa käytetyn Suomen kansantalouden ympäristölaajennetun panos-tuotosmallin (ENVIMAT) päivittämisestä ja laajentamisesta uusilla ympäristövaikutusluokilla sekä mallinnusajojen suorittamisesta skenaariotyössä.

- **Luonnonvarojen käytön skenaariotyö.** Syke, VTT, Luke ja GTK osallistuivat luonnonvarojen käytön skenaariotyöhön, joka kuvaa ja arvioi ensimmäistä kertaa toimijoiden mahdollisuutta toteuttaa laaja-alaista kiertotaloussiirtymää ja sen vaikutuksia kansantalouteen ja ympäristöön vuonna 2035. Tutkimuslaitokset arvioivat ja laativat asiantuntija-arvioita eri toimialojen luonnonvarojen käytön ja kiertotaloustoimien nykytilanteesta ja kehityksestä vuoteen 2035. Syke oli päävastuussa skenaariotyön mallintamisen toteutuksesta pitkän aikavälin simulointimalli ENVIMATscenillä sekä tulosten arvioinnista ja raportoinnista.

Työn toteutukseen 1.1.2022–29.2.2024 osallistui laaja joukko tutkijoita viidestä eri tutkimuslaitoksesta. **Suomen ympäristökeskuksesta** vastuullisena johtajana toimi professori Jyri Seppälä. Työhön osallistuivat erikoistutkijat Johanna Niemistö (projektipäällikkö), Hannu Savolainen, Mikko Savolahti, Susanna Sironen, Enni Ruokamo ja Marja Salo sekä tutkijat Mari Heikkinen, Saana Springare, Teemu Meriläinen, Katariina Kukkasniemi, Joanna Haahti, Henri Virkkunen, Henna Jylhä, Anne Holma ja Petra Rinne, johtava tutkija Jani Salminen, ryhmäpäällikkö Sampo Soimakallio ja yksikön johtaja Pekka Leskinen. Viestinnän asiantuntijana hankkeessa oli Katja Lepistö.

Geologian tutkimuskeskuksesta työn toteutukseen osallistuivat erikoistutkijat Mari Kivinen ja Patrick Friedrichs, erikoisasiantuntijat Toni Eerola ja Jussi Pokki, ja tutkija Neea Heino.

Luonnonvarakeskuksesta työhön osallistuivat tutkimusprofessori Heikki Lehtonen, erikoistutkijat Vesa Joutsjoki ja Oiva Niemeläinen, johtava asiantuntija Sari Luostarinen, johtava tutkija Saija Rasi, tutkija Inkeri Riipi ja ohjelmajohtaja Johanna Kohl.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:stä työn toteutukseen osallistuvat tutkimustiimin päällikkö Tiina Koljonen, tutkimusprofessori Ali Harlin, head of business development Inka Orko, johtava tutkija Marjaana Karhu, tutkimustiimin päällikkö Päivi Kivikytö-Reponen, erikoistutkijat Terttu Vainio, Janne T. Keränen ja Tiina Vainio-Kaila, ja tutkija Vafa Järnefelt.

Tilastokeskuksesta työn toteutukseen osallistuivat yliaktuaarit Heidi Pirtonen ja Tuomas Kaariaho sekä asiantuntija Jukka Muukkonen.

Kiertotalouden green dealin ja tutkimushankkeessa toteutetun skenaariotyön muina tutkimuksellisia ja toteutuksellisia yhteistyötahoina olivat Aalto-yliopisto¹ sekä green dealin fasilitointia toteuttaneet Demos Helsinki ja Green Building Council Finland (FIGBC). Työtä ohjasivat kiertotalousohjelmaa toteuttavat ympäristöministeriö ja työ- ja elinkeinoministeriö sekä kiertotalouden green dealin ohjausryhmä.

Hankkeen toteutuksessa hyödynnettyjä aineistoja ja menetelmiä kuvataan tarkemmin seuraavissa alaluvuissa sekä raportin liitteissä.

1 Aalto-yliopisto järjesti koordinoimansa FINIX-hankkeen kautta tekstiilialan työpajasarjan osana kiertotalouden green deal -prosessia keväällä 2023. Työhön osallistui muun muassa professori Minna Halme, apulaisprofessorit Kirsi Niinimäki ja Samuli Patala tutkimusryhmineen sekä FINIX-hankkeen muita tutkijoita.

2 Työn toteutus, aineistot ja menetelmät

Tässä luvussa esitellään, millaisia menetelmiä ja aineistoja on käytetty luonnonvarojen käytön ja sen talous- ja ympäristövaikutusten arviointiin toteutuneen kehityksen ja kiertotalouden skenaarioiden osalta. Ensiksi esitellään materiaalivirtojen laskentajärjestelmää ja indikaattoreiden tuottamista. Tämän jälkeen kuvataan ympäristölaajennetun panos-tuotosmalli ENVIMATin toimintaperiaatteet. Sitten esitellään luonnonvarojen käytön skenaarioiden laadintatyötä ja mallinnuksessa käytetyn ENVIMATscen-mallin toimintaa. Lisäksi kuvataan erillistarkasteluissa käytetyt menetelmät. Tätä seuraa skenaarioiden muutosalueiden ja kiertotaloustoimenpiteiden esittely. Lopuksi avataan mallinnuksen yleiset taustaoletukset ja esitetään yhteenveto kolmen eri skenaarion keskeisestä sisällöstä.

2.1 Suomen materiaalivirtojen laskentajärjestelmä ja RMC-indikaattorin tuottaminen

Suomen materiaalivirtojen laskentajärjestelmän keskiössä on kansantalouden materiaalivirtatilinpito, joka on keskeinen osa ympäristötilinpidon kokonaisuutta (EU 691/2011, EU:n asetus ympäristötilinpidosta). Materiaalivirtatilinpidon avulla kuvataan luonnosta käyttöön otettujen, siirrettyjen tai muutettujen luonnonvarojen määrä, jotka liittyvät ihmisen aiheuttamaan, usein taloudelliseen, toimintaan. Se kattaa kaikki talouteen ja taloudesta virtaavat kiinteät, kaasumaiset ja nestemäiset materiaalivirrat (lukuun ottamatta kuitenkin veden ja ilman materiaalivirtoja)². Lähtökohtaisesti materiaalivirtatilinpidossa toimintayksikkönä on kansantalous, jolloin tilastointi antaa kuvan kansantalouteen tulleen materiaalmäärän tasosta ja muutoksista yli ajan. Tarkastelun kohteena voi kuitenkin myös olla mikä tahansa maantieteellinen alue tai toimiala.

2 Laajasti määriteltynä luonnonvarat sisältävät luonnosta otettujen raaka-aineiden lisäksi maapinta-alan, veden, maaperän ja ilman, virrat (aurinko-, tuuli-, aalto- ja geoterminen energia) ja kaikki elävät organismit. Tässä raportissa luonnonvaroilla tarkoitetaan nimenomaan materiaalisia luonnonvaroja, ellei toisin täsmennetä. Lisäksi materiaaleista ja raaka-aineista saatetaan kirjoittaa synonyymeinä. Raportissa pyritään kuitenkin tuomaan selkeästi ilmi, milloin tarkastelussa ovat kansantalouden suorat materiaalivirrat ja milloin raaka-aine-ekvivalentit virrat, jotka sisältävät myös tuonti- ja vientituotteiden valmistuksessa käytetyt materiaalipanokset.

Materiaalivirtatilinpidossa materiaalivirrat mitataan kaikille aineille yhteisen fyysikaalisen perusominaisuuden, eli massan, avulla. Yhteismitallismaisesta seuraa kuitenkin laadullisten eroavaisuuksien menettäminen: materiaalivirtatilinpidon avulla tuotetut tiedot eivät suoraan kerro erilaisten ympäristökuormitusten voimakkuutta ja laatua. Sen sijaan niiden voidaan ajatella kuvaavan kansantalouden materiaalista perustaa. Kotimainen luonnonvarojen käytetty otto viittaa kansantalouden tai alueen luonnonvarojen ottoon kotimaisesta luonnosta, joita hyödynnetään talouden jatkoprosesseissa³. Osa tästä kotimaisesta luonnonvarojen otosta ohjautuu tuotantoon ja kulutukseen alueen maantieteellisten rajojen sisälle, mutta osa ohjautuu myös vientiin muihin kansantalouksiin. Toisaalta osa raaka-aineista tulee alueen tuotannon ja kulutuksen käyttöön muista kansantalouksista. Sen takia kotimaisen luonnonvarojen oton lisäksi myös tuonnilla ja viennillä on merkittävä rooli alueen raaka-aineiden kokonaiskäytössä, jolloin voidaan sanoa kansantalouden materiaallisen perustan määräytyvän kotimaisen luonnonvarojen oton lisäksi myös tuonti- ja vientivirroista.

Kansantalouden fyysistä perustaa voidaan kuvata suoran materiaalipanoksen (DMI, direct material input) kautta, joka lasketaan kotimaisten luonnonvarojen oton ja tuonnin suoran materiaolimäärän summana. Kotimainen materiaalien kulutus (DMC, domestic material consumption, joskus myös direct material consumption) sen sijaan saadaan vähentämällä suorasta materiaalipanoksesta viennin suora materiaolimäärä. Suorat vienti- ja tuontivirrat viittaavat tuotteiden (tai puolivalmisteiden) tosiasialliseen painoon niiden ylittäessä maantieteelliset rajat. Molemmat edellä mainitut indikaattorit siis kuvaavat sitä absoluuttista määrää materiaaleja, jotka on hyödynnetty kansantaloudessa, mutta jättävät huomioimatta vienti- ja tuontituotteiden valmistamisessa vaaditut, elinkaariset raaka-ainepanokset.

Kun tuonti- ja vientituotteiden suoriin massoihin lisätään tuotteiden koko valmistusketjussa tarvittavat raaka-ainepanokset, puhutaan raaka-aine-ekvivalenteista (RME, raw material equivalent) materiaalivirroista. Tällöin tuonti- ja vientituotteet muutetaan yhteismitallisiksi kotimaisen luonnonvarojen oton kanssa eli raaka-aineiksi. Palveluiden tuonnilla ja viennillä ei ole lainkaan suoraa massaa, mutta niiden tuottamisessa tarvittavat raaka-aineet sisältyvät raaka-aine-ekvivalenteihin virtoihin. Talouden raaka-ainepanokset (RMI, raw material input) ja kotimainen raaka-aineiden kulutus (RMC, raw material consumption) ovat indikaattoreita, joiden avulla voidaan mitata kansantalouden fyysistä perustaa huomioiden myös raaka-aine-ekvivalentit

3 Niin sanottu luonnonvarojen käyttämätön otto kuvaa sitä materiaolimäärää, joka luonnonvarojen oton yhteydessä muunnellaan ja siirretään, mutta joka jää hyödyntämättömänä ympäristöön (kuten hyödyntämättömät hakkuutähteet tai kaivosalueiden sivukivet ja poistomaa).

tuonti- ja vientivirrat. RMI ja RMC lasketaan yhdenmukaisesti DMI:n ja DMC:n kanssa. Talouden raaka-ainepanokset (RMI) käsittävät kotimaisen luonnonvarojen oton sekä raaka-aine-ekvivalentin tuonnin kuvaten näin kansantalouden raaka-ainekäyttöä kotimaisen loppukäytön ja viennin tyydyttämiseksi riippumatta siitä, ovatko raaka-aineet peräisin kotimaisesta luonnosta vai ulkomailta. Kotimainen raaka-aineiden kulutus (RMC) puolestaan saadaan, kun kotimaisesta raaka-ainepanoksesta vähennetään viennin osuus, jolloin indikaattori kuvaa raaka-aineiden kotimaista loppukäyttöä, eli sitä, kuinka paljon raaka-aineita on otettu globaalisti kotimaisen kulutuksen ja investointitarpeiden tyydyttämiseksi.

Materiaalivirtatilinpito noudattaa yhtenäistä peruskäsitteistöä ja luokituksia kansantalouden tilinpidon kanssa mahdollistaen materiaalien käytön suhteuttamisen muihin talouden kokonaissuureisiin ja talouden ja ympäristön vuorovaikutuksen analysointiin. Materiaalivirtaindikaattoreiden suhteuttaminen bruttokansantuotteen voidaan tehdä joko jakamalla materiaalipanoksen arvonalisäyksellä (materiaali-intensiteetti) tai toisinpäin (materiaalituottavuus). Kotimainen materiaalien kulutus DMC ja siitä johdettu materiaalituottavuuden indikaattori BKT/DMC ovat toimineet pitkään avainindikaattoreina kansainvälisessä tilastoinnissa ja kestävä kehityksen tavoitteiden seurannassa (Euroopan komissio, 2011). DMC:tä on kuitenkin paljon kritisoitu juuri siitä syystä, että se ei ota huomioon tuonti- ja vientituotteiden vaatimia elinkaarisia raaka-ainepanoksia. Tällöin luonnonvaroiltaan rikas maa, jolla on paljon materiaali-intensiivistä alkutuotantoa ja jalostusta, näyttäytyy helposti indikaattorin valossa huonommalta kuin maa, jonka oma loppukulutus täytetään pääosin tuontituotteilla. Näin tapahtuu siitä syystä, että DMC-indikaattorissa kansantalouden suorasta materiaalipanoksesta vähennetään viennin suora materiaalmäärä, jolloin pääosa vientiteollisuuden hyödyntämien kotimaisten luonnonvarojen massasta allokoituu kotimaan loppukäyttöön.

Tavoiteindikaattorina DMC kannustaa vähentämään omien luonnonvarojen ottoa ja lisäämään valmiiden tuotteiden ja puolijalosteiden tuontia, eli toisin sanoen ulkoistamaan luonnonvarojen käytöstä aiheutuvan ympäristökuorman muihin kansantalouksiin, vaikka se globaalilla tasolla tarkoittaisi resurssituottavuuden heikentymistä. Raaka-aineiden kulutukseen perustuvien RMC:n ja BKT/RMC:n on siksi esitetty korvaavan nämä suoriin materiaalivirtoihin perustuvat indikaattorit, sillä ne tarjoavat paremman kuvan luonnonvarojen kulutuksen globaaleista virroista ja mahdollistavat kansantalouksien paremman vertailun. Siinä missä DMC:n kansainvälisellä laskennalla on jo pitkät perinteet, raaka-aineiden kulutusta (RMC) ei ole säännöllisesti seurattu Suomessa ja kansainvälisestikin käytössä olevat RMC-luvut perustuvat käytännössä yksittäisiin tutkimuksiin ja aikasarjoihin (Hildén ym., 2021). DMC-indikaattorin vahva asema selittyy osin sillä, että indikaattori on laskettavissa suoraan kansallisten tuotanto- ja ulkomaankauppatilastojen avulla. Sen

sijaan RMC-indikaattorin tuottaminen vaatii raaka-aine-ekvivalenttien kuormitus-kertoimien mallintamista tuonti- ja vientituotteille. Kasvavan tarpeen myötä pyrkimykset RMC:n laskennalle eri maissa ovat lisääntyneet. Esimerkiksi viime vuosina Euroopan unionin tilastotoimisto Eurostat on kehittänyt raaka-aine-ekvivalenttien tuonti- ja vientivirtojen laskentakehikkoa EU-tasolla (EU Standard Method) ja julkaisee nykyään vuosittaiset raaka-aineiden kulutuksen indikaattorit EU-maille (Eurostat, 2024a). Eurostat myös tarjoaa kaikkien jäsenmaiden käyttöön laskentatyökalun ulkomaankaupan RME-virtojen estimoimiseksi (Eurostat, 2024b).

RME-virtojen ja näin RMC:n laskennalle ei kuitenkaan ole kehitetty täysin vakiintunutta menetelmää. Erilaisten mallinnusmenetelmien ja lähtöaineistojen käyttö voikin johtaa hyvin erilaisiin tuloksiin niin raaka-aineiden kulutuksen tason kuin raaka-ainejakauman osalta (Eisenmenger ym. 2016). Esimerkiksi edellä mainittu Eurostatin EU-tason RME-malli hyödyntää Saksan talouteen perustuvia, panos-tuotosmallilla estimoituja talouden keskinäisiä kytköksiä kuvaavia kertoimia. Mikäli raaka-aine-ekvivalenttien virtojen mallinnuksessa ei käytetä kohdemaan lähtötietoihin perustuvia kertoimia, tulokset ovat harhaisia. Tästä syystä Suomessa on pitkäaikaisesti kehitetty omaa laskentakehikkoa muun muassa RME-kertoimien estimointiin.

Tässä tutkimushankkeessa kehitettiin Suomen ympäristökeskuksen ja Tilastokeskuksen toimesta Suomen materiaalivirtojen laskentajärjestelmä raaka-aineiden käyttöä ja kulutusta kuvaavien indikaattoreiden määrittämiseksi sekä aikasarjan kustannustehokkaaseen päivittämiseen jatkossa. Laskentajärjestelmä tuottaa tiedot raaka-aine-ekvivalenttien materiaalivirtojen (RMI, RMC) tasolla kansalliseen seurantaan ja tilastointiin sekä kansainväliseen raportointiin. Taulukossa 1 on kuvattuna raaka-aine-ekvivalenttien indikaattoreiden tuottamisen lähtötiedot ja laskentaperiaatteet. Laskentajärjestelmän kehitystyössä hyödynnettiin Tilastokeskuksen Materiaalitalinpidon aineistoa sekä Oulun yliopistossa ja Suomen ympäristökeskuksessa kehitettyä Suomen materiaalivirta-analyysin MFAfin-laskentakehikkoa (Mäenpää ym., 2017a; 2017b) sekä muita tilastotietoja (muun muassa Luonnonvarakeskus, Tukes) suorien materiaalivirtojen ja DMC-indikaattorin tuottamiseksi. Materiaalivirtatilinpidon tiedot on koottu Euroopan unionissa sovittujen periaatteiden mukaisesti (Eurostat, 2018a).

Vientituotteiden raaka-aine-ekvivalentit kuormituskertoimet estimointiin vuosille 2010, 2015 ja 2019 Suomen kansantalouden ympäristölaajennetulla panos-tuotosmalli ENVIMATilla. Tuontituotteiden raaka-aine-ekvivalentit kuormituskertoimet estimointiin Suomen ympäristökeskuksen toimesta hyödyntäen ympäristölaajennettua monialuepanos-tuotosmalli EXIOBASE 3 -dataa. Tarkempi kuvaus laskentamenetelmistä on kuvattuna luvussa 2.2.

Taulukko 1. RMC-indikaattorin lähtötiedot ja laskentamenetelmät.

Muuttuja	Tietolähde	Laskentamenetelmä
Kotimainen luonnonvarojen otto	Kansalliset tilastot ja muut tietolähteet (Tilastokeskus, Luke, Tukes)	-
Tuonti	Ulkomaankaupan tilastot (Tulli)	-
Vienti	Ulkomaankaupan tilastot (Tulli)	-
Kotimainen materiaalien kulutus (DMC)		Kotimainen luonnonvarojen otto + Tuonti – Vienti
RME-tuonti	Tuonti massoina tai euroina (Tulli), EXIOBASE 3 -data	Edellyttää mallinnusta. Tuonnin RME-kertoimet (kg/€) kerrotaan tuonnin arvoilla (€).
RME-vienti	Vienti massoina tai euroina (Tulli), ENVIMAT-malli	Edellyttää mallinnusta. Viennin RME-kertoimet (kg/€) kerrotaan viennin arvoilla (€).
Raaka-aineiden kulutus (RMC)		Kotimainen luonnonvarojen otto + RME-tuonti – RME-vienti

Suomen materiaalivirtojen laskentajärjestelmä sisältää yli 50 materiaali- tai raaka-ainekategoriaa. Materiaalivirtaindikaattoreiden osalta tiedot ovat saatavilla vähintään viiden pääkategorian tarkkuudella:

- Biomassa (sisältäen viljelykasvit, luonnoneläimet ja -kasvit ja raakapuun);
- Fossiiliset polttoaineet;
- Metallimalmit (esim. rauta, sinkki, nikkeli ja erilaiset jalometallit);
- Ei-metalliset mineraalit (teollisuus- ja rakennusmineraalit, kuten kalkkikivi ja erilaiset lannoitemineraalit);
- Maa- ja kiviainekset (esim. sora-, hiekka- ja rakentamisalueilta saatu murskeaines).

Tutkimushankkeessa tuotettu RMC-aikasarja vuosille 2010–2021 julkaistiin Tilastokeskuksen materiaalitilinpidon täydennyksessä marraskuussa 2023 (Tilastokeskus, 2023a). Tuloksia esitellään lisäksi tämän raportin luvussa 3.1.

2.2 Toteutuneen tilanteen arviointi ENVIMAT-mallilla

2.2.1 Peruseriaatteet

Suomen kansantalouden ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli ENVIMAT mahdollistaa tuotantotoiminnan ja kulutuksen talous- ja ympäristövaikutusten arvioinnin. Mallia on kehitetty ja ylläpidetty jo yli 15 vuoden ajan pääasiassa Suomen ympäristökeskuksen toimesta (Seppälä ym., 2009; Seppälä ym., 2011; Nissinen & Savolainen, 2019; Salo ym., 2023).

Malli sisältää kotimaisen tarjonnan ja käytön sekä lisäksi ulkomaankaupan virrat. Euromääräinen aineisto kuvaa, mitkä toimialat tuottavat mitäkin tuotteita ja mikä taho tuotteita käyttää. Käyttö saattaa tapahtua muiden yritysten toimesta tuotantopanoksina (välituotekäyttö) tai kotimaan kulutuksessa tai viennissä (loppukäyttö). Kotimaan tuotannon lisäksi tarjontaan kuuluu myös tuonti.

Tuotantotoiminta on kuvattu ENVIMAT-mallissa avoimia panos-tuotosaineistoja tarkemmin, käsittäen yhteensä 148 toimialaa⁴, 229 tuoteryhmää (sisältäen tavarat, energiatuotteet, rakennukset ja palvelut), 62 kotitalouksien tuoteryhmää sekä 61 energialajia. Mallin keskeisinä tausta-aineistoina ovat muun muassa Tilastokeskuksen kansantalouden tilinpito, toimialakohtainen panos-tuotosaineisto (tarjonta- ja käyttötaulut), energiatilinpito ja muut energiatilastot, materiaalivirtalaskennan aineistot sekä joukko muita ympäristöaineistoja. Kuten kansantalouden tilinpitokin, ENVIMAT-mallin lähtöaineistot noudattavat ns. kotipaikkaperiaatetta eli aineistot sisältävät kotimaisten talousyksiköiden toiminnan ulkomailla ja vastaavasti ulkomaisten talousyksiköiden toiminta Suomessa ei niihin sisälly. Kotipaikkaperiaate eroaa siis alueperiaatteesta, jossa tilastoihin sisältyy kaikki Suomen alueella tapahtuva toiminta.

Kulutusta eli loppukäyttöä tarkastellaan seitsemän kategorian kautta: kotitalouksien kulutusmenot ja kotitalouksia palvelevien yhteisöjen kulutusmenot (yhteensä yksityinen kulutus), julkisyhteisöjen yksilölliset kulutusmenot ja julkisyhteisöjen kollektiiviset kulutusmenot (yhteensä julkinen kulutus), kiinteän pääoman

4 Laskentatason toimialaluokitus on esitetty liitteessä 1.

bruttomuodostus ja varastojen muutos (yhteensä pääomanmuodostus) ja vienti. Vienti pitää sisällään kotimaisten tavaroiden ja palveluiden viennin ja jälleenviennin (eli tuonnin viennin). Ensimmäiset kuusi kategoriaa muodostavat kotimaisen loppukäytön. Varastojen muutos kuvaa kotimaisten ja tuontituotteiden nettomääräistä karttumista varastoon (positiivinen arvo) tai varaston purkua (negatiivinen arvo).

ENVIMAT-mallin tulokset ovat aina pysäytyskuva yhdestä vuodesta virtasuureiden osalta (malli sisältää tietoa myös varannoista, esimerkiksi toimialoittaisesta pääomakannasta). Tulokset ovat eroteltavissa sekä tuotantoperusteisiin ja kulutusperusteisiin. Tuotantoperusteisessa näkökulmassa tarkastellaan esimerkiksi jonkin toimialan suoria vaikutuksia, kun taas kulutusperusteinen näkökulma sisältää tuoteryhmän, toimialan tai vaikkapa kotimaan loppukäytön koko arvoketjun elinkaariset vaikutukset niin talouden, työllisyyden, raaka-ainekäytön kuin erilaisten ympäristökuormitusten/vaikutusten osalta.

Panos-tuotosmalli allokoii kansantalouden suorat kokonaisvaikutukset (kotimainen tuotanto ja tuonti) loppukäytölle arvoverkoston kytkentöjen mukaisesti. Täten loppukäytön vaikutukset summautuvat aina kokonaisvaikutuksiin kotimaan tuotannon ja tuonnin vaikutuksiin. Kuitenkin toimialojen elinkaarisia vaikutuksia tarkasteltaessa toimialojen yhteenlasketut vaikutukset ylittävät kansantalouden kokonaisvaikutukset moninkertaisesti. Syynä tähän on kaikki toimialojen tuottamat tuotteet eivät ole lopputuotteita, vaan osa niistä päätyy välituotteina toisille toimialoille, jolloin syntyy päällekkäistä laskentaa (Koskela ym., 2013). Toimialojen elinkaaristen vaikutusten päällekkäisyydestä esimerkkeinä ovat maa- ja kiviainesten oton sisältyminen suurelta osin rakentamisen arvoketjuun ja kaukolämmön tuotannon päästöjen sisältyminen lukuisien toimialojen elinkaareen. Toimialojen elinkaarisia vaikutuksia voidaan kuitenkin vertailla keskenään summautuvuusongelmasta huolimatta.

Tutkimushankkeen aikana ENVIMAT-malli päivitettiin aiemmasta vuoden 2015 versiosta vuoden 2019 tietopohjalle monetaarisen aineiston, ilmapäästöjen, luonnonvarojen oton ja maankäytön osalta. Lisäksi päivitettiin tuontituotteiden kuormitustiedot.

2.2.2 Raaka-aineiden otto ja käyttö ja materiaalivirtaindikaattorien laskeminen

ENVIMAT-mallin ja siihen kytkettyjen mallien avulla pystytään tuottamaan tuonnille ja viennille raaka-aine-ekvivalentit eli raaka-ainekäytön elinkaariset kertoimet. Mallin lähtöaineistossa kotimaisten raaka-aineiden ottoa kuvaava lähtödata hankittiin Tilastokeskuksesta ja muista julkisista lähteistä. Aineiston koonnissa käytettiin apuna MFAfin-laskentakehikkoa.

Kotimaan luonnosta otetut raaka-ainemäärät kohdistettiin ENVIMATin tuoteryhmille kahdeksassa raaka-ainekategoriassa (ks. luku 2.1). Vuoden 2019 mallissa kotimaiseen ottoon kytkeytyi yhteensä 35 tuoteryhmää. Mallin ajon aluksi kotimaiset ottomäärät suhteutettiin tuoteryhmien euroarvoon, jolloin laskentaan saatiin kotimaisen oton kg/€-materiaalikertoimet. Toimialoittaisessa tarkastelussa luonnonvarojen oton massamäärät allokoitiin osaksi toimialojen raaka-ainekäyttöä (esim. metsätalouden raaka-ainekäyttö sisältää hakattujen puiden massan, vaikka toimiala ei niitä itse varsinaisesti käytäkään).

Tuontituotteiden RME-kertoimet estimoitiin ympäristölaajennetulla monialuepanostuotusmallilla, joka käyttää lähtöaineistonaan EXIOBASE 3 -dataa (Stadler ym., 2018). ENVIMAT19-malliin tuontikertoimet estimoitiin RMC-aikasarjatarkastelua varten vuosille 2010–2021. Käytetty lähestymistapa sisältää dataan liittyviä epävarmuuksia, sillä EXIOBASEssa luonnonvarojen oton tiedot ovat vuodesta 2014 lähtien arvioita eivätkä perustu tuoreisiin tilastotietoihin. Kunkin vuoden tuontikertoimien laskennassa EXIOBASE-mallin alkuperämaiden kertoimet painotettiin tuontiosuuksien suhteissa. Tuoteryhmien kohdistamisessa ENVIMATin tuoteluokitukseen painottamisessa käytettiin Tullin tietoja ja joidenkin tuoteryhmien osalta hyödyntäen EXIOBASEn monetaarista aineistoa eri maiden tuotteiden käytöstä Suomessa. Vuonna 2019 tuontia oli 177 tuoteryhmässä 229 tuoteryhmästä. Näistä 171 tuoteryhmälle pystyttiin arvioimaan tuontikerroin. Loppujen tuoteryhmien osalta on käytetty ns. kotimaisen teknologian oletusta (DTA, domestic technology assumption). Sen mukaan tuontituote on valmistettu vastaavalla teknologialla (eli raaka-ainekäytöllä tai ympäristökuormituksella) kuin vastaava kotimainen tuote.

ENVIMAT-malli tuottaa huomattavan määrän materiaalivirtaindikaattoreita mallin ratkaisuna hyödyntäen kotimaan luonnonvarojen ottotietoja sekä ulkomaankaupan RME-kertoimia. Indikaattoreiden lisäksi tulokset sisältävät tietoa toimialojen raaka-ainekäytöstä, lopputuotteiden raaka-aineintensiteettikertoimista ja kotitalouksien kulutushyödykkeiden raaka-ainekäytöstä.

Vaikka luvussa 2.1 esitelty RMC:n laskentakehikko hyödyntää ENVIMATin tuottamia kertoimia, eroavat laskentakehikon ja ENVIMAT-mallin tuottamat RMC-arvot toisistaan. Osaltaan tämä kuvastaa RMC-laskentamenetelmien vakiintumattomuutta. Laskentamenetelmissä on eräitä seikkoja, jotka selittävät eroja. Luvussa 3.1 esitettyjen lukujen tuottamisessa tuonnin ja viennin suorat materiaalivirrat on laskettu massoina ja RME-virrat taas on laskettu euromääräisistä tiedoista kertomalla näitä lukuja mallinnetuilla RME-kertoimilla (kg/€). Lisäksi mukana on arvio ns. erittelemättömästä tuonnista ja viennistä, josta tiedetään euroarvo, mutta ei tarkkaa koostumusta tai edes suoraa massaa. Tälle erälle on arvioitu raaka-aine-ekvivalentti materiaalikäyttö (vuonna 2019 tuonnin osalta noin 6,8 Mt ja viennin osalta noin 4,7 Mt). ENVIMAT-mallin lähtöaineistossa tuonnin ja viennin suorat määrät ovat euroissa, joista ne muutetaan massoiksi hyödyntämällä ulkomaankauppatilaston kilohintatietoja. Ulkomaankaupan RME-virrat arvioidaan eurotiedoista RME-kertoimilla RMC-laskentakehikon tapaan, joskin euroarvot poikkeavat johtuen eroista ulkomaankauppatilaston ja kansantalouden tilinpidon panos-tuotosaineiston välillä. ENVIMAT-mallin lähtöaineisto ei sisällä arviota erittelemättömästä tuonnista ja viennistä. Eroja laskentamenetelmien tuottamisissa tuloksissa käsitellään luvussa 3.5.

2.2.3 Ympäristökuormitusten ja -vaikutusten arviointi

Raaka-aineiden oton ja käytön ympäristövaikutuksia arvioitiin tarkastelemalla kasvihuonekaasupäästöjä, maankäyttöä ja luontokatoa, happamoittavia päästöjä, pienhiukkasia, sekä näihin liittyviä ilmansaastekustannuksia.

ENVIMAT-mallissa energiaperäiset kasvihuonekaasupäästöt (fossiilinen CO₂, CH₄, N₂O ja F-kaasut) johdetaan energiankulutuksesta polttoainekohtaisilla päästökertoimilla. Mallin lähtöaineistoksi on koottu toimialoittainen, 61 energialajin tarkkuudella oleva energiankulutustaulu. Vastaavasti muista kuin energiaperäisistä päästöistä on koottu toimialoittainen lähtöaineisto. Muita päästöjä ovat esimerkiksi teollisuuden prosessipäästöt sekä maatalouden peltolannoitteiden, kalkituksen, kotieläinten aineenvaihdunnan ja lannankäsittelyn päästöt. ENVIMATscen-malli sisältää maankäyttösektorin (LULUCF) kasvihuonekaasupäästöt ja poistumat – toisin kuin staattinen ENVIMAT-malli. Tuontituotteille on estimoitu elinkaariset päästökertoimet ympäristölaajennetun monialuepanos-tuotosmalli EXIOBASE 3:n avulla (ks. luku 2.2.2). Eri kasvihuonekaasupäästöt yhteismitallistetaan hallitustenvälisen ilmastomuutospaneeli IPCC:n viidennen arviointiraportin (AR5) mukaisilla GWP(100)-kertoimilla (global warming potential). Ilmastomuutoksen vaikutuksia ei siis arvioida. Työssä tarkastellaan ainoastaan eri toimintojen aiheuttamaa lämmityspotentiaalia 100 vuoden aikajänteellä, minkä perusteella eri toimintojen ja skenaarioiden suhteellisia eroja ilmastomuutoksen aiheuttamiseen voidaan vertailla.

Polttoaineiden palamisessa syntyy kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi hiukkas- ja kaasumaisia päästöjä, jotka voivat päätyä hengityksen mukana keuhkoihin tai poistua ilmakehästä märkä- tai kuivalaskeumana. Näistä ilmansaasteista erityisesti pienhiukkaset ($PM_{2,5}$)⁵, karkeat hengitettävät hiukkaset (PM_{10}), rikkidioksidi (SO_2), typen oksidit (NO_x), ammoniakki (NH_3) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC) aiheuttavat haittaa ihmisten terveydelle ja heikentävät ekosysteemien tilaa. Syntyvien päästöjen määrän vaikuttavat polttoaine, polttotekniikka ja päästövähennysteknologia. Merkittävimpiä päästölähteitä ovat liikenne, energiantuotantolaitokset ja kotitalouksien lämmitys. Kasvihuonekaasupäästöjen tapaan ilmansaasteet johdetaan mallissa energiankulutuksesta polttoainekohtaisilla päästökertoimilla. Lisäksi ei-energiaperäisistä ilmapäästöistä on koottu toimialoitainen lähtöaineisto. Rikkidioksidi, typen oksidit ja ammoniakki yhteismitallistetaan niiden happamoittamispotentiaalini näkökulmasta rikkidioksidiäkvalenteiksi Suomi-kohtaisilla karakterisointikertoimilla (Posch ym., 2008). Rikkidioksidin kertoimena käytetään 0,9, typen oksideille 0,5 ja ammoniakille 1,2. Ilmansaasteet voidaan kääntää myös ilmansaastekustannuksiksi. ENVIMAT-mallin saastekustannukset tarkoittavat rahallisia haittoja, joita ilmansaasteista syntyy, kun huomioidaan niiden vaikutukset ihmisten terveyteen, satotasoihin, metsien kasvuun ja rakennusten kuntoon. Mallissa on käytetty Euroopan ympäristökeskus EEA:n raportin (Schucht ym., 2021) arvoja Suomessa syntyville päästöille. Ennen aikaisen kuoleman kustannusta arvotetaan tarkastelemalla menettävien elinvuosien määrää ja yhden elinvuoden rahallista arvoa.

Maankäytön lähtöaineistoksi on koottu kotimainen maankäyttö toimialoitain 13 maanpeiteluokan tarkkuudella. Tuontituotteille on estimoitu elinkaariset maankäyttökertoimet ($m^2/€$) elinkaariarvioinnin tietolähteistä. Maankäyttöön on kytketty lisäksi luontokatovaikutukset. Kullekin 13 maanpeiteluokalle on annettu luontokatokerroin niin, että keinotekoiset pinnat eli rakennusten ja teiden alle jäävät kasvuttomat alueet saavat arvon 1, ja luonnontilainen maanpeite, ENVIMAT-mallin maanpeiteluokituksessa vanhat metsät, saavat kertoimen 0. Muut maanpeiteluokat saavat arvon väliltä 0–1. ENVIMAT-mallissa käytetty luontokatokerroin kuvaa sitä, kuinka paljon kullakin maanpeitetyyppillä on hävinnyt eläin- ja kasvilajistoa vastaavaan luonnontilaiseen maanpeitteeseen verrattuna. Mallin tämänhetkessä versiossa on lajikatokertoimina käytetty ReCiPe-vaikutusarvointimetodiin (Goedkoop ym., 2013) pohjautuvia kertoimia (PDF.m2.yr⁶). Katokertoimet on vielä normalisoitu, eli jaettu Suomen pinta-alalla ja kerrottu sadalla. Kun eri maanpeitetyyppien

5 Pienhiukkasten (particulate matter, PM) osalta alaindeksin numero viittaa yhdisteen läpimitaan: $PM_{2,5}$ on läpimitaltaan alle 2,5 mikrometrin kokoinen ja PM_{10} alle kymmenen mikrometriä.

6 PDF.m2.yr (potential disappeared fraction (PDF) of species) kuvaa sukupuuttokuoleman riskissä olevien lajien osuutta neliometrillä yhden vuoden aikana.

pinta-alat kerrotaan normalisoiduilla katokertoimilla, tulos ilmaisee, kuinka monta prosenttia indikaattorin kuvaamasta biodiversiteetistä eli luonnon monimuotoisuudesta on kadonnut verrattuna kokonaan luonnontilaiseen Suomeen. Vastaavasti tietyn toimialan maankäytön vaatimat pinta-alat voidaan kertoa luontokatokertoimilla, jolloin tulos kuvaa kyseisen toimialan maankäytön aiheuttamaa osuutta koko maan luontokadosta.

Raaka-aineiden ottoa ja käyttöä ympäristövaikutuksineen vuonna 2019 esitellään luvussa 3.2.

2.2.4 Maakuntien tilannekuvan arviointi

ENVIMAT-malliin on kehitetty myös maakuntasovellukset, joiden kautta voidaan kuvata luonnonvarojen käyttöä ja kasvihuonekaasupäästöjä maakuntatasolla. Pohjois-Karjalan materiaalivirrat ja resurssitehokkuus -hankkeeseen (Sironen ym., 2015) pohjautuen sekä Väre- ja Kahina-hankkeissa (Karhinen ym., 2023) Pohjois-Pohjanmaalle ja Kainuulle kehitettyjä ympäristölaajennettuja talousmalleja mukailen kansallinen ENVIMAT-malli on nyt alueellistettu jokaiselle Suomen 19 maakunnalle. Tuloksena saatuja tietoja luonnonvarojen otosta ja kulutuksesta maakunnittain vuonna 2015 esitellään luvussa 3.3 ja tarkempia maakuntakohtaisia tietoja liitteessä 10.

Maakuntamallien (ENVIMATmaakunta) lähtökohtana ovat alueellistetut, koko Suomen kansantaloutta kuvaavan ENVIMAT-mallin rahamääräiset tarjonta ja käyttötaulut, jonka peruseriaatteet ovat kuvattuna ylempänä luvussa 2.3.1. ENVIMATmaakunta-malleissa eräitä alkutuotannon, energihuollon ja julkishallinnon toimialoja on jouduttu aggregoimaan koko Suomen ENVIMAT-malliin verrattuna, minkä seurauksena maakuntamalleissa on 148 toimialan sijasta 137 toimialaa ja 229 tuoteryhmänä sijasta 225. Muilta osin maakuntamallit noudattavat ENVIMAT-mallin luokituksia ja periaatteita. Myös maakuntamallien luonnonvarojen ottotiedot on kerätty noudattaen samoja periaatteita koko Suomea koskevan materiaalivirtatilinpidoon kanssa. Yksityiskohtaisemmin maakuntasovellusten menetelmät ja tietolähteet rahamääräisten panos-tuotosaineistojen ja luonnonvarojen osalta ovat kuvattuna Karhinen ym. (2023) raportissa. Tämän hankkeen puitteissa maakuntasovelluksille estimointiin myös uudet raaka-aine-ekvivalentit tuontikertoimet vastaavasti kuin koko maan ENVIMAT-mallissa, joka on päivitys aiemmin Karhinen ym. raportissa kuvattuihin Pohjois-Pohjanmaalle ja Kainuulle rakennettuihin maakuntamalleihin.

2.3 Luonnonvarojen käytön skenaarioiden laadinta ja arviointi

2.3.1 Skenaariot ja niiden lähtötietojen määrittäminen

Kansantaloudessa eri toimialoilla, julkishallinnossa ja kotitalouksissa käyttöönotettavat kiertotaloustoimenpiteet vaikuttavat luonnonvarojen ottoon ja käyttöön niin Suomessa kuin ulkomailla. Luonnonvarojen käytön talous- ja ympäristövaikutuksia arvioitiin laatimalla kolme erilaista tulevaisuuspolkua eli skenaariota vuodelle 2035. Skenaariot nimettiin perus-, kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioiksi:

- **Perusskenaario** on niin sanottu Business as usual (BAU)-skenaario sisältäen ilmastoon, energiaan ja kiertotalouteen liittyviä toimenpiteitä ja poliittisia ohjauskeinoja, jotka ovat jo voimassa tai joiden osalta on jo olemassa esimerkiksi investointipäätökset.
- **Kiertotalousskenaario** sisältää perusskenaarioon nähden tehostettuja sekä uusia kiertotaloustoimenpiteitä sekä niiden kytkennät muihin sektoreihin muun muassa välituotteiden ja energian käytön kautta.
- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** tarkastellaan kiertotalouden strategisen ohjelman tavoitteiden lisäksi myös hiilineutraalisuuden saavuttamista vuonna 2035. Vähähiilisyiden vahvistamiseksi skenaarioon on lisätty uusia kiertotalous- ja ilmastotoimenpiteitä.

Skenaariotyössä arvioitiin tutkijoiden asiantuntijatyönä Suomen kansantalouden tasolla kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena mahdollisesti tapahtuvaa kehitystä tuotantotoiminnassa (volyymit, tuotejakaumat) ja tuotantopanosten (erityisesti luonnonvarojen) välituotekäytössä⁷ vuonna 2035. Toimenpiteiden aiheuttamia vaikutuksia tuotantopanosten (etenkin luonnonvarojen) ottoon, käyttöön ja ympäristöön sekä kansantalouteen analysoitiin ja skenaarioiden potentiaalisia vaikutuksia vertailtiin kiertotalouden strategisen ohjelman asettamiin tavoitteisiin.

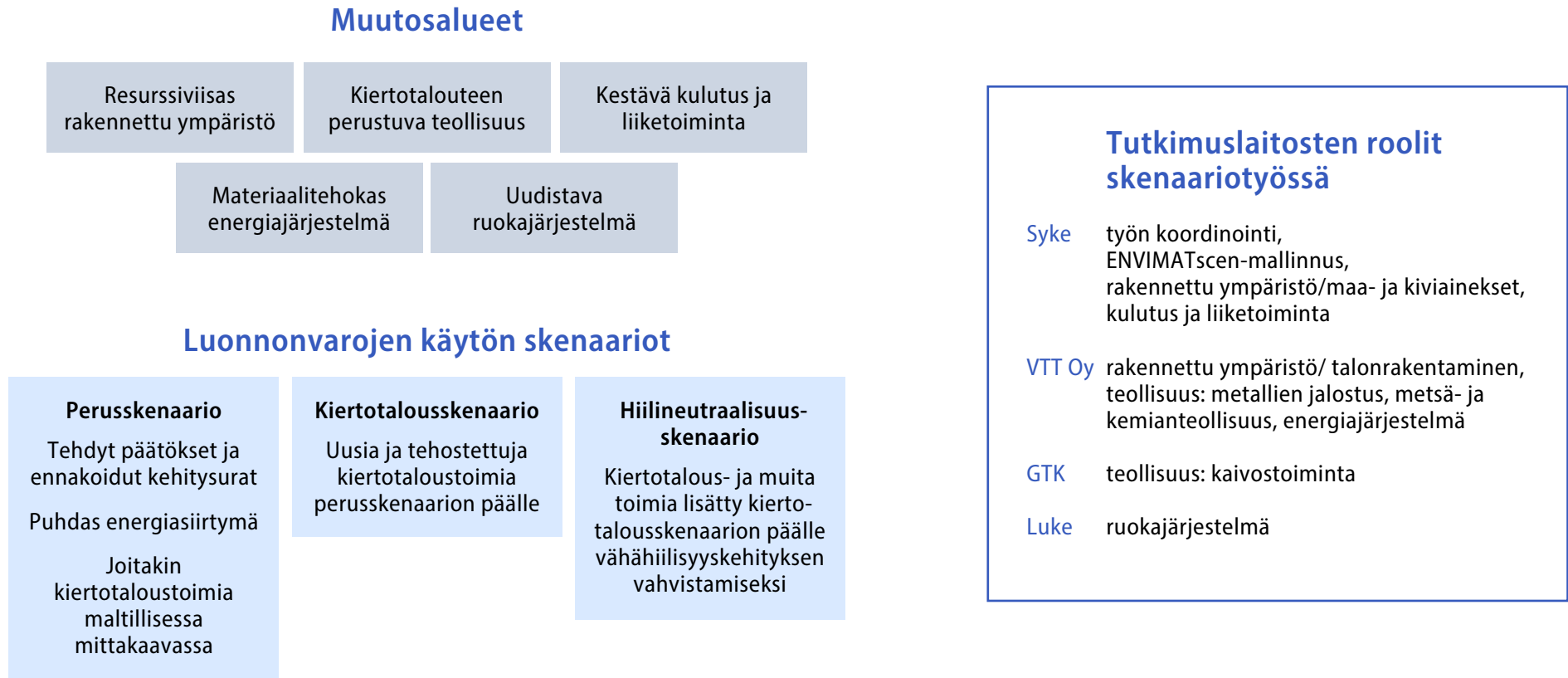
Skenaarioiden muodostamisen perustaksi määriteltiin kiertotalouden green dealin kehittämisen ja luonnonvarojen käytön skenaariotyön yhteisprosessin aikana viisi muutosaluetta. Yhteiskehittämisen edetessä toimialakohtainen teematarkastelu fokusoitui muutosalueiksi. Kiertotalouden strategisen ohjelman tavoitteiden saavuttamiseksi näissä muutosalueissa tarvitaan toimijoiden mahdollistama, merkittävä kiertotaloussiirtymä vuoteen 2035 mennessä.

⁷ Välituotekäyttö sisältää kaikki toimialan tuotoksen aikaansaamiseksi käyttämät tavarat ja palvelut.

Muutosalueille hahmoteltiin kiertotalous- ja ilmastotavoitteita edistäviä toimenpiteitä, jotka jaettiin edelleen tavoitetasoihin ja osaksi skenaariotyön perus-, kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioita (Kuvio 2). Skenaarioiden ja toimialakohtaisten arvioiden laadinnassa huomioitiin ilmastoon ja kiertotalouteen liittyviä, jo tehtyjä strategialinjauksia (muun muassa toimialojen vähähiilisyystekartat, teollisuuden julkistamia investointeja ja -suunnitelmia), tutkimuskirjallisuutta, asiantuntijoiden näkemyksiä teknologioiden mahdollisista kehityskuluista sekä kiertotalouden green deal ja skenaariotyöprosessin sidosryhmäyhteistyötä⁸. Nämä arviot tulevaisuudesta toimivat pohjana erityisesti laadittaessa perusskenaariota, joka toimi vertailuskenaariona kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioiden tarkastelussa.

8 Kiertotalouden strategisen ohjelman laatimisessa toteutettu laaja sidosryhmien osallistaminen ja yhteiskehittäminen on jatkunut ohjelman toteutuksessa: Kiertotalouden green dealin kehittämiseen ja samassa yhteydessä tämän tutkimushankkeen toteuttamaan luonnonvarojen käytön skenaariotyöhön osallistui vuosina 2022–2023 ministeriöiden ja tutkimuskonsortion lisäksi yli 80 organisaatiota, mukaan lukien yritys- ja toimialajärjestöjä, yrityksiä, kaupunkeja ja kuntia sekä lähes kaikki maakunnat. Lista mukaan ilmoittautuneista tahoista on esitetty raportin liitteessä 2. Sidosryhmätyöhön sisältyi mm. laajoja työpajoja (1.11.2022, 14.4.2023 ja 13.10.2023), webinaareja sekä pyöreän pöydän keskusteluja muutosalueittain.

Kuvio 2. Luonnonvarojen käytön skenaariotyön sisältö ja tutkimuslaitosten roolit.



Skenaariot on mallinnettu Suomen kansantalouden ympäristölaajennetulla ENVIMATscen-simulointimallilla.

Skenaarioiden tuloksia vuodelle 2035 tarkasteltiin toisiinsa verraten sekä suhteessa kiertotalousohjelmassa asetettuun tavoitteiden lähtövuoteen 2015. Skenaariotyön keskeiset mallinnetut toimenpiteet muutosalueittain esitellään luvussa 2.4 ja yhteenveto skenaarioiden pääsisällöistä luvussa 2.5. Lisätietoja muutosalueiden ja niihin sisältyvien toimenpiteiden arvioinnin taustoista on esitetty liitteissä 3–8. Skenaarioiden tuloksia esitellään luvussa 3.4.

Kiertotaloustoimenpiteiden ja niistä muodostettujen skenaariokokonaisuuksien mallinnusta varten laadullisten tavoitteiden sijaan tarvitaan konkreettisia määrällisiä tavoitetasoja ja malliin syötettäviä numeerisia lähtötietoja. Skenaariotyön taustatietojen saatavuus ja tarkkuus vaihtelivat merkittävästi. Mikäli esimerkiksi tilastollista dataa ei ollut saatavissa, jouduttiin kiertotaloustoimenpiteiden tavoitetasoja asettamaan primäärisen tiedon sijasta tulevaisuuden mahdollisia kehityskulkuja olettamalla. On luonnollista, että skenaarioiden lähtötiedot ja siten myös tulokset sisältävät merkittävää epävarmuutta. Lähtökohtaisesti mikään esitetyistä skenaarioista ei tule toteutumaan sellaisenaan eikä skenaariotyön tuloksia tule pitää ennusteena tulevaisuudesta. Keskeinen informaatio liittyy skenaarioiden vaikutusketjujen vertailuun mukaan lukien skenaarioiden erot ja erojen suunnat ja suuruusluokat. Sidosryhmien osallistuminen skenaariotyössä käytettyjen tavoitetasojen ja lähtöoletusten määrittelyssä vaihteli muutosalueittain, ja mallinnuksessa käytetyt arviot ovat lopulta tutkijoiden määrittämiä perustuen laskennallisiin ja laadullisiin asiantuntija-arvioihin.

2.3.2 Arviointiperiaatteet ENVIMATscen-mallissa

Skenaarioihin sisällytettävien (kiertotalous)toimenpiteiden vaikutuksia Suomen kansantaloudelle arvioitiin Suomen talouden ympäristölaajennetun pitkän ajan simulointimallilla ENVIMATscen.

ENVIMATscen-malli on kehitetty staattisen ENVIMAT-mallin pohjalta, ja sen toimiala- ja tuotetarkkuus ovat yhtenevät ENVIMAT-mallin kanssa (kts. ENVIMAT-mallin kuvaus luvussa 2.2.1). ENVIMATscen-malliin on tuotu mukaan kansantalouden tilinpidon mukainen tulonmuodostus ja tulonkäyttö sektoreittain sekä panos-tuotoshintamalli. Lisäksi malli huomioi Tilastokeskuksen mukaisen väestöennusteen. Malli ratkaisee valitulle päätevuodelle (2035) kansantalouden kiertokulun tasapainon. Tällöin tuotteiden tarjonta ja kysyntä sekä investoinnit ja säästäminen ovat tasapainossa, ja taloudessa vallitsee (kitkatyöttömyys huomioiden) täystyöllisyys. Hintamalli ratkaisee tuotteiden suhteellisissa hinnoissa tapahtuvat muutokset, jotka vaikuttavat hintajoustojen kautta kotitalouksien kulutukseen sekä talouden ulkoiseen kilpailukykyyn (tuotteiden tuontiin ja vientiin).

Mallin ratkaisussa tuotteiden tarjonta sopeutuu kysynnän muutoksiin. Se, mikä osuus tarjonnasta on tuontia, määräytyy tuotekohtaisten tuontiosuusoletusten perusteella. Lähtövuoden 2015 tuontiosuuksiin oletetaan historiallisen trendin mukaista kasvua vuoteen 2035. Lisäksi tuontiosuuksiin vaikuttavat hintajoustot, kun kotimaiset hinnat muuttuvat suhteessa kansainvälisiin hintoihin.

Toimialojen tuotantovolyymi päätevuonna määräytyy loppukäytön eli kotimaan kulutuksen, investointien ja vientikysynnän lopputuloksena. Kysyntä kohdistuu lopputuotteisiin, joiden tuottaminen synnyttää edelleen kysyntää välituotteille. Investointien määrään vaikuttaa tuotantovolyymien määrä ja korvausinvestointien tarve. Eri skenaarioissa toimialojen tuotokset asettuvat eri tasoille riippuen esimerkiksi siitä, millaisia kiertotaloustoimenpiteitä on oletettu toteutuvaksi.

Malli tuottaa aina saman tasapainotyöllisyyden, jolloin kokonaistyöllisyys ei eri skenaarioissa muutu. Pitkän aikavälin tarkasteluissa kokonaistaloudellisen työllisyysvaikutuksen sijaan onkin mielekkäämpää tarkastella bruttokansantuotteessa ja nettokansantulossa tapahtuvia muutoksia, joihin toimenpiteen positiiviset tai negatiiviset talousvaikutukset heijastuvat. Jos välituotekäyttö tuotosta kohti laskettuna pienenee esimerkiksi materiaalitehokkuutta edistävän toimenpiteen seurauksena, arvonlisäyksen osuus ja siten myös BKT kasvaa. Toimialoittaisessa työllisyydessä havaitaan kuitenkin muutoksia eri skenaarioiden välillä, kun työvoiman kohdentuminen taloudessa muuttuu.

ENVIMATscen sisältää talouden ydinmallin lisäksi niin sanottuja satelliittimalleja, joissa kuvataan tiettyjä talouden sektoreita ja niihin liittyviä ympäristövaikutuksia yksityiskohtaisemmin. Ydinmalli kuvaa tuote- ja tulovirrat rahamääräisinä, kun taas satelliittimalleissa laskenta tapahtuu yleensä fyysisissä massa- tai energiayksiköissä. ENVIMATscen-malli on lähtökohtaisesti kysyntälähtöinen, eli toimialojen tuotokset sopeutuvat kotimaisen ja vientikysynnän muutoksiin. Osa satelliittimalleista on kuitenkin rakennettu tarjontalähtöisesti.

Keskeisiä satelliittimalleja ovat:

- **Energiankulutus energiayksiköissä:** Satelliittimalli syöttää energiankulutuksessa tapahtuvien muutosten (energiatehokkuus, polttoaineiden keskinäinen korvautuminen) vaikutukset ydinmalliin toimialojen välituotekäytön ja kotitalouksien kulutusmenojen muutoksiksi.

- **Sähkön ja lämmön tuotanto:** Satelliittimalli ratkaisee sähkön ja lämmön tuotannon ydinmallissa määräytyvän kysynnän perusteella. Monia oletuksia, kuten ydin-, tuuli- ja aurinkovoiman tuotantomäärät, voidaan syöttää eksogeenisesti eli määrätä malliratkaisun ulkopuolelta käsin.
- **Kaivos- ja kaivannaistoiminta:** Satelliittimalli sisältää kaivoskohtaisesti nykytilanteen ja vuoden 2035 arviot kaivostoiminnan tuotoksesta ja louhintamääristä. Kotimaisen kaivannaistoiminnan volyymi määrätään mallissa tarjontalähtöisesti, ja tuonti tai vienti tasapainottaa kysynnän ja tarjonnan.
- **Massa- ja paperiteollisuus:** Satelliittimalli tarkentaa massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistuksen toimialan välituotekäyttöä sekä energian tuotantoa ja käyttöä perustuen siihen, millainen päätevuoden tuotejakauma toimialalle oletetaan.
- **Metsämalli:** Satelliittimalli laskee metsämaan kasvihuonekaasutaseen (khk-taseen) ydinmallissa määräytyvän puun kysynnän perusteella. Puun euromääräinen kysyntä muunnetaan ensin hakkuumääräksi, josta johdetaan edelleen kokonaispoistuma. Puuston kasvun oletettua referenssitasoa korjataan hakkuumäärään pohjautuen. Elävän biomassan khk-taseen laskenta perustuu kasvihuonekaasuinventaarion historiallisesta aineistosta johdettuun regressioyhtälöön, jossa elävän biomassan khk-tasetta selitetään puuston kasvun ja poistuman erotuksella. Maaperän khk-taseen oletetaan olevan kivennäismaiden osalta 10 vuoden keskiarvon mukainen, orgaanisten maiden khk-tase johdetaan historiallisesta lineaarisesta trendistä. Maaperän khk-taseeseen vaikuttaa lisäksi se, kuinka paljon hakkuutähteitä korjataan.
- **Ympäristövaikutusten laskentaan liittyvät satelliittimallit:** päästöt ilmaan, materiaalivirrat ja luonnonvarojen käyttö, maankäyttö ja luontokato. Laskenta on yhtenevä ENVIMAT-mallin kanssa (kuvaus luvussa 2.3).

Mallin tulokset kootaan ja esitetään erilaisina ympäristö- ja kokonaistaloudellisina indikaattoreina. Keskeinen tarkastelutaso on kansantalous, mutta tulokset ovat saatavilla toimialoitain, tuoteryhmittäin ja loppukäytön kategorioittain. Bruttokansantuote (BKT) on yleisesti käytetty taloudellisen toiminnan tason mittari, ja kiertotalousohjelman tavoitteisiin sisältyvän resurssituottavuuden laskenta pohjautuu bruttokansantuotteeseen. BKT:n rinnalla on syytä tarkastella myös muita taloudellisia indikaattoreita, jotka kuvaavat BKT:ta paremmin taloudellista hyvinvointia.

Tällaisia ovat esimerkiksi nettokansantulo sekä yksilöllinen kulutus. Nettokansantulo saadaan vähentämällä BKT:sta pääoman kuluminen ja lisäämällä ulkomailta saadut työ- ja pääomatulot nettona. Yksilöllisessä kulutuksessa kotitalouksien kulumenoihin lisätään kotitalouksia palvelevien yhteisöjen sekä julkisyhteisöjen kotitalouksia palvelevat (yksilölliset) kulutusmenot, jolloin huomioiduksi tulevat sekä kotitalouksien itselleen ostamat että yhteiskunnalta ilmaiseksi saadut hyödykkeet.

Mallin tuottamia ympäristövaikutuksiin liittyviä indikaattoreita ovat esimerkiksi raaka-aineiden kulutus (RMC), energian kokonaiskulutus, maankäyttö ja luontokato, kasvihuonekaasupäästöt, happamoittavat päästöt, pienhiukkaset ja ilmansaastekustannukset.

ENVIMATscen-malli ei ole luonteeltaan ennustemalli. Mallissa sovelletaan tasaisen kasvun periaatetta, eikä se sisällä lyhyen aikavälin suhdannevaihteluita. Malli on käyttäytymisominaisuuksiltaan yksinkertainen, eikä siten sovellu taloudellisten ohjauskeinojen, kuten verojen tai investointitukien, vaikuttavuuden tarkempaan arviointiin. Toisaalta malliin on mahdollista syöttää rajujakin muutosoletuksia. ENVIMATscen-mallilla voidaan tuottaa sisäisesti johdonmukaisia vaihtoehtoisia kehityspolkuja sekä tarkastella eri toimenpiteiden kokonaistaloudellisia ja ympäristövaikutuksia. Näin ollen malli on toimiva apuväline pidemmän aikavälin tarkasteluissa, joissa keskiössä on vaihtoehtoisten toimenpiteiden laaja-alaisen vaikutusten arviointi.

2.3.3 Materiaalien kiertotalousaste

Materiaalien kiertotalousaste (circular material use rate, CMU) kuvaa kierrätetyn materiaalin osuutta kaikesta taloudessa käytetystä materiaalista (Eurostat, 2018b; ECT/WMGE, 2021). Indikaattori on kehitetty kansantalouden tason materiaalivirtaindikaattoreiden rinnalle tarkastelemaan kiertotalouden edistymistä. Se huomioi kotimaisten virtojen lisäksi materiaalihyödynnetyn jätteen tuonnin ja viennin. Lähtöaineistoon sisältyvät fossiiliset polttoaineet ja energiatuotteet, mutta ei vesi. Suomessa indikaattori on laskettu Tilastokeskuksen toimesta osana kiertotalousliiketoiminnan indikaattorisettiä (Tilastokeskus, 2023b; Kaariaho & Pirtonen, 2022). Indikaattori voidaan laskea sekä kokonaisindikaattorina että eri raaka-ainekategorioiden osalta.

Materiaalien kiertotalousasteen laskemisessa hyödynnetään materiaalivirtaindikaattoreita, jätetilastoja ja ulkomaankaupan tilastoja. Indikaattori *CMU* suhteuttaa materiaalihyödynnetyt jätteet kaikkien materiaalin kulutukseen

$$CMU = \frac{RCV_R - IMP_W + EXP_W}{DMC + RCV_R - IMP_W + EXP_W}$$

jossa RCV_R on materiaalihyödynnetyn jätteen määrä, IMP_W materiaalihyödynnykseen tuodun jätteen määrä ja EXP_W materiaalihyödynnykseen viedyin jätteen määrä. Osoittaja siis kuvaa ulkomaankauppakorjattua materiaalihyödynnettyä jätettä. Nimittäjässä vastaavasti on materiaalikokonaiskäyttö eli kotimainen materiaalien kulutus (DMC) ja ulkomaankauppakorjattu materiaalihyödynnetty jäte. Indikaattori olisi mahdollista laskea myös hyödyntäen nimittäjässä raaka-aineiden kulutusta (ECT/WMGE, 2021), mutta raaka-aine-ekvivalenttien virtojen käyttö ei ole täysin ongelmattonta⁹.

Eri skenaarioille CMU laskettiin ENVIMATscen-mallin ulkopuolella kuitenkin mallinnustuloksia hyödyntäen. Laskennassa tarvittavien muuttujien arviointi koostui kolmesta vaiheesta:

1. **Materiaalihyödynnetyn jätteen määrän arviointi.**

Materiaalihyödynnettyjen jätteiden tilastosta (51 jäteluokkaa) määriteltiin bruttokansantuotteen ja materiaalihyödynnetyn jätteen määrän välinen suhde lineaarisella regressiolla jäteluokittain. Lasketun piste-estimaatin ja regressioyhtälön avulla arvioitiin materiaalihyödynnettyjen jätteiden määrät perustuen eri skenaarioiden mallinnettuihin BKT-tasoihin. Mikäli yhtälö tuotti materiaalihyödynnettylle jätteelle negatiivisen arvon, käytettiin suoraan vuoden 2015 tai 2020 lukuarvoa tai vuosien 2013–2020 keskiarvoa. Mallintamisen lähtötiedoista ja mallinnustuloksista saatiin arviot keskeisten jäteluokkien (metallijätteet, muovijätteet, yhdyskuntajätteet, rakentamisessa ja purkamisessa syntyvät mineraalijätteet, muut mineraalijätteet eli kaivosten sivukivet ja rikastushiekat, polttojätteet eli metallinjalostuksen kuonat) materiaalihyödyntämisestä vuonna 2035 eri skenaarioissa.

9 Yleisesti ottaen kotimaisen luonnonvarojen oton (joka sisältyy sekä DMC:hen että RMC:hen) suhteuttaminen jätevirtoihin on jossain määrin harhaanjohtavaa. RMC:n osalta harhaa lisää vielä raaka-aine-ekvivalentit ulkomaankaupan virrat. Esimerkiksi erilaisten metallijätteiden kotimaiset, tuonti- ja vientivirrat mitataan suorina materiaallivirtoina eli jätteiden suorana massana, kun taas kotimaisen oton massat lasketaan metallimalmeina materiaallivirtatilinpidon ohjeiden mukaisesti.

2. **Ulkomaankauppakorjatun materiaalihyödynnetyn jätteen määrän arviointi.** Tuotu ja viety materiaalihyödynnetty jäte arvioitiin vuodelle 2035 käyttämällä vuoden 2015 määriä ja skaalaamalla näitä mallinnustuloksista lasketuilla tuonnin ja viennin keskimääräisillä kasvuvauhdeilla.
3. **Kotimaan materiaalien kulutuksen arviointi.** Arvio DMC-indikaattorista saatiin ENVIMATscen-mallinnuksesta kullekin skenaariolle.

CMU-indikaattorin arvio eri skenaarioille on karkea, mutta sitä voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavana. Materiaalihyödynnettyjen jätteiden määrät riippuvat useista talouden rakenteesta ja tuotantomäärissä tapahtuvista muutoksista, joita ei ole pystytty hankkeessa arvioimaan, koska ENVIMATscen-malli ei nykyisellään pysty laskemaan indikaattoria. Kuitenkin keskeisten jäteluokkien materiaalihyödyntämistä vuonna 2035 pystyttiin arvioimaan koherentisti suhteessa mallinnukseen.

2.3.4 Sähköautojen akustojen erillistarkastelu

Sähköautojen akkujen tiedetään olevan hyvin materiaali-intensiivisiä, minkä takia niiden vaikutus Suomen kansantalouden materiaalivirtoihin arvioitiin erillistarkasteluna. Arvioinnin lähtökohtana oli VC Elementsin (Bhutada, 2022) esittämät tiedot yleisempien akkujen materiaaleista (kg/kWh). Työssä oletettiin, että vuonna 2035 myytävien sähköajoneuvojen akuista 30 % on NMC-akkuja (Nickel Manganese Cobalt), joiden pääraaka-ainepohja vastaa nykyisten NMC811-, NMC523- ja NMC622-akkujen keskimääräistä sisältöä. Loput (70 %) uusien ajoneuvojen akuista olisivat LFP-akkuja (Lithium ferrophosphate). Vuoden 2035 uusien sähköajoneuvojen määrien oletettiin vastaavan liikenne- ja viestintäministeriön (Andersson ym., 2020) WAM-skenaarion ajoneuvojen määriä. Uusien sähköajoneuvojen määrät ja niiden akkujen keskimääräiset koot vuonna 2035 olivat seuraavat: henkilöautoja 122 976 kpl (70 kWh), kuorma-autoja 323 kpl (350 kWh), linja-autoja 386 kpl (300 kWh), pakettiautoja 14 179 (110 kWh), moottoripyöriä 2243 kpl (30 kWh) ja mopoja 4 427 kpl (10 kWh).

Näiden tietojen perusteella saatiin akuissa olevat metallimäärät, jotka kerrottiin Euroopan tilastokeskuksen (Eurostat, 2024b) mukaisilla raaka-aineiden ekvivalenttikertoimilla, ns. RME-kertoimilla. Koska Eurostatin tuottamat raaka-aine-ekvivalenttikertoimet ovat muotoa kg/€, jouduttiin kertoimet muuttamaan kg/kg-muotoon hyödyntäen vuoden 2019 Tullin ulkomaankauppatilaston hinta- ja määrätietojen avulla laskettuja kilohintoja (€/kg). Käytetyt RME-kertoimet (kg/kg) olivat seuraavat: litium 29,7; koboltti 44,9; nikkeli 44,9; mangaani 163,4; grafiitti 3,6; alumiini 16,8; kupari 137,4; rauta 5,9 ja teräs 5,9.

2.4 Muutosalueet ja niiden lähtötiedot eri skenaarioissa

Skenaariotyön muutosalueet kattavat luonnonvarojen käytön ja ympäristövaikutusten osalta keskeiset toimialat ja sisältävät rakentamisen ja rakennetun ympäristön, tuotantotoiminnan, energiajärjestelmän, ruokajärjestelmän ja kotitalouksien kulutuksen (Kuvio 3).

Kuvio 3. Skenaariotyön muutosalueet ja esimerkkejä kiertotaloustoimenpiteistä.

Lähde: Valtioneuvosto.



Alkuperäisen kuvion visualisointi Kaskas / Janika Lähdes.

Seuraavissa alaluvuissa esitellään eri muutosalueiden mallinnetut toimenpiteet ja niihin liittyvät mallinnooletukset. Lisätietoja toimenpiteiden arvioinnin perusteista ja taustoista on saatavissa muutosalueittain liitteissä 3–8.

2.4.1 Resurssiviisas rakennettu ympäristö

Resurssiviisas rakennettu ympäristö sisältää maa- ja vesirakentamisen¹⁰ ja talonrakentamisen toimialat sekä rakennusaineteollisuuden, jolla uusiomateriaalien käyttäjänä on kytkenä myös muihin teollisuustoimialoihin.

Maa- ja vesirakentaminen ja talonrakentaminen ovat runsaasti luonnonvaroja kuluttavia toimialoja (Ruokamo ym., 2021). Rakennuskantaan jo sidotut luonnonvarat muodostavat varannon, jota hyödyntämällä on mahdollista vähentää neitseellisten luonnonvarojen ottoa.

Kiertotaloustoimien avulla vähennetään, hidastetaan ja suljetaan materiaalivirtoja. Rakennusten ja rakenteiden parempi hyödyntäminen, pitoaikojen kasvattaminen, purku-, jäte- ja sivuvirtojen käyttö sekä korjausrakentamisen suosiminen materiaali-intensiivisen uudisrakentamisen sijasta vähentävät neitseellisten luonnonvarojen ottoa ja käyttöä. Lisätietoja muutosalueen ja toimenpiteiden taustoista on esitetty liitteessä 3.

Talonrakentamisessa ja rakennusaineteollisuudessa mallinnetut toimenpiteet

Asuinrakennusten pitoaika on

- perusskenaariossa 50 vuotta;
- kiertotalousskenaariossa 60 vuotta;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 70 vuotta.

Muiden talorakennusten pitoaika on

- perusskenaariossa 40 vuotta;
- kiertotalousskenaariossa 45 vuotta;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 50 vuotta.

Korjausrakentamisen osuus vuotuisista talonrakentamisinvestoinneista on

- perusskenaariossa 45 %;
- kiertotalousskenaariossa 55 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 65 %.

¹⁰ Keskusteluissa on usein käytetty termiä infrarakentaminen, mutta mallinnuksessa käytetään toimialaluokituksen mukaista nimitystä maa- ja vesirakentaminen.

Lisätään kierrätysmateriaalien käyttöä talonrakentamisessa: kierrätysmateriaalien osuus on

- perusskenaariossa 10 %;
- kiertotalousskenaariossa 15 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 20 %.

Lisätään kierrätysmateriaalien käyttöä rakennustuoteteollisuudessa; purkubetoni korvaa luonnon kiviaineksiä

- perusskenaariossa 1,0 %;
- kiertotalousskenaariossa 3,0 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 3,4 %.

Maa- ja vesirakentamisessa mallinnetut toimenpiteet

Rakennusosien uudelleenkäyttö maa- ja vesirakentamisessa; purettavista rakenteista samassa tai toisessa käyttötarkoituksessa

- perusskenaariossa 5 %;
- kiertotalousskenaariossa 10 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 15 %.

Ylijäämämassat ja sivuvirrat korvaavat neitseellisiä maa- ja kiviaineksiä maa- ja vesirakentamisessa

- perusskenaariossa 5 %;
- kiertotalousskenaariossa 15 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 20 %.

Lentotuhka korvaa sementtiä ja muita sidosaineita maa- ja vesirakentamisessa (syvästabilointi)

- perusskenaariossa 5 %;
- kiertotalousskenaariossa 15 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 30 %.

2.4.2 Kiertotalouteen perustuva teollisuus

Teollisuudessa kiertotalouden liiketoimintaan sisältyy muun muassa kestävä tuotesuunnittelu ja resurssitehokkuutta edistävät ratkaisut, kuten tuotteiden uudelleenkäyttö ja -valmistus, tehdaskunnostukset, kierrätysraaka-aineiden ja sivuvirtojen käytöt, sekä palvelu- ja datapohjaiset liiketoimintamallit. Näillä keinoilla pyritään raaka-aineiden käytön vähentämiseen ja arvonlisän kasvattamiseen.

Skenaariotyössä koottiin toimenpiteitä kiertotalouden edistämiseksi kaivosteollisuuden, metallien jalostuksen sekä metsä-, kemian- tekstiili- ja laajemmin teknologiateollisuuden toimialoille. Näiden toimenpiteiden joukosta valittiin skenaarioissa mallinnettavat toimet, kuten oletukset liittyen investointeihin sekä teollisuuden prosessi- ja raaka-ainemuutoksiin ja energian hankintaan. Lisätietoja muutosalueen ja toimenpiteiden taustoista on esitetty liitteessä 4.

Kaivosteollisuuden mallinnetut toimenpiteet

Kaivosteollisuus tuottaa mineraalisia raaka-aineita lukuisiin yhteiskunnan tarpeisiin. Kaivostoiminnassa kestävyys- ja kiertotalousteemat ovat nousseet viime vuosina keskiöön ja useat kaivosyrietykset panostavat toimintojen sähköistämiseen sekä sivu- ja jätevirtojen hyödyntämiseen. Kaivostoiminnan seurauksena muodostuvista jätevirroista merkittävimpiä ovat sivukivet ja rikastushiekat. Sivukivi on varsinaisen malmikiven kanssa kontaktissa olevaa kiveä, jota joudutaan louhimaan malmikiven hyödyntämisen mahdollistamiseksi. Rikastushiekka on malmin rikastusprosessin seurauksena jäljelle jäävä mineraaliaines, kun arvoaines on otettu talteen. Osalla yrityksistä on myös kunnianhimoisia tavoitteita toteuttaa ”jätteen kaivos” -ajattelua, joka on omiaan vauhdittamaan kiertotalouden edistämistä kaivostoiminnassa. Monet kiertotalousratkaisusta ovat vasta tulossa käyttöön, joten kiertotalous tulee tulevaisuudessa toteutumaan kaivoksilla enenevässä määrin. Kaivostoiminnassa on myös lisätty tuotannon jalostusastetta erityisesti akkuarvoketjun tuotteissa (nikkeli, koboltti, litium). Metallien ja mineraalien kysynnän kasvaessa tarve materiaalihokkaille ratkaisuille kasvaa entisestään, ja kiertotalouden ratkaisut voivat toimia sekä erottautumistekijänä että tuoda kustannussäästöjä ja uutta liiketoimintaa. Euroopan unionin kriittisiä raaka-aineita koskeva lakialoite (Critical Raw Materials Act) voi tuoda kaivostoiminnan raportointi- ja lupakäytäntöihin muutoksia (Euroopan komissio, 2024a).

Skenaariotyössä laadittiin asiantuntija-arvio kaivostoiminnan kehittymisestä (ml. uudet kaivokset) vuodelle 2035 yhteistyössä sidosryhmien kanssa. Muutokset huomioitiin mallinnuksessa kaivosteollisuuden toimintaa kuvaavassa ENVIMAT-scen-mallin kaivossatelliitissa, jossa tarkennettiin kaivosteollisuuden tarjontaa, energiankulutusta ja muuta välituotekäyttöä. Kiertotaloustoimenpiteinä huomioitiin

mahdollinen kaivannaisjätteiden hyötykäytön lisääntyminen muilla toimialoilla kuten maa- ja vesirakentamisessa (sivukivet) ja rakennustuoteteollisuudessa (esim. rikastushiekkojen käyttö betonin valmistuksessa) sekä työkoneiden sähköistäminen. Mallinnuksessa tarkasteltiin yksinomaan kaivosten ulkopuolella tapahtuvaa kaivannaisjätteiden hyödyntämistä, sillä vain näillä virroilla on vaikutusta mallinnuksen pohjana käytettäviin rahavirtoihin. Tässä esitetyissä lukuarvoissa ei ole siten huomioitu kaivosten sisäistä materiaalien kiertoa, joka joillakin kaivoksilla saattaa olla huomattavan suurta. Lähtötietoina kaivosalueiden ulkopuoliselle käytölle vuonna 2015 käytettiin TUKES:n hyötykäyttöaineistoa.

Sivukiven käyttö maa- ja vesirakentamisessa kaivosalueiden ulkopuolella

- Perusskenaario: sivukiven hyödyntäminen nousee 80 % (0,5 milj. tonniin)
- Kiertotalousskenaario: sivukiven hyödyntäminen nousee 260 % (1 milj. tonniin).
- Hiilineutraalisuusskenaario: sivukiven hyödyntäminen nousee 617 % (2 milj. tonniin).

Rikastushiekat betonin raaka-aineena rakennustuoteteollisuudessa

- Perusskenaario: rikastushiekan hyödyntäminen nousee 0,250 milj. tonniin (muutosprosenttia ei voida arvioida, sillä v. 2015 hyödyntämistä ei vielä ollut).
- Kiertotalousskenaario: rikastushiekan hyödyntäminen nousee 0,5 milj. tonniin.
- Hiilineutraalisuusskenaario: rikastushiekan hyödyntäminen nousee 1 milj. tonniin.

Työkoneiden sähköistäminen

- Perusskenaario: oletetaan vain yleinen sähköistymisen tehostuminen.
- Kiertotalousskenaario: oletetaan 75 % sähköistäminen.
- Hiilineutraalisuusskenaario: oletetaan täysi sähköistäminen.

Metallien jalostus

Suomen teollisuudessa suurin hiilidioksidipäästöjen vähentämispotentiaali on metallien jalostuksessa. Lisäksi toimiala on merkittävä raaka-aineiden käyttäjä. Metallien jalostuksessa on menossa suuri muutos, kun fossiilisen hiiliteräksen jalostuksesta ollaan luopumassa ja terästeollisuus on ilmoittanut mittavista investoinneista, joilla fossiiliset raaka-aineet korvataan uusiutuvilla ja lisätään kierrätetyn raaka-aineen käyttöä. Lisäksi on mahdollista, että terästeollisuuteen tulisi uusia toimijoita nykyisten lisäksi.

Metallien jalostukseen liittyvinä kiertotaloustoimenpiteinä mallinnettiin fossiilisten raaka-aineiden (koksi/kivihiili) korvaaminen raudan pelkistyksessä mukaan lukien tarvittava ei-fossiilinen hiili, fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla ja kierrätysmetallien kasvava hyödyntäminen raaka-aineena.

Fossiilisten raaka-aineiden (koksi/kivihiili) korvaaminen pelkistyksessä

- Perusskenaariossa 0 % fossiilista koksia/kivihiiltä, jota tarvitaan pelkistykseen, poistuu materiaalivirroista.
- Kiertotalousskenaariossa 90 % fossiilista koksia/kivihiiltä pelkistimenä poistuu. Samalla biohiiltä tarvitaan lisää (noin 360 000 t) korvaamaan fossiilista hiiltä. Uusiutuvalla energialla tuotettua vetyä ei tarvita tässä skenaariossa.
- Hiilineutraalisuusskenaariossa 90 % fossiilista koksia/kivihiiltä pelkistimenä poistuu. Uusina materiaaleina pelkistyksessä käytetään vetyä, myös biohiilen ja rautamalmipellettien tarve lisääntyy. Mallinnuksessa käytettiin oletuksena Inkoon tehtaan YVA-ohjelman tietoihin (Blastr Green Steel Oy, 2023) perustuen biohiilen määränä 360 000 t, rautamalmipellettien tarpeena 3 000 000 t ja vedyn käyttönä 4 TWh.

Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen

Metalliteollisuuden tavoitteena on käyttää mahdollisimman paljon uusiutuvaa energiaa. Myös raaka-aineiden, kuten pelkistämiseen käytetyn vedyn tuottamiseen tarvitaan uusiutuvista lähteistä tuotettua vähäpäästöistä sähköä.

- Perusskenaariossa oletetaan nykytilanne.
- Kiertotalousskenaariossa koksikaasun käyttö vähenee 90 %, masuunikaasu poistuu kokonaan, ja sähkön käyttö kasvaa 60 %.

- Hiilineutraalisuusskenaariossa koksikaasun käyttö vähenee 90 %, masuunikaasu poistuu kokonaan, sähkön käyttö kolminkertaistuu (Inkoon tehtaan tarve vedyn tuotantoon).

Kierrätysmetallien hyödyntäminen

Kiertotalouden tavoitteena metallien jalostuksessa on kierrätysteräksen osuuden lisääminen. Fossiilivapaaseen teräksenvalmistukseen siirtyminen tulee vaikuttamaan kierrätysteräksen tarpeeseen ja markkinoihin. Kaikessa metallinjalostuksessa kierrätysraaka-aineen osuus kasvaa.

- Perusskenaariossa kierrätysmetallien hyödyntäminen jatkuu nykytrendin mukaisesti.
- Kiertotalousskenaariossa kierrätysteräksen tarve metallien jalostuksessa kasvaa 12 %.
- Hiilineutraalisuusskenaariossa kierrätysteräksen tarve metallien jalostuksessa kasvaa 45 %.

Sivuvirtojen hyödyntäminen

Metallien jalostuksen sivuvirtojen avulla korvataan sementin, kalkin ja kipsin valmistuksen toimialalla tuoteryhmien kalkkikivi ja kipsikivi sekä sementti, kalkki ja kipsi käytöstä

- Perusskenaariossa 21 %;
- Kiertotalousskenaariossa 31 %;
- Hiilineutraalisuusskenaariossa 45 %.

Prosessimuutosten myötä osa perusskenaarion sivuvirroista poistuu, ja kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa sivuvirrat ovat laadullisesti osin erilaisia verrattuna perusskenaarioon.

Metsäteollisuus

Kiertotalous on jo nykyisellään tärkeä ja integroitu osa metsäteollisuuden arvoketjuja. Uudet kiertotaloustoimet kohdistuvat raaka-aine- ja sivutuotevirtojen ohjaamiseen korkeamman arvonlisän tuotteiden valmistukseen, jolloin voidaan saavuttaa merkittävää lisäarvoa lisäämättä hakkuita. Uusilla biotuotteilla voidaan

korvata myös fossiilisiin raaka-aineisiin perustuvia tuotteita. Metsäteollisuuden sivuvirrat, kuten ligniini ja mäntyöljy, ovat myös kemianteollisuuden kiertotalouden mahdollistajia.

VTT:n tutkijat laativat skenaariotyössä asiantuntija-arvion metsäteollisuuden toiminnasta vuodelle 2035. Muutokset huomioitiin mallinnuksessa metsäteollisuuden toimintaa kuvaavassa ENVIMATscen-mallin osiossa (metsäteollisuussatelliitissa), jossa tarkennettiin toimialan tarjontaa, energiankulutusta ja muuta välituotekäyttöä. Nykytilanteeseen verrattuna kartongin ja vientimassan osuudet tuotannossa kasvavat, ja paperin osuus pienenee. Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa metsäteollisuuden tuotepalettiin tulee uutena tuotteena tekstiilikuidut. Lisäksi huomioitiin edellä mainitut metsäteollisuuden sivuvirtojen hyötykäytön lisäämisen arvioidut vaikutukset muiden toimialojen välituotekäytössä (kemianteollisuus, tekstiiliteollisuus).

Materiaalitehokkuuden parantaminen ja sivuvirtojen hyödyntäminen tuotteiden valmistuksessa – kuoren, ligniinin ja hemiselluloosan tarjonnan muutokset

- Perusskenaariossa oletetaan nykytilanne.
- Kiertotalousskenaariossa lisätään kuoren hyödyntämistä 200 000 t ja ligniinin hyödyntämistä 50 000 t muiden tuotteiden raaka-aineena (määrä vähennetään energiakäytöstä).
- Hiilineutraalisuusskenaariossa lisätään kuoren 200 000 t, ligniinin 200 000 t ja hemiselluloosan 100 000 t hyödyntämistä muiden tuotteiden raaka-aineena (määrä vähennetään energiakäytöstä).

Kemianteollisuus

Samoin kuin metsäteollisuudessa, myös kemianteollisuudessa kiertotalous on jo integroitu osaksi arvoketjuja. Kemianteollisuudessa on käynnissä yksi suurimmista teknologiamurroksista, kun vuoteen 2035 mennessä irtaudutaan pitkälti fossiilisten raaka-aineiden käytöstä ja korvataan niitä biopohjaisilla, kierrätys- ja päästöttömään energiaan perustuvilla synteettisillä tuotteilla. Tältä osin kemianteollisuuden teknologiamurros vastaa mittasuhteiltaan metallien jalostuksessa käynnissä olevaa muutosta.

Skenaariotyön toimenpidekokonaisuuksien pohjalta laadittiin asiantuntija-arviot kemianteollisuuden toiminnasta vuodelle 2035. Skenaariotyön haasteena kemianteollisuuden osalta on sen laaja-alaisuus, joten kaikkia kemianteollisuuden prosesseja ja tuotteita oli mahdotonta tarkastella tämän työn puitteissa. Kiertotaloustoimenpiteinä mallinnettiin lähinnä fossiilisten raaka-aineiden korvaamista biopohjaisilla ratkaisuilla sekä muovien kierrätystä. Esimerkiksi edellä esitetyt metsäteollisuuden välituotteet, ligniini ja hemiselluloosa, ovat syötteinä kemianteollisuuden prosesseille. Kemianteollisuuden sivutuotteet ja erilaiset jätteet ovat myös enenemässä määrin kemianteollisuuden tuotteiden ja polttoaineiden raaka-aineita. Lisäksi epäorgaanisten sivutuotteiden, kuten tuhkien sekä malmi- ja metallinjalostuksen sakkujen, hyödyntäminen kasvaa. Mallinnuksessa huomioitiin muutoksia kemianteollisuuden (ja toimenpiteisiin kytköksissä olevien muiden toimialojen) tarjonnassa, välituotekäytössä sekä energiankäytössä, mukaan lukien sähköistyminen ja puhtaan vedyn käytön lisääntyminen. Hiilineutraalisuusskenaariossa visioitua fossiilisen öljynjalostuksen loppumista Suomessa ja korvautumista uusiutuviin sekä kierrätysraaka-aineisiin perustuvaan jalostukseen ei pystytty sisällyttämään mallinnukseen vähäisten lähtötietojen vuoksi. Biopolttoaineiden tuotannon osuus kuitenkin nousee hiilineutraalisuusskenaariossa jakeluvuorituksen noustessa arviossa 30 prosentista 34 prosenttiin.

Fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen biopohjaisilla ratkaisuilla

- Perusskenaariossa oletetaan nykytilanne.
- Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa tuotetaan kuoresta hienokemikaaleja ja biohiiltä sekä ligniinistä puuliimojen fenolin korvaajaa ja betonin juoksutinta.

Muovien kierrätys: lisääntyvä kierrätys vähentää sekajätteenä polttoon menevän muovijätteen määrää. Samalla jätteenpolton päästökerroin pienenee. Uusioraaka-aine korvaa muoviteollisuudessa ensiömuovia.

- Perusskenaariossa oletetaan kierrätysmuovia olevan 157 000 t, poltettavan jätteen määrä on 1,192 Mt.
- Kiertotalousskenaariossa kierrätysmuovia on 182 000 t, poltettavan jätteen määrä on 1,148 Mt.
- Hiilineutraalisuusskenaariossa kierrätysmuovia on 198 000 t, poltettavan jätteen määrä on 1,121 Mt.

Puhtaan vedyn käyttö on

- perusskenaariossa 1 TWh;
- kiertotalousskenaariossa 5 TWh;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 6 TWh.

Teknologiateollisuus

Teknologiateollisuus ry:n kiertotalousohjelmaa (2021) huomioitiin osaltaan tämän muutosalueen arviointien taustana. Teknologiateollisuuden osalta kiertotaloustoimenpiteenä huomioitiin lisämateriaalitehostuminen.

Lisämateriaalitehostuminen teknologiateollisuudessa

- Perusskenaariossa oletetaan niin sanottu autonominen, ilman erillisiä kustannuksia tapahtuva 0,5 % vuosittainen materiaalitehostuminen teollisuudessa.
- Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa oletetaan teknologiateollisuudessa toteutuvaksi 10 % materiaalitehostuminen yhden vuoden takaisinmaksuajalla.

Tekstiiliteollisuus

Metsäteollisuuden tarjoaman tekstiili- ja kierrätyskuidun jalostaminen

- Perusskenaariossa oletetaan nykytilanne.
- Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa oletetaan, että tekstiiliteollisuudessa jalostetaan 40 000 t metsäteollisuuden tekstiilikuituja ja 150 000 t kierrätyskuituja.

2.4.3 Kestävä kulutus ja liiketoiminta

Luonnonvarojen kulutusta pyritään vähentämään lisäämällä kiertotaloustuotteita ja kiertotalouspalveluita markkinoilla sekä kehittämällä uusien tavaratuotteiden sijasta kiertotalouden palveluja kuluttajille. Tätä tarkoitusta edistäviä toimenpiteitä ovat esimerkiksi vuokraus-, leasing-, huolto- ja korjauspalveluiden edistäminen sekä kiertotaloustuotteiden ja -palveluiden saatavuuden, esillepanon ja markkinoinnin kehittäminen, uusien toimintamallien pilotointi ja arvoketjujen yhteistyön lisääminen. Myös käytettyjen tuotteiden tai osien myynti, materiaalien ja tuotteiden takaisinotto sekä jakamistalouden edistäminen vähentävät neitseellisten luonnonvarojen tarvetta.

Skenaariotyössä arvioitiin kotitalouksien kulutuksessa tapahtuvia potentiaalisia muutoksia ja vaikutuksia, kun tietyissä kulutushyödykeryhmissä pidennetään tavaroiden käyttöikää, lisätään niiden uudelleenkäyttöä tai alustojen kautta tapahtuvaa jakamistaloutta (vuokraus- ja leasingtoimintaa). Tällöin oletetaan, että kotitalouksien käyttämiä euroja eli kulutusta kohdistuu tavaroiden sijasta tietyille palveluomaloille. Lisätietoja muutosalueen ja toimenpiteiden taustoista on esitetty liitteessä 5.

Mallinnus jaettiin kolmeen eri toimenpiteeseen. Ensimmäisessä tapauksessa oletettiin, että **käyttöiän pidentämisen kautta tiettyjen kulutushyödykkeiden osalta kulutus vähenee**

- perusskenaariossa 5 %,
- kiertotalousskenaariossa 20 % ja
- hiilineutraalisuusskenaariossa 30 %.

Kulutuksen vähentymisen myötä säästetyt eurot ohjataan vaatteiden huolto- ja korjauspalveluihin (jotka pidentävät käyttöikää) sekä yleiseen kuluttamiseen siten, että tavaroiden kulutuksessa aiheutuva muutos kohdistuu korjaus- ja huoltopalveluihin 70 % osuudella ja keskimääräisen kulutuskäyttämisen mukaiseen kulutukseen 30 % osuudella.

Toisessa tapauksessa tarkasteltiin kulutuselektronikan ja viestintävälineiden uudelleenkäytön lisääntymistä ja kulutuksen ohjautumista tehdastasoihin huoltopalveluihin eli laite kiertää huolettavana alalla toimivan yrityksen kautta. Tällöin oletettiin, että **tehdashuollettujen, käytettyjen matkapuhelimien ja tietokoneiden ostot lisääntyvät**

- perusskenaariossa 5 %,
- kiertotalousskenaariossa 10 %, ja
- hiilineutraalisuusskenaariossa 20 %.

Uusien laitteiden ostot vähenevät vastaavien prosenttiosuuksien verran ja säästetyt eurot kulutetaan tehdastasoihin huoltopalveluihin kuten Fonum tai Swappie.

Kolmannessa tapauksessa mallinnettiin **erilaisten alustojen kautta tapahtuvaa jakamiskäytön lisääntymistä tietyissä kestokulutustavaroissa, tarvikkeissa ja laitteissa**. Edellä mainituissa hyödykeryhmissä kulutus vähenee

- perusskenaariossa 5 %,
- kiertotalousskenaariossa 10 %, ja
- hiilineutraalisuusskenaariossa 20 %.

Säästyneet eurot ohjautuvat vuokraus- ja leasingpalveluiden kuluttamiseen.

2.4.4 Materiaalitehokas energiajärjestelmä

Energiajärjestelmän kehitys kytkeytyy kaikkiin muihin muutosalueisiin, koska fossiilisista raaka-aineista irtautuminen vaatii puhdasta energiaa ja uusia energiantantajia, kuten vetyä, jota käytetään syötteenä teollisuuden prosesseissa. Puhdas energiajärjestelmä toimii siten mahdollistajana muiden muutosalueiden kiertotaloustoimille. Toisaalta energiajärjestelmän tulisi toimia paitsi energia- myös materiaalitehokkaasti siten, että polttoon perustumattoman energiantuotannon osuus kasvaa, hukkalämmöt hyödynnetään ja siirrytään kohti joustavaa ja tehokasta energiajärjestelmää kasvavan sektori-integraation myötä.

Tämän muutosalueen mallinnus keskittyy energiajärjestelmään liittyviin toimenpidealueisiin. Teollisuuden ja yhdyskuntien energian kysyntä vuodelle 2035 muodostuu ENVIMATscen-mallin ratkaisuna, mutta skenaarioihin on sisällytetty vaihtoehtoisia polkuja esimerkiksi sähköistymisestä ja vetytaloudesta, joilla on suuri merkitys energian kysyntään. Arviot energiajärjestelmien kehityksistä perustuvat tutkimuslaitosten analyyseihin sekä julkisiin lähteisiin liittyen investointeihin ja vanhan kapasiteetin poistumiin (ks. liite 6). Energiakysymykset ovat poikkileikkaavat ja siten osana myös muissa muutosalueissa sekä niiden mallinnoissa.

Tutkimuskonsortion tutkijat laativat yhdessä asiantuntija-arvion energian tuotannosta ja käytöstä vuodelle 2035 sekä edellä mainittujen toimenpidekokonaisuuksien muutosten vaikutuksia eri toimialojen panos- ja väliotuote-käytössä. Huomioitavaa on, että jo perusskenaariossa tapahtuu suuria muutoksia energian tuotannossa ja kulutuksessa. Sähkön tuotannossa kasvaa erityisesti tuulivoiman osuus. Lämmöntuotannossa hyödynnetään yhä enemmän lämpöpumpuja ja hukkalämpöjä. Energiantuotannossa on luovuttu kivihillen käytöstä ennen vuotta 2030 ja turpeen käyttö on marginaalista. Ydinvoimaloista vuonna 2035 oletetaan olevan käynnissä kaikki nykyiset viisi voimalaa, ja uusia ydinvoimainvestointeja ei oleteta toteutuvan 2035 mennessä. Tieliikenteen osalta oletetaan yleisen jakeluvuorituksen mukainen 30 % nestemäisten biopolttoaineiden osuus, joka nousee edelleen 34 prosenttiin hiilineutraalisuusskenaariossa. Lisäksi perusskenaariossa huomioidaan tieliikenteen energialähdejakauman muutos (Syken ajoneuvokantamallin WAM-skenaariota mukaisesti) vuonna 2035 (mm. sähköautojen osuuden merkittävä kasvu), maakaasun käytön puolittaminen teollisuudessa sekä teollisuusprosessien yleistä sähköistämistä.

Kiertotaloustoimenpiteinä arvioitiin ja mallinnettiin eri skenaarioissa hukkalämpöjen ja lämpövarastojen hyödyntämistä, bioenergian käytön tehostamista energiantuotannossa, polttoon perustumattoman tuotannon edistämistä sekä vedyn tuotantoa. Alla esitettyjen kiertotaloustoimenpiteiden lähtöoletukset perustuvat asiantuntija-arvioihin sekä hankkeen aikana käytyihin sidosryhmäkeskusteluihin mahdollisista suuruusluokista. Taustalla ei siten ole systemaattista ja integroitua energiajärjestelmämallinnusta, jossa olisi pystytty tarkemmin huomioimaan kaikkien energiankäyttösektoreiden kehitykset tai energiahyödykkeiden kauppa, ml. energiainvestoinnit Suomen rajojen ulkopuolella. Kannattaa myös huomata, että missään skenaariossa ei oletettu, että Suomi toimisi merkittävänä sähkön tai vedyn viejämaana, vaan skenaariossa oletettiin, että esimerkiksi uusiutuvilla energialähteillä tuotettu vety jatkojalostetaan kotimaassa korkeamman arvionlisän tuotteiksi kiertotaloustavoitteiden mukaisesti. Tältä osin mallinnukset eivät siten heijasta pääministeri Petteri Orpon hallitusohjelmaa ja sen tavoitteita (Valtioneuvosto, 2023).

Hyödynnetään hukkaenergiat ja energiavarastot primäärisen energiantuotantotarpeen vähentämiseksi; hukkalämmön ja lämpövarastojen hyödyntäminen

- perusskenaariossa 8 TWh;
- kiertotalousskenaariossa 10 TWh;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 15 TWh.

Hukkalämpöjä tarjoavat mallinnuksessa datakeskukset, kauppa, muut palvelut ja teollisuus.

Tehostetaan energiantuotannossa bioenergian käyttöä ja vähennetään materiaalikelpoisen puun käyttöä: sähkökattiloiden osuus kaukolämpölaitoksissa lisääntyy

- perusskenaariossa 2 %;
- kiertotalousskenaariossa 5 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 10 %.

Lisäksi metsäteollisuudessa tapahtuvat muutokset, kuten mustalipeän ja kuoren jatkojalostus (s. 49–50), vähentävät puun energiakäyttöä.

Lisätään polttoon perustumatonta energiantuotantoa; aurinko- ja tuulivoiman tuotanto

- perusskenaariossa yhteensä 32 TWh;
- kiertotalousskenaariossa yhteensä 42 TWh;
- hiilineutraalisuusskenaariossa yhteensä 54 TWh.

Vedyn tuotanto

- perusskenaariossa 1 TWh;
- kiertotalousskenaariossa 5 TWh;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 10 TWh, josta 4 TWh metallien jalostuksen toimialalla.

Kuten edellä esitettiin, mallinnuksessa oletettiin, että Suomi ei ole vedyn viejä, vaan 'kiertotaloushengessä' resursseja käytetään tehokkaasti kotimaisessa tuotannossa.

2.4.5 Uudistava ruokajärjestelmä

Resurssiviisas ja uudistava ruokajärjestelmä on tärkeä osa kiertotaloutta niin biologisten kuin teknistenkin materiaali-kiertojen näkökulmasta. Raaka-aineiden hävikki ja käyttö pyritään minimoimaan ja ruokajärjestelmän sivuvirtojen hyödyntämistä parantamaan kaikissa ruoantuotannon vaiheissa. Ekosysteemejä elvyttävien ja ylläpitävien viljelytapojen lisäämisellä tavoitellaan hyvän ja laadukkaan sadon lisäksi maaperän kasvukunnon paranemista, hiilen ja ravinteiden kiertoa ja häviöiden pienentämistä, neitseellisten lannoitteiden käytön vähentämistä sekä maan hiilivaraston kasvua.

Kiertotaloustoimenpiteinä arvioitiin ja mallinnettiin maaperän hiilensidonnan lisäämistä, ravinteiden ja sivuvirtojen kierrätyksen myötä tapahtuvaa fossiilisten lannoitteiden käytön vähentymistä, kasvis- ja kalapainotteisempaan ruokajärjestelmään siirtymistä, ruokahävikin pienentymistä sekä muovin käytön vähentymistä ruoka- ja juomapakkauksissa. Toimenpiteillä pyritään vähentämään maataloustuotannon ja etenkin kotieläintalouden merkittäviä kielteisiä ilmasto- ja vesistövaikutuksia, joiden vähentäminen monin politiikkaohjauksen keinoin on ollut vaikeaa (Hyvönen ym., 2020)

Lisätään maaperän hiilensidontaa ja vähennetään turvemaiden päästöjä

Kivennäismaaperän hiilensidonnan tavoitteiden taustalla on hyödynnetty viimeaikaista tutkimuskirjallisuutta (Tao ym., 2023). Turvemaiden hiilen pidättämisen osalta vähentämismahdollisuuksien arvioinnissa on käytetty lähteinä Miettinen ym., 2022; Räsänen ym., 2023; Lehtonen, 2022. Lisätietoja on esitetty liitteessä 7.

- Perusskenaariossa tavoitteena on, että CO₂-päästöt vähenevät vuonna 2035 vuoteen 2015 verrattuna. Hiilen sidonta maatalouden kivennäismaihin lisääntyy siten, että kivennäismaat, joita on maatalousmaista noin 90 % eli 2 milj. ha, muuttuvat hiilen lähteestä pieneksi hiilen nieluksi. Tavoitteena perusskenaariossa on, että kivennäismaiden CO₂-päästö olisi nettomääräisesti nolla. Tämä saavutetaan monipuolistamalla viljelykiertoja muun muassa palkokasvien ja öljykasvien viljelyä sekä viherlannoitusnurmia ja monimuotoisuusnurmia maltillisesti lisäämällä. Nämä lisäävät kivennäismaiden hiilisyötettä noin 5 % vuosina 2015–2035.

- Kiertotalousskenaariossa tavoiteltava hiilen nielu on noin 0,4 Mt CO₂-ekv. vuodessa eli nettomääräisesti 54 kg C/ha lisää hiiltä kivennäismaihin vuodessa. Tähän päästään biokaasu- ja monimuotoisuusnurmiin, viherlannoitus- ja monimuotoisuusnurmiin sekä palko- ja öljykasvien lisäämisellä viljelykiertoihin sekä satotasojen maltillisen nousun ansiosta. Kivennäismaiden hiilisyöte kasvaa noin 10 % vuosina 2015–2035. Lisäksi turvemaiden tavoitellaan suorien CO₂-päästöjen vähennystä noin 1,5 Mt CO₂ verran, kun pyritään säilyttämään turvekerrosta aiempaa paremmin esim. vettämällä heikkotuottoisia turvemaita, missä se on mahdollista.
- Hiilineutraalisuusskenaariossa tavoiteltava hiilen nielu noin 0,95 Mt CO₂-ekv. eli nettomääräisesti 130 kilogrammaa hiiltä per hehtaari (kg C/ha) lisää hiiltä kivennäismaihin vuodessa vuoteen 2035 mennessä. Tähän päästään biokaasu- ja monimuotoisuusnurmiin, viherlannoitus- ja monimuotoisuusnurmiin laajamittaisella käytöllä koko maassa, sekä palko- ja öljykasvien lisäämisellä viljelykiertoihin sekä satotasojen nousun ansiosta. Kivennäismaiden hiilisyöte kasvaa noin 20 % vuosina 2015–2035, jolloin kivennäismaalajia olevien peltojen hiilen nielu kasvaa lähes tasolle 1 Mt CO₂-ekv/v. Näin saatu hiilinielu voi pitkällä aikavälillä vähentyä maan hiilipitoisuuden kasvaessa ja ilmaston lämmitessä. Vahvoja toimia tarvitaan turvepeltojen hiilien pidättämiseen, koska tavoite suorien CO₂-päästöjen vähentämiseksi on noin 1,8 Mt CO₂-ekv./v. Turvepelloilla pidätetty hiili jää pysyväksi hiilivarastoksi, mikäli hiilenpidätystoimia, kuten turvemaiden vettämistä ilmastokosteikoiksi tai kosteikkoviljelyyn, vedenpinnan nostoa säätösalaajituksen avulla (jolloin pelto soveltuu edelleen rehujen ja ruoan tuotantoon vähentämällä yksivuotisten kasvien viljelyä turvemaiden, ylläpidetään.

ENVIMATscen-mallinnuksessa LULUCF-sektorin viljelysmaan ja ruohikkoalueiden päästöiksi vuonna 2035 arvioitiin

- perusskenaariossa yhteensä 8,0 Mt CO₂-ekv.;
- kiertotalousskenaariossa yhteensä 6,9 Mt CO₂-ekv.;
- hiilineutraalisuusskenaariossa yhteensä 4,5 Mt CO₂-ekv.

Päästöjen arvioinnissa huomioitiin edellä mainitut maaperän hiilensidonnin ja turvemaiden päästöjen vähennystavoitteet ja lisäksi maankäytön muutosten hiilitseminen, joka pienentää metsäkatoa. Tämän vaikutukseksi arvioitiin perusskenaariossa ja kiertotalousskenaariossa MISUn mukaisesti 0,5 Mt CO₂-ekv. ja hiilineutraalisuusskenaariossa lisätoimet huomioiden 2 Mt CO₂-ekv.

Lisätään ravinteiden kierrätystä ja sivuvirtojen hyödyntämistä / vähennetään fossiilisten lannoitteiden käyttöä alkutuotannossa

Nyky/lähtötilanne: Väkilannoitetyypeä käytettiin 143 Mkg vuonna 2022. Lannassa tyyppä on yhteensä 100 Mkg, josta osa haihtuu ja osa huuhtoutuu vesiin. Fosforilannoitus oli noin 23 Mkg vuonna 2022, josta ns. neitseellistä fosforia 11,3 Mkg. Ravinteiden kierrätystä ja sivuvirtojen hyödyntämistä lisäämällä voidaan vähentää fossiilisella energialla tuotettujen typpilannoitteiden ja maaperästä louhitun neitseellisen fosforin käyttöä.

Mallinnuksessa fossiilisten lannoitteiden käyttömäärät vähenevät

- perusskenaariossa 5 %;
- kiertotalousskenaariossa 25 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 29 % lähtötilanteesta.

ENVIMATscen-mallinnuksessa lisättiin biokaasun tuotantoa ja kierrätysravinteiden tarjontaa, sekä vähennettiin maatalouden fossiilisperäisten mineraalilannoitteiden ostoja. Panos/välituotekäyttö muuttui näiden muutosten myötä. Mallinnuksen taustalla olevien tavoitteiden arviointia kuvataan tarkemmin liitteessä 8.

Edistetään kasvis- ja kalapainotteisempaa ruokajärjestelmää

Ruokavaliomuutos vaikuttaa välillisesti ruoantuotannossa käytettäviin materiaali-
virtoihin ja tuotettaviin päästöihin.

- Perusskenaariossa Suomessa syödään keskimäärin 470 grammaa (g) punaista lihaa henkilöä kohden viikossa vuonna 2035.
- Kiertotalousskenaariossa Suomessa syödään keskimäärin 315 g punaista lihaa henkilöä kohden viikossa v. 2035 (-33 % vuosina 2020–2035) ja 20 % vähemmän maitotuotteita. Lisätään kasvisproteiinien ja kalan käyttöä ruoaksi.
- Hiilineutraalisuusskenaariossa Suomessa syödään keskimäärin 315 g punaista lihaa henkilöä kohden viikossa v. 2035 (-33 % vuosina 2020–2035) ja 20 % vähemmän maitotuotteita ja lisäksi 33 % vähemmän siipikarjanlihaa. Lisätään voimakkaasti kasvisproteiinien ja osin kalan käyttöä ruoaksi.

ENVIMATscen-mallinnuksessa huomioitiin ruokavaliomuutos suuntaamalla kotitalouksien kulutuksessa elintarvikkeiden ostoja liha- ja maitotuotteista kasvis- tuotteisiin skenaarioiden oletusten mukaisesti. Eläinperäisiä tuotteita korvattiin mallinnuksessa yleisesti kasvituotteilla, sillä mallin rakenne ei mahdollistanut kohdentamista nimenomaan kasvisproteiinien ja kalan käytön lisäämiseen. Lisäksi huomioitiin ravitsemistoimintaa harjoittavien toimialojen välituotekäytössä tapahtuvia muutoksia.

Kaupan, elintarviketeollisuuden, ravitsemispalveluiden ja kotitalouksien ruokahävikin vähentäminen

Ruokahävikin arvo on vähittäiskaupassa 1,5 % myytyjen ruokatuotteiden arvosta, elintarviketeollisuudessa 3 % valmistetusta ruuasta ja ravitsemuspalveluissa 20 % valmistetusta ruuasta (Riipi, ym. 2021). Kotitalouksien ruokahävikin arvoksi oletetaan 3,6 % kotitalouksien ruokaan käyttämästä rahamäärästä (Päivittäistavara-kauppa ry, 2022).

Mallinnuksessa oletettiin, että ruokahävikki vähenee

- perusskenaariossa 40 %;
- kiertotalousskenaariossa ja hiilineutraalisuusskenaariossa 60 %.

Ruokahävikin pienentyessä säästyvällä euromäärällä vähennettiin toimialojen elintarvikkeiden välituotekäyttöä sekä kotitalouksien elintarvikkeiden ostoja.

Muovin käytön vähentäminen juoma- ja ruokapakkauksissa

- perusskenaariossa 5 %;
- kiertotalousskenaariossa ja hiilineutraalisuusskenaariossa juomapakkauksissa 20 % ja ruokapakkauksissa 10 %.

2.5 Skenaarioiden yhteenvedot ja yleiset taustaoletukset

2.5.1 Perusskenaario

- **Talouden kasvu** pohjautuu Valtiovarainministeriön pitkän ajan kasvuarvioon (Valtiovarainministeriö, 2022). Keskimääräiseksi bruttokansantuotteen kasvuksi skenaarion lähtövuodesta 2015 vuoteen 2035 muodostuu 1,3 % vuodessa. Perusskenaarion haluttu kasvu-ura on tuotettu mallissa säätämällä viennin kasvua muiden skenaarioparametrien asettamisen jälkeen. Eri toimialojen kasvu-urien ennusteet perustuvat viime vuosien kehitykseen ja asiantuntija-arvioihin. Julkisen talouden oletetaan säilyvän alijäämäisenä Valtiovarainministeriön pitkän aikavälin kestävyyslaskelman (Valtiovarainministeriö, 2023) mukaisesti. Julkisen talouden nettoluotonotto vuonna 2035 on noin neljä prosenttia suhteessa bruttokansantuotteeseen.
- **Väestökehitys** noudattaa Tilastokeskuksen vuoden 2019 väestöennustetta (Suomen virallinen tilasto, 2023). Väkiluku on vuonna 2035 hyvin lähellä vuoden 2015 tasoa. Väestöennusteen sisältämä nettomaahanmuutto on 15 tuhatta henkilöä vuodessa. Työkäinen väestö supistuu noin neljä prosenttia väestön ikääntymisen vuoksi. Työvoimaosuuksiin oletetaan kuitenkin hienoista kasvua, jonka myötä työvoiman määrä ei supistu. Työllisyyden oletetaan kehittyvän siten, että vuonna 2035 toteutuu 6,4 % tasapainotyöttömyysaste (Valtiovarainministeriö, 2022).
- **Tärkeimpien fossiilisten polttoaineiden** (raakaöljy, maakaasu, kivihiili) sekä päästöoikeuden hintakehitysten osalta hyödynnetään Euroopan komission (2022) suosituksia käytettävistä oletuksista. Näitä on käytetty aiemmin muun muassa ilmasto- ja energiapolitiikan vaikutuksia arvioineen HIISI-hankkeen¹¹ skenaarioiden taustaoletuksina.
- **Sähkön ja lämmön tuotannossa** vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman sekä lämpöpumppujen tuotantomäärät ovat lähellä energia-alan vähähiilisyystiekartan (AFRY, 2020a) mukaista vähähiiliskenaariota, samoin lämmön ja sähkön yhteistuotanto (CHP)- ja kaukolämpölaitosten polttoainejakaumat. Erityisesti tuulivoima kasvaa merkittävästi. Vuoteen 2035 mennessä on luovuttu kivihiilen käytöstä, ja turpeen käyttö on marginaalista. Ydinvoimaloista vuonna 2035 oletetaan olevan käynnissä kaikki nykyiset viisi voimalaa.

11 <https://www.hiisi2035.fi/> ja Koljonen ym., 2021.

- **Liikenteen** osalta oletetaan yleisen jakeluvelvoitteen mukainen 30 % biopolttoaineiden osuus vuonna 2035. Ajoneuvojen liikennepolttoaineiden ominaiskulutus supistuu noin prosentin vuosivauhtia. Energialähteistä biokaasun ja erityisesti sähkön osuus kasvaa.
- **Rakennusten lämmityksessä** merkittävimmät muutokset koskevat energialähdejakaumaa ja rakennusten lämmityksen ominaiskulutusta. Merkittävää on erityisesti lämpöpumppujen osuuden kasvu.
- **Energia- ja materiaalitehostuminen.** Mallissa oletetaan yleinen 0,5 % tehostuminen vuodessa sähkön ja teollisuushöyryn käytössä. Vastaavasti materiaalien käytön osalta oletetaan yleinen 0,5 % vuosittainen materiaalitehostuminen.
- Maankäyttösektorissa päästöt vähenevät maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (MISU:n) (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022) toimenpiteiden mukaisesti.

Perusskenaario sisältää seuraavia kiertotaloustoimenpiteitä:

- olemassa olevan rakennuskannan käytön tehostaminen (rakennusten pitoajan pidentäminen, korjausrakentamisen osuuden kasvu), kierrätysmateriaalien käytön lisääminen rakentamisessa, rakennusosien uudelleenkäyttö, ylijäämämassojen ja sivu- ja jätevirtojen käyttö maarakentamisessa;
- kaivannaisjätteiden hyötykäyttö, metallien jalostuksen sivuvirtojen hyödyntäminen, muovien kierrätys;
- puhtaan vedyn tuotanto, hukkalämpöjen hyödyntäminen;
- tavaroiden käyttöajan pidentyminen, uudelleenkäytön lisääntyminen ja jakamistalouden kasvaminen;
- lannoitteiden käytön väheneminen, ruokahävikin vähentäminen ja muovin käytön vähentäminen pakkauksissa.

2.5.2 Kiertotalousskenaario

Kiertotalousskenaario sisältää edellä mainitut perusskenaarion kiertotaloustoimenpiteet voimistuneena. Lisäksi kiertotalousskenaariossa tulee mukaan uusia toimenpiteitä:

- metallien jalostuksessa siirrytään fossiilivapaan teräksen tuotantoon;
- metsäteollisuudessa ligniinin talteenotto sellunkeitossa ja hyödyntäminen kemianteollisuuden raaka-aineena, kuoren hyödyntäminen raaka-aineena, metsäteollisuus tarjoaa myös tekstiilikuitua;
- tekstiiliteollisuudessa jalostetaan kierrätyskuitua sekä metsäteollisuuden tarjoamaa tekstiilikuitua;
- teknologiateollisuudessa tehdään yleisemmin investointeja, jotka parantavat materiaalitehokkuutta;
- vedyn tuotanto ja hukkalämpöjen hyödyntäminen kasvaa, sähkökattiloiden osuus lämmöntuotannossa kasvaa, tuulivoiman määrä kasvaa;
- LULUCF-päästöt alenevat turvepeltojen vettämisen ja metsäteollisuuden materiaalitehostumisen seurauksena, siirrytään kasvispainotteisempaan ruokavalioon.

2.5.3 Hiilineutraalisuusskenaario

Hiilineutraalisuusskenaario sisältää edellä mainitut kiertotaloustoimenpiteet osittain voimistuneina. Merkittävimpiä muutoksia kiertotalousskenaarioon verrattuna ovat:

- vedyn tuotannon ja hukkalämpöjen hyödyntämisen kasvu, tuuli- ja aurinkovoiman kasvu, työkonien sähköistyminen kasvaa;
- fossiilivapaan teräksen tuotannossa iso uusi tehdas, vedyn käyttö kasvaa metallien jalostuksessa;
- biopolttoaineiden tuotannon osuus kasvaa;
- LULUCF-nettonielun edelleen vahvistuminen: metsäteollisuuden materiaalitehostumisen kasvu ja polttoon perustumattoman energiatuotannon lisääntyminen (runkopuun hakkuiden väheneminen), metsäkadon merkittävä väheneminen, turvepeltojen vettämisen kasvu.

3 Tulokset

3.1 Luonnonvarojen käytön kehitys vuosina 2010–2021

Yhtenä hankkeen keskeisenä tavoitteena oli tuottaa Suomen raaka-aineiden kuluksen laskentakehikko ja aikasarja vuosille 2010–2021, jonka avulla voidaan seurata keskeisten materiaalivirtaindikaattoreiden kehitystä ja muodostumista. Tutkimushankkeessa tuotettu RMC-aikasarja vuosille 2010–2021 julkaistiin marraskuussa 2023 Tilastokeskuksen materiaalitilinpidon täydennyksessä, jonka tuloksia esitellään tässä luvussa viiden raaka-ainekategorian tarkkuudella: biomassa, fossiiliset polttoaineet, metallimalmit, ei-metalliset mineraalit ja maa- ja kiviainekset¹².

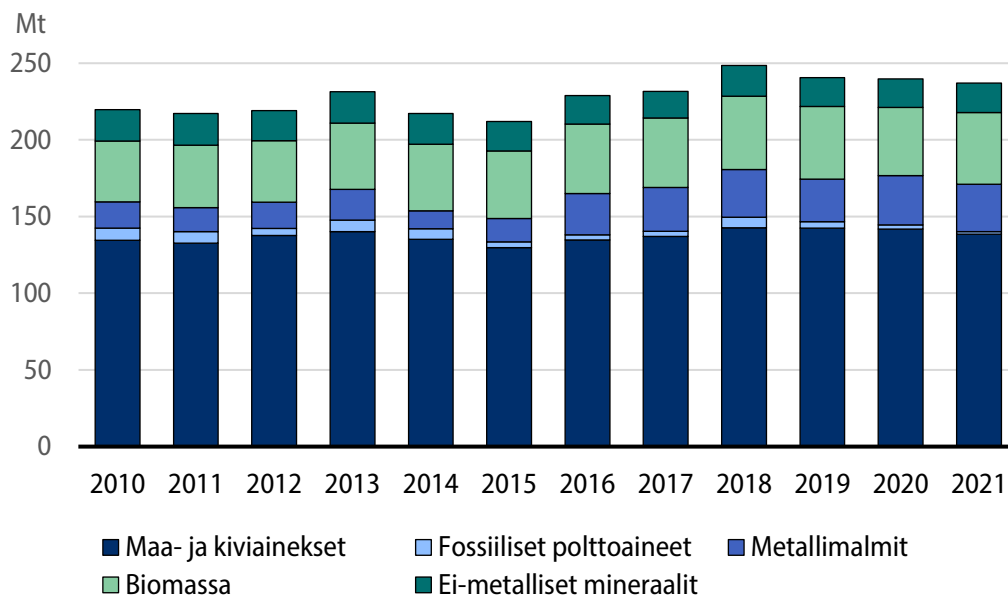
Kotimaisten luonnonvarojen oton kehitys vuosina 2010–2021 on esitettyinä kuviossa 4. Kotimainen luonnonvarojen otto on vaihdellut noin 217 miljoonasta tonnista 248 miljoonaan tonniin. Kokonaisuudessaan luonnonvarojen otto kasvoi noin kahdeksan prosenttia vuoden 2010 tasosta vuoteen 2021 mennessä, vaikkakin aiemmin kasvussa olleet ottomäärät kääntyivät maltilliseen laskuun vuoden 2018 jälkeen. Raaka-ainelajeittain tarkasteltuna kuviossa korostuu tarkasteluvälillä maa- ja kiviainesten kotimaisen oton suuri suhteellinen osuus. Suomi on merkittävä luonnonkivien ja kiviaineksen tuottaja. Vuosien 2010–2021 välillä maa- ja kiviaineksiä louhittiin vuosittain noin 132–142 miljoonaa tonnia, lähes kaksi kolmasosaa kaikesta kotimaisesta luonnonvarojen otosta. Myös muita ei-metallisia mineraaleja louhitaan merkittäviä määriä, noin 20 miljoonaa tonnia vuodessa. Maa- ja kiviainesten ja ei-metallisten mineraalien ottomäärät ovat kuitenkin pysyneet suhteellisen tasaisina läpi vuosikymmenen.

Toiseksi eniten kotimaisesta luonnosta otetaan biomassaa, noin 40 miljoonasta tonnista 48 miljoonaan tonniin. Biomassan kotimaisen oton trendissä on ollut pääsääntöisesti loivaa kasvua vuosien 2010–2021 välillä. Raakapuun on selvästi merkittävin biomassaan sisältyvä raaka-ainekategoria, jonka otto tarkastelujaksolla kasvoi noin 31 miljoonasta tonnista noin 40 miljoonaan tonniin. Suurin osa puusta ohjautuu teollisuuden käyttöön.

12 Biomassa sisältää viljelykasvit, luonnoneläimet ja -kasvit sekä raakapuun. Ei-metalliset mineraalit sisältävät rakennus- ja teollisuusmineraalit.

Suomi on merkittävä kaivosmaa Euroopassa. Metallimalmien louhinta on kasvanut tarkasteluajanjaksolla eniten, noin kuuden prosentin keskimääräistä vuosivauhtia. Metallimalmien kotimaisen oton kasvu oli merkittävää erityisesti vuosien 2015 ja 2016 välillä, jolloin louhintamäärät kasvoivat noin 15 miljoonasta tonnista noin 27 miljoonaan tonniin. Tähän vaikutti erityisesti loppuvuodesta 2015 uudelleen avatun Talvivaaran kaivoksen suuret louhintamäärät. Eniten Suomessa louhitaan nikkeä, jonka lisäksi myös kupari, sinkki ja erilaiset jalometallit ovat keskeisiä louhittavia metallimalmeja. Turpeen lisäksi Suomessa ei ole muuta fossiilisten polttoaineiden alkutuotantoa. Voimakkaasta vuosittaisesta vaihtelusta huolimatta turpeen kotimainen otto on sen sijaan vähentynyt ajanjaksolla suhteellisesti eniten, noin 14 %:n keskimääräistä vuosivauhtia.

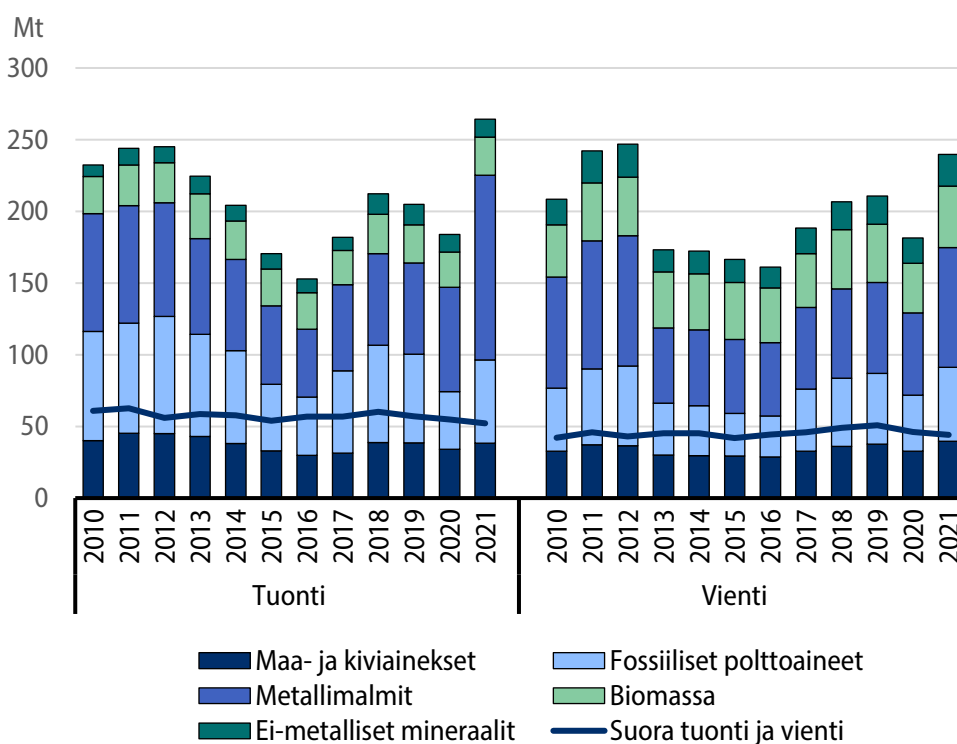
Kuvio 4. Kotimaisen luonnonvarojen oton kehitys vuosina 2010–2021, Mt.



Kuviossa 5 on esitettyä Suomen raaka-aine-ekvivalentti tuonti ja vienti raaka-ainelajeittain sekä suorat tuonti- ja vientivirrat vuosina 2010–2021. Raaka-aine-ekvivalenttia tuontia ovat hallinneet metallimalmit ja fossiiliset polttoaineet. Kuviossa 5 kuitenkin myös huomataan, että siinä missä fossiilisten polttoaineiden tuonti on tarkastelujaksolla ollut pääosin laskevaa, on metallimalmien tuonti sen sijaan kasvanut. Suomessa sekä fossiilisia polttoaineita että metallimalmeja hyödynnetään kotimaisessa loppukulutuksessa, mutta myös jatkojalostuksessa viennin tarpeisiin. Siten edellä mainitut raaka-aineet korostuvat myös raaka-aine-ekvivalentissa viennissä biomassan ohella.

Kuvio 5 myös osoittaa, kuinka tuonti- ja vientituotteiden valmistamisessa tarvittujen raaka-aineiden massa (raaka-aine-ekvivalentit tuonti ja vienti) on paljon suurempi kuin pelkästään valmiiden tuotteiden massa (suorat vienti ja tuonti). Raaka-aine-ekvivalentin tuonnin massat olivat ajanjaksolla keskimäärin lähes nelinkertaisia suoriin tuontivirtoihin verrattuna ja raaka-aine-ekvivalentin viennin massat yli nelinkertaisia suoraan vientiin verrattuna.

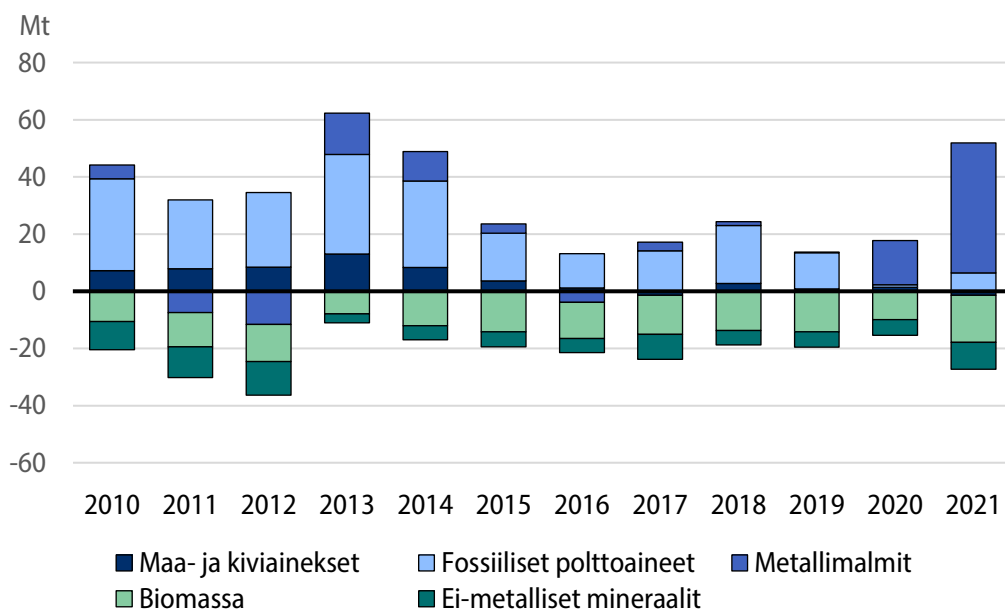
Kuvio 5. Tuonti Suomeen ja vienti Suomesta vuosina 2010–2021 raaka-aine-ekvivalentteina ja suorina materiaalivirtoina, Mt.



Raaka-aineiden kauppataase (RTB, raw material trade balance) lasketaan raaka-aine-ekvivalentin tuonnin ja viennin erotuksena. Suomen raaka-aineiden kauppataase raaka-ainekategoriotta on esitetty kuviossa 6. Ajanjaksolla Suomi oli pääasiallisesti raaka-aineiden nettotuojana, eli maahan tuotiin yhteensä enemmän raaka-aineita kuin maasta vietiin. Poikkeuksen tekevät vuodet 2012, 2016, 2017 ja 2019, jolloin raaka-aineiden vienti oli hiukan suurempaa kuin tuonti. Raaka-aineittain tarkasteltuna nähdään, että läpi aikasarjan Suomen fossiilisten polttoaineiden tuonti oli suurempaa kuin vienti. Tämä heijastaa sitä todellisuutta, että Suomella ei ole turpeen lisäksi muuta fossiilisten polttoaineiden alkutuotantoa. Suomessa on sen sijaan paljon metsää ja metsäteollisuutta, joka näkyy myös raaka-aineiden

kauppataseessa: Suomi oli läpi tarkastelujakson biomassan osalta nettoviejä. Vaikka Suomessa on myös paljon kaivosteollisuutta, metallimalmien raaka-aineiden kauppatase oli tarkastelujaksolla kuitenkin pääsääntöisesti positiivinen, eli metallimalmeja tuotiin Suomeen ulkomailta enemmän kuin vietiin.

Kuvio 6. Suomen raaka-aineiden kauppatase vuosina 2010–2021 (raaka-ainekvivalentti tuonti ja vienti, Mt).



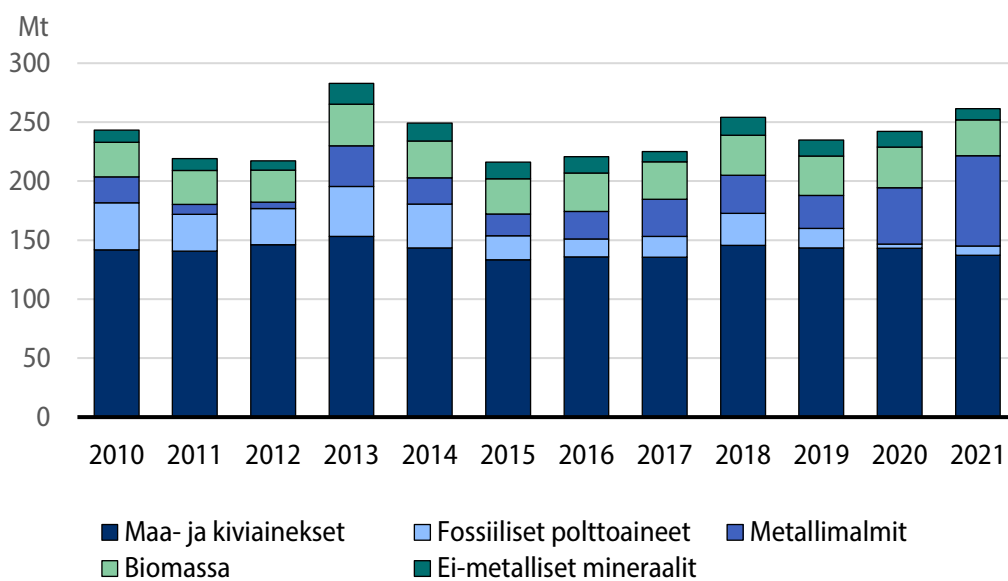
Kokonaisuudessaan aikavälillä 2010–2021 Suomen kansantalouden raaka-aineiden kulutus (RMC) on vaihdellut noin 215 miljoonasta tonnista noin 280 miljoonaa tonniin (kuvio 7). Vuodesta 2015 RMC on ollut pääsääntöisesti kasvussa, eikä edes vuonna 2020 alkanut koronapandemia taittanut raaka-aineiden kulutusta.

Raaka-aineittain tarkasteltuna Suomi kuluttaa eniten maa- ja kiviaineksia, noin 133–153 miljoonaa tonnia, joka kattaa keskimäärin 60 % RMC:stä läpi tarkastelujakson. Suuren kulutuksen taustalla on rakentamisen suuri volyyymi. Ei-metallisia mineraaleja kulutetaan noin 10–17 miljoonaa tonnia vuodessa, joka kattaa keskimäärin 5 % kaikesta raaka-aineiden kulutuksesta.

Fossiilisten polttoaineiden kulutus on vähentynyt suhteellisesti eniten (keskimäärin 14 % vuodessa) samaan aikaan kun metallimalmien kulutus on kasvanut (keskimäärin 12 % vuodessa). Nämä muutokset voivat osaltaan heijastaa energiasektorin siirtymistä kohti uusiutuvia energialähteitä ja näin kasvavaa raaka-ainetarvetta

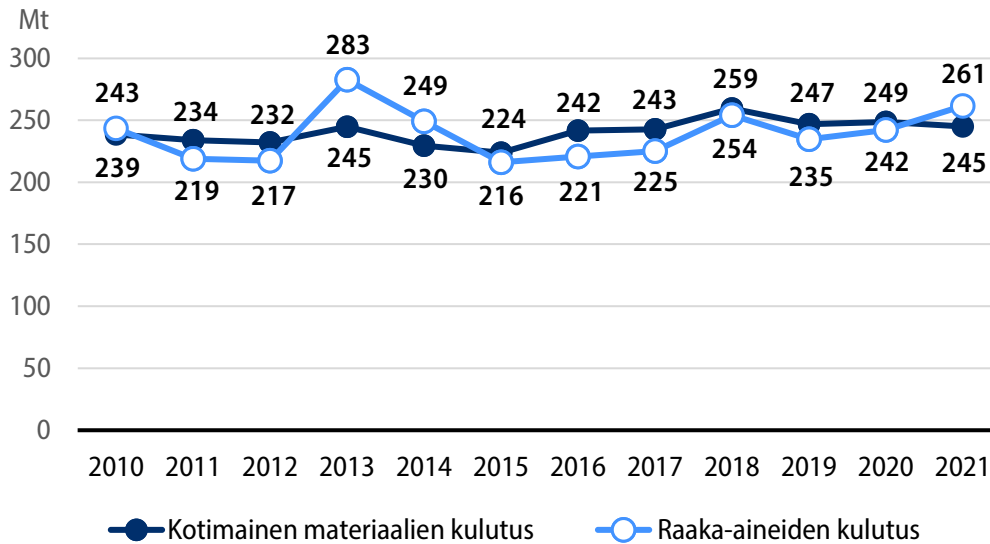
uusiutuvien energiaratkaisujen rakentamisessa. Toisaalta metallimalmien ja fossiilisten polttoaineiden kulutuksessa on voimakasta vuosittaista vaihtelua. Sen sijaan biomassan osuus Suomen raaka-aineiden kulutuksessa on pysynyt tasaisena, noin 12–15 prosentissa.

Kuvio 7. Raaka-aineiden kulutus (RMC) raaka-ainekategorioiden vuosina 2010–2021, Mt.



Kuviossa 8 on esitetty kotimaisen materiaalien kulutuksen (DMC) ja raaka-aineiden kulutuksen (RMC) kehitys vuosina 2010–2021. Ajanjaksolla DMC on pysynyt suhteellisen tasaisena vaihdellen noin 240 miljoonan tonnin molemmin puolin. DMC on myös pääosin suurempaa kuin RMC, vaikkakin joinain vuosina tilanne on ollut myös päinvastainen. Vuosittainen tuonnin ja viennin tuoterakenne ja volyyymi sekä tuonti- ja vientituotteiden materiaali-intensiteetit (raaka-aine-ekvivalentit kertoimet) määrittävät sen, kumpi indikaattori on suurempi tai pienempi kyseisenä vuonna.

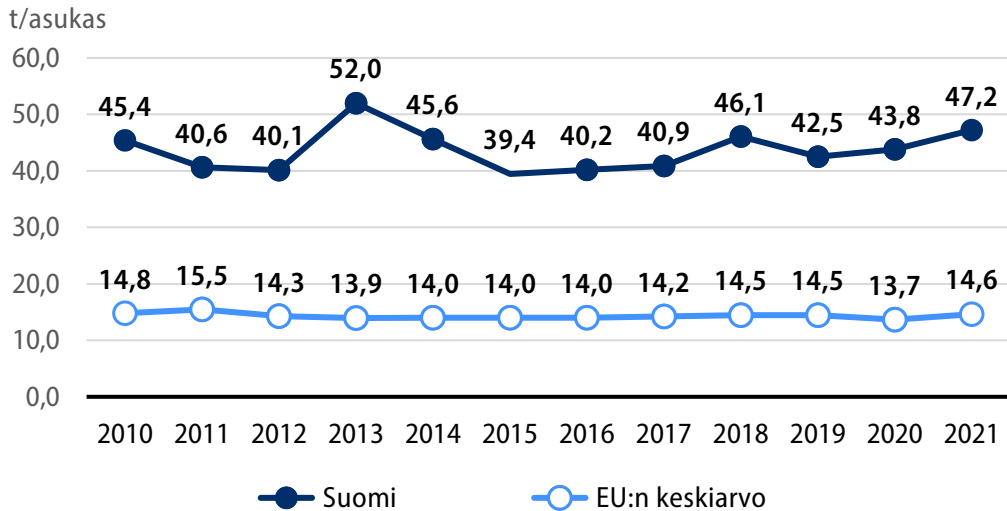
Kuvio 8. Kotimainen materiaalien kulutus (DMC) ja raaka-aineiden kulutus (RMC) vuosina 2010–2021, Mt.



Suomessa kulutetaan selvästi enemmän raaka-aineita kuin EU-maissa keskimäärin (kuvio 9). Vuosien 2010 ja 2021 välillä Suomen raaka-aineiden kulutus asukasta kohden (RMC/asukas) on vaihdellut noin 39 tonnista ja 52 tonniin, siinä missä EU:n keskiarvo on pysytellyt noin 14–15 tonnissa asukasta kohden. Mahdollisia syitä Suomen korkealle raaka-aineiden kulutukselle voidaan hakea muun muassa maa- ja kiviainesten suuresta tarpeesta erilaisissa infrahankkeissa, kuten pohjarakenteiden routasuojauksen vaatimasta maamassojen vaihtotarpeesta ja harvaan asutun maan laajan tieverkoston ylläpidossa. Lisäksi kylmä ilmasto kasvattaa energiankulutusta ja sitä kautta esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden tai puubiomassan kulutusta. Yksi selittävä tekijä on myös suomalaisten korkea elintaso: yleisesti vauraat maat voidaan yhdistää korkeampaan materiaalien kulutukseen henkeä kohden mitattuna.

On myös olennaista muistaa, että RMC-indikaattori perustuu mallintamiseen, jonka laskentaperiaatteet eivät ole harmonisoituja edes EU-tasolla. Siksi RMC-indikaattorit eivät välttämättä ole täysin vertailukelpoisia eri maiden välillä, mikä vaikeuttaa maiden välistä vertailua ja myös korostaa yhteisten laskentamenetelmien ja standardien tarvetta.

Kuvio 9. Materiaalijalanjälki (RMC/asukas) Suomessa ja EU:n keskiarvo vuosina 2010–2021.



3.2 Luonnonvarojen otto ja käyttö sekä niihin liittyvät ympäristövaikutukset Suomessa vuonna 2019

3.2.1 Kansantalouden materiaalivirrat

Suomen kansantalouden raaka-ainevirrat vuonna 2019 on esitetty kuviossa 10. Ne voidaan jakaa tarjontaan eli materiaalipanoksiin ja käyttöön eli kotimaiseen loppukäyttöön ja vientiin. Sankey-diagrammi kuvaa, millaista materiaaliperustaa kotimainen kulutus ja investoinnit edellyttävät, mistä materiaalit tulevat ja mikä on ulkomaankaupan rooli.

Materiaalipanokset muodostuvat kotimaan raaka-aineiden otosta ja tuontituotteiden valmistukseen käytetyistä raaka-aineista. Kotimainen otto vuonna 2019 oli noin 251 miljoonaa tonnia (Mt) (57 % raaka-ainepanoksista) ja raaka-aine-ekvivalentti tuonti noin 193 Mt (43 %). Yhteensä Suomen kansantalouden raaka-ainekäyttö (RMI) oli noin 444 Mt.

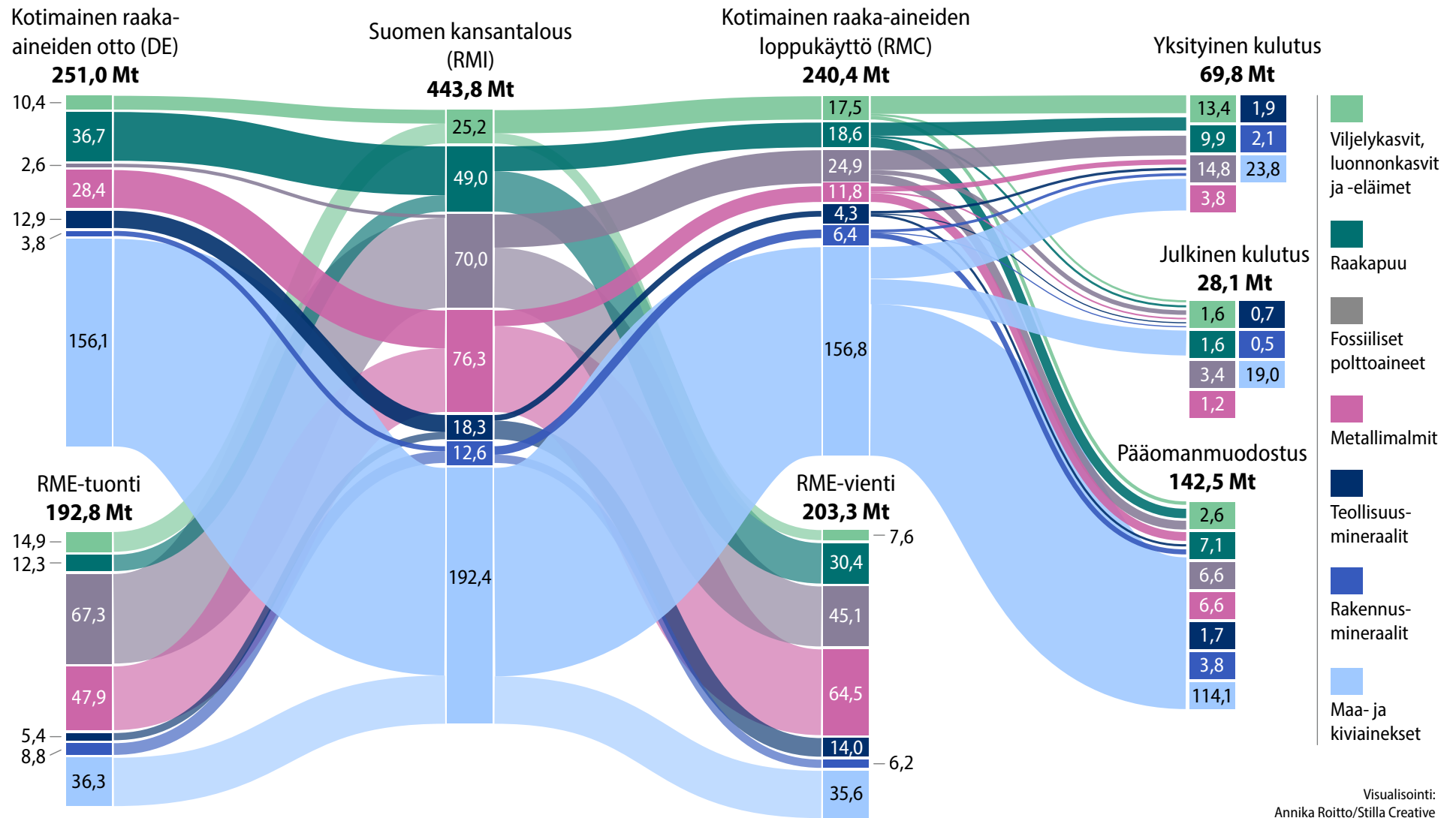
Raaka-aineiden loppukäyttö jakautui kotimaan loppukäyttöön (RMC) ja raaka-aine-ekvivalenttiin vientiin. RMC oli noin 240 Mt (54 % käytöstä) ja RME-vienti noin 203 Mt (46 %). Kotimainen loppukäyttö jakaantui edelleen yksityiseen kulutukseen (noin 70 Mt, 29 % RMC:stä), julkiseen kulutukseen (noin 28 Mt, 12 %) ja pääomanmuodostukseen eli investointeihin ja varastojen muutokseen (noin 143 Mt, 59 %).

Hieman yli puolet kansantalouden raaka-ainepanoksesta kohdistui kotimaisen kulutuksen tyydyttämiseen. Pääomanmuodostus eli etenkin rakentaminen muodosti tästä kulutuksesta yli puolet.

Tuontituotteiden valmistukseen käytetyt raaka-aineet allokoituvat kansantalouden tuotantotoiminnan kautta kotimaan loppukäyttöön ja vientiin. Kotimaiset ja ulkomaiset raaka-aineet eivät kuitenkaan jakautuneet tasaisesti yli loppukäytön. Yksityisen kulutuksen materiaaaliperusta jakautui kotimaisten ja tuontivirtojen osalta 45 % vs. 55 %. Julkisessa kulutuksessa panokset painottuivat kotimaisiin (67 % vs. 33 %) ja pääomanmuodostuksessa tätäkin voimakkaammin (81 % vs. 19 %). Kokonaisuudessaan kotimaisten raaka-aineiden osuus kotimaan loppukäytössä oli noin 69 %. Viennissä niiden osuus oli 42 % ja ulkomaisen raaka-ainekäytön 58 %. Viennin tuontituotteisiin liittyvä raaka-ainepanos selittyy talouden rakenteella. Vaikka Suomesta viedään paljon kotimaisiin raaka-aineisiin pohjautuvia tuotteita (etenkin metsäteollisuuden tuotteet sekä metallirikasteet), käytetään vientituotteiden valmistuksen arvoketjuissa paljon tuontipanoksia, jotka raaka-ainetarkastelussa allokoituvat viennin raaka-ainekäyttöön. Lisäksi viennin tuontipanoksia kasvatti jälleenvienti¹³ (eli tuonnin vienti), jonka osuus kokonaisviennin euroarvosta vuonna 2019 oli noin kuusi prosenttia.

13 Jälleenviennissä muualla valmistetut tavarat tuodaan Suomeen ja viedään edelleen kolmansiin maihin ilman tavaroiden luonnetta olennaisesti muuttavaa prosessointia. Tavaroiden voidaan Suomessa varastoida, pakata uudelleen ja varustaa vaikkapa käyttöohjeilla. Selkeyden vuoksi sankey-diagrammeissa (kuviot 10 ja 13) myös jälleenvientiin liittyvät raaka-ainevirrat kulkevat Suomen kansantalouden kautta, vaikka varsinaista prosessointia ei tapahdukaan.

Kuvio 10. Suomen kansantalouden raaka-ainevirrat vuonna 2019, Mt. (Luvut eivät välttämättä summaudu pyöristysten vuoksi.)



Visualisointi:
Annika Roitto/Stilla Creative

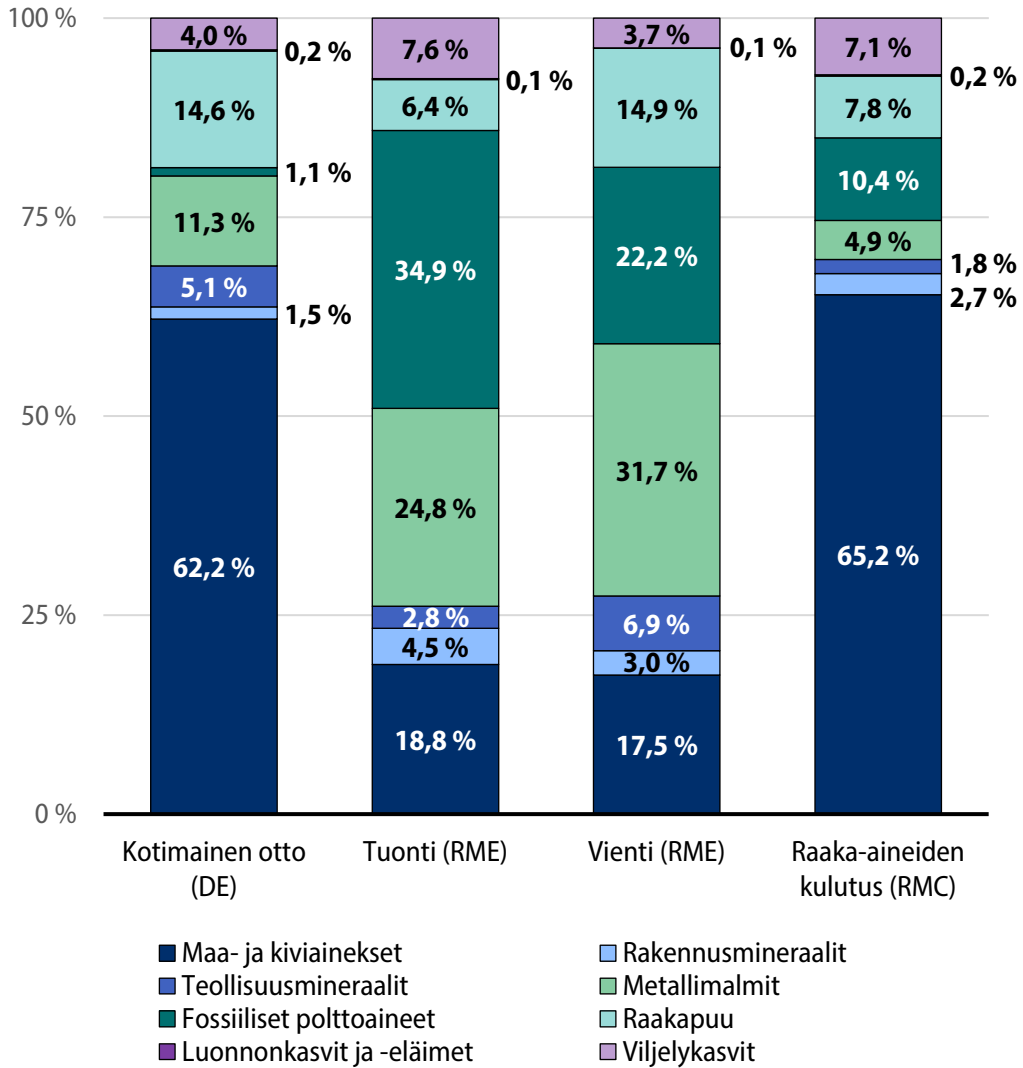
Kansantalouden materiaalivirtojen koostumukset erosivat toisistaan tarjonnassa ja käytössä (kuviot 10 ja 11). Kotimaisessa otossa massamääräisesti suurin luokka oli yli 60 %:n osuudella maa- ja kiviainekset, sen jälkeen raakapuu ja metallimalmit¹⁴. Tuontiin liittyvät merkittävimmät raaka-aineet olivat fossiiliset polttoaineet, metallimalmit ja maa- ja kiviainekset. Kotimaan loppukäytössä maa- ja kiviainekset oli tärkein raaka-aineluokka (yli 65 %:n osuus), perässään fossiiliset polttoaineet, raakapuu ja viljelykasvit. Viennin raaka-ainerakenne muistuttaa tuontia; tärkeimmät luokat olivat metallimalmit, fossiiliset polttoaineet, maa- ja kiviainekset ja neljäntenä metsäteollisuuden tuotteiden keskeisin raaka-aine eli raakapuu.

Raaka-aineiden kulutuksessa maa- ja kiviainekset oli suurin raaka-aineluokka kaikissa loppukäytön kategorioissa. Pääomanmuodostuksessa osuus oli yli 80 % raaka-ainekäytöstä. Julkisessa kulutuksessa toiseksi suurin raaka-aineluokka oli fossiiliset polttoaineet. Yksityisessä kulutuksessa raaka-aineiden kulutus oli jakautunut hieman tasaisemmin: maa- ja kiviainesten jälkeen tärkeimmät luokat olivat fossiiliset polttoaineet, viljelykasvit ja raakapuu.

Suomen kansantalouden materiaalivirrat koostuivat valtaosin uusiutumattomista raaka-aineista. Uusiutuvien raaka-aineiden osuus oli tuonnissa 14 % ja kotimaisessa otossa ja viennissä 19 %. Tärkein uusiutuva raaka-aine oli raakapuu.

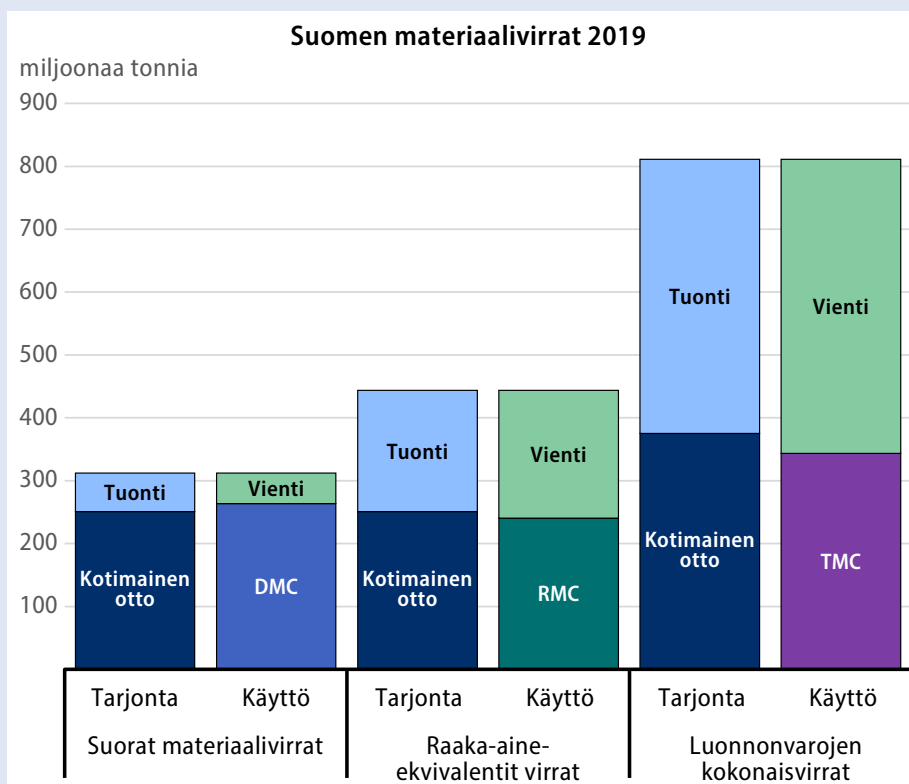
14 Lisätietoja kaivostoiminnan sivukivien luokittelusta tietolaatikossa "Kaivosten sivukivet ja poistomaat".

Kuvio 11. Raaka-ainekategorioiden osuudet kansantalouden materiaalivirroissa vuonna 2019. Rakennusmineraalien sekä luonnonkasvien ja -eläinten prosenttiarvot on selvytyden vuoksi sijoitettu pylväiden viereen.

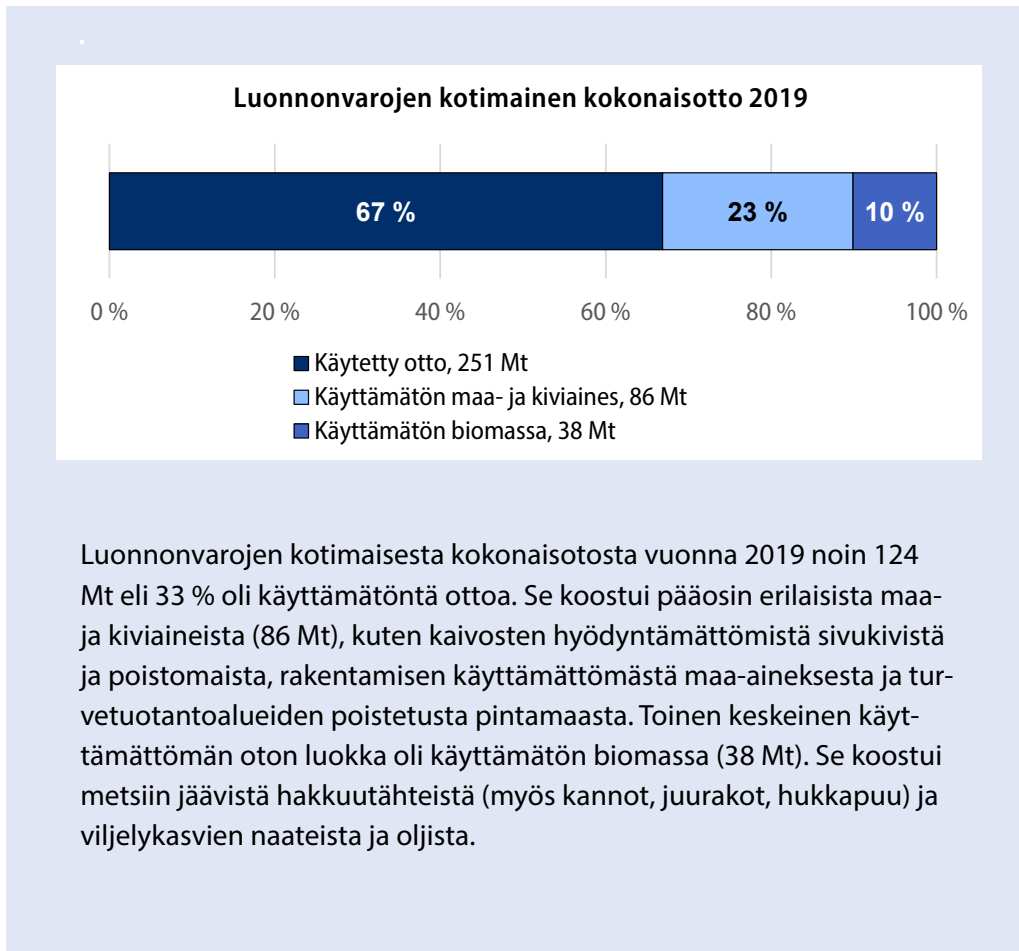


Luonnonvarojen kokonaisvirrat

Suorat materiaalivirrat tai raaka-aine-ekvivalentit virrat eivät sisällä ns. käyttämätöntä ottoa. Kyseessä on se luonnonvarojen määrä, jota siirrelään ja muunnellaan varsinaisen oton yhteydessä, mutta joka ei päädy taloudelliseen hyödyntämiseen. Kun raaka-aine-ekvivalentteihin virtoihin sisällytetään käyttämätön otto, voidaan puhua luonnonvarojen kokonaisvirroista.



Yllä on kuvattu suorien ja raaka-aine-ekvivalenttien virtojen lisäksi myös luonnonvarojen kokonaisvirrat, jotka sisältävät raaka-aine-ekvivalenttien virtojen lisäksi sekä kotimaisen että ulkomaisen käyttämättömän oton. Kotimainen kokonaisotto oli 50 % suurempi kuin kotimainen käytetty otto, ja tuonnin ja viennin kokonaisotot olivat peräti noin 130 % suuremmat kuin vastaavat raaka-aine-ekvivalentit virrat. Luonnonvarojen kokonaiskulutus (TMC, 343 Mt) oli 43 % suurempi kuin RMC ja 30 % suurempi kuin DMC.



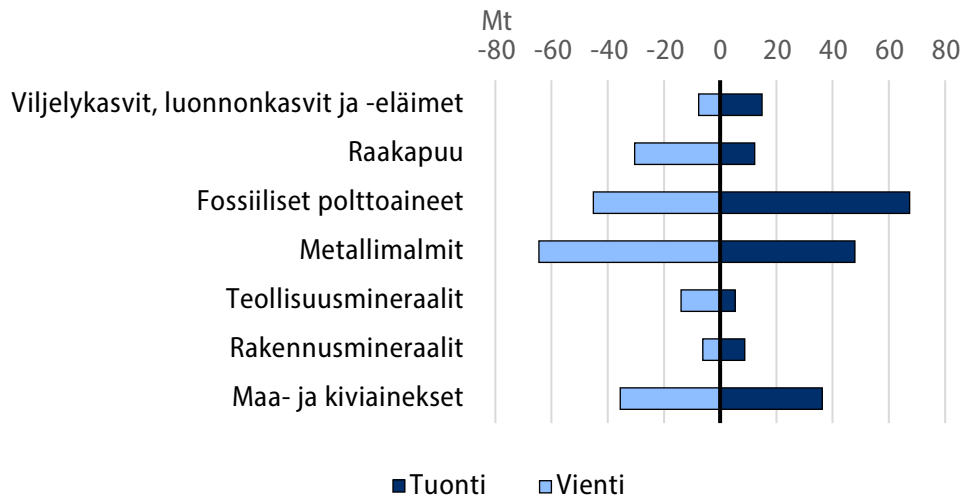
Kuviossa 12 on tarkasteltu Suomen raaka-aineiden kauppasetta vuonna 2019. Kokonaisuudessaan Suomen raaka-aine-ekvivalentti vienti ylitti tuonnin eli Suomi oli raaka-ainetarkastelussa nettoviejä. Vientituotteiden valmistuksen edellyttämä raaka-aineiden käyttö siis ylitti tuontituotteiden valmistuksen raaka-ainekäytön. Raaka-aineluokittain tarkasteluna raakapuun, metallimalmien ja teollisuusmineraalien osalta vienti ylitti tuonnin. Vastaavasti tuonti oli suurempaa fossiilisissa polttoaineissa, viljelykasveissa ja rakennusmineraaleissa. Maa- ja kiviainesten osalta vienti ja tuonti olivat käytännössä yhtä suuria.

Kaivosten sivukivet ja poistomaat

Materiaalivirtatilinpidossa kaivosten materiaalivirrat on määritelty yksityiskohtaisesti. Käytetty otto sisältää tarkasteluvuonna louhitun malmin tai hyötykiven määrän sekä hyödynnetyn sivukiven ja poistomaat. Kun käytetty otto vähennetään kokonaislouhintamäärästä, saadaan erotuksena käyttämätön otto. Todellisuudessa käyttämättömäksi otoksi lasketut ja kaivospiirissä kasatut sivukivet saatetaan ottaa myöhemmin käyttöön esim. kaivostäyttöihin, mutta materiaalivirtatilinpito ei tällaista käyttöä kuitenkaan laske käytetyksi otoksi. Malmin rikastuksessa syntyvää rikastushiekkaa, joka luokitellaan kaivannaisjätteeksi, ei erikseen tilastoida materiaalivirtatilinpidossa, koska kyseiset massat on jo kertaalleen laskettu osana malmien massaa.

ENVIMAT-mallissa käytetyt sivukivet ja poistomaat luokitellaan maa- ja kiviaineksiksi, ja ne on kytketty tuotteeseen, jonka valmistuksessa sivukivet ovat syntyneet (esim. värimetallien louhinnan hyödynnetyt sivukivet). Mallin ratkaisussa nämä maa- ja kiviainekset allokoidaan vientiin tai kotimaan loppukäyttöön varsinaisen tuotteen loppukäytön mukaisesti. Vientiin päätyvien suomalaisten metallimalmien ja -rikasteiden tuotannossa syntyneet, hyödynnetyt sivukivet allokoidaan siis vientille, vaikka todellisuudessa ne olisikin käytetty infrarakentamiseen kaivospiirissä tai myyty murskeena kaivoksen ulkopuolelle. Myös raaka-ainevirtakuvissa (kuviot 10 ja 13) kaivostuotteisiin liittyvät vientivirrat sisältävät hyödynnettyjen sivukivien ja poistomaiden massan.

Edellä mainitut massat voitaisiin allokoida kaivostuotteiden sijaan maa- ja vesirakentamisen tuotteelle, koska kaivosten infrarakentaminen tyypillisesti tilastoidaan pääomanmuodostukseen. Tällainen vaihtoehtoinen allokointi vaikuttaa myös kansantalouden raaka-ainevirtoihin ja raaka-aineiden kulutukseen. Hyödynnettyjen sivukivien ja poistomaiden määrä vuonna 2019 oli noin 4,1 Mt. Kotimainen käytetty otto ei muutu, koska kyseessä on otetun raaka-ainemäärän kohdistaminen tuoteryhmältä toiselle. RME-viennissä maa- ja kiviainesten määrä pieneni edellä mainitulla summalla ja RMC kasvaisi vastaavasti. Raaka-aineiden kulutus lisääntyisi noin 1,7 % tasolle 244,5 Mt.

Kuvio 12. Raaka-aineiden kauppataase vuonna 2019, brutto, Mt.

Kansantalouden materiaaliperustaa voidaan tarkastella erilaisilla materiaalivirta-tilinpidosta johdettavilla indikaattoreilla. Taulukossa 2 on esitetty sekä tuotanto-että kulutusperusteisia indikaattoreita suhteuttamalla materiaalivirtoja väkilukuun ja bruttokansantuotteeseen. Suomen suora materiaalipanostus (DMI) vuonna 2019 oli noin 310 Mt ja vastaavasti raaka-ainekäyttö (RMI) noin 440 Mt eli yli 40 % suoraa panosta suurempi. Kulutusnäkökulmasta kotimainen materiaalien kulutus (DMC) oli noin 260 Mt ja raaka-aineiden kulutus (RMC eli materiaalijalanjälki) oli noin 240 Mt eli yhdeksän prosenttia pienempi. Vuoden 2019 tilanteessa kotimaisen materiaalien kulutuksen indikaattoriarvoon ”piiloutuu” vientiin liittyvää kotimaista luonnonvarojen ottoa, joka ei raaka-aineiden kulutukseen sisälly (ks. menetelmäkuvaus luvussa 2.1).

Kun indikaattoreiden arvot suhteutetaan väkilukuun, saadaan käsitys materiaali- virroista per asukas. Suomessa väkilukuun suhteutetut materiaali- ja raaka-ainevirrat ovat kansainvälisesti korkealla tasolla (ks. luku 3.1). Materiaalijalanjälki asukasta kohden oli miltei 44 tonnia.

Taulukko 2. Materiaalivirtoihin liittyvät makroindikaattorit Suomessa vuonna 2019.

	Yhteensä Mt	Per asukas t/as.	Per BKT (intensiteetti, kg/€)	BKT per indikaattori (tuottavuus, €/kg)
Tuotantoperusteiset indikaattorit				
Suora materiaali- panos (DMI)	312,3	56,5	1,30	0,77
Raaka-ainekäyttö (RMI)	443,8	80,3	1,85	0,54
Kulutusperusteiset indikaattorit				
Kotimaan materiaalikulutus (DMC)	263,7	47,7	1,10	0,91
Raaka-aineiden kulutus (RMC)	240,4	43,5	1,00	1,00

Taulukossa 2 on esitetty myös materiaali-intensiteetin ja -tuottavuuden indikaattoreita. Vuonna 2019 yhden euron arvonlisäys edellytti 1,3 kg:n suoran materiaalipanoksen ja noin 1,9 kg:n raaka-ainepanoksen. Materiaalituottavuuden näkökulmasta Suomen kansantalous tuotti noin 0,8 euron arvonlisäyksen yhtä suoraa materiaalikiloa kohden ja vastaavasti noin 0,5 euron arvonlisäyksen raaka-ainekiloa kohden. Tuotantoperusteisen tarkastelun rinnalla myös kulutusperusteisiä materiaali-indikaattoreita voidaan suhteuttaa bruttokansantuotteeseen. Näin laskettujen tunnuslukujen tulkinta on kuitenkin tuotantoperusteisiä vaikeampaa (ks. tietolaatikko "Materiaalituottavuusindikaattoreiden laskenta"). Suomen materiaalikulutus per bruttokansantuote oli 1,1 kg/€. Kansainvälisessä vertailussa Suomen kansantalouden materiaalikulutus suhteessa arvonlisäykseen on kehnolla tasolla (ks. esim. Eurostat, 2023). Raaka-aineiden kulutus per bruttokansantuote oli Suomessa 1 kg/€ (tai tuottavuusmuodossa 1 €/kg) vuonna 2019. Kotimaan loppukäyttö siis kulutti yhden kilogramman raaka-aineita suhteessa kansantalouden yhden euron arvonlisäykseen.

Materiaalituottavuusindikaattoreiden laskenta

Kansantalouden materiaalituottavuutta voidaan analysoida useilla eri indikaattoreilla. Olennainen ominaisuus näille mittareille on taloudellisen volyymin tai arvonlisäyksen suhteuttaminen materiaalien käyttöön. Tällöin voidaan seurata muutosta yli ajan (mahdollinen talouskasvun ja materiaalikäytön irtikytkentä) ja vertailla erilaisia kansantalouksia toisiinsa. Taulukossa 2 on esimerkiksi esitetty neljä erilaista materiaalituottavuusindikaattoria.

Koska materiaalituottavuusindikaattorit ovat tyypillisesti suhdelukuja, on osoittajassa ja nimittäjässä olevien indikaattoreiden systemirajaus tärkeä seikka. Tämä vaikuttaa myös tuottavuusindikaattorin tulkintaan ja taustalla vaikuttavien tekijöiden tunnistamiseen. Tyypillisesti osoittajassa oleva talousindikaattori on bruttokansantuote, joka kuvaa kansantalouden toimialojen yhteenlaskettujen arvonlisäyksiä summaa (arvonlisäys = myyntitulot eli tuotos – välituotekäyttö). Tuotos koostuu sekä kotimaan myynnistä että viennistä. Nimittäjässä voidaan käyttää suoria materiaalienpanoksia (DMI) tai raaka-ainepanoksia (RMI). Tällöin indikaattori kertoo, kuinka paljon arvonlisäystä kansantalous pystyi tuottamaan yhtä panosyksikköä kohden riippumatta siitä, oliko materiaalienpanos kotimainen vai ulkomainen. Kyseessä on tuotantoperusteinen indikaattori, joka kertoo tuotos-panossuhteesta. Joissakin tapauksissa raaka-ainekäyttö (RMI) on suhteutettu ikään kuin globaaliin arvonlisäykseen, kun osoittajaan summataan tarkasteltavan maan BKT ja tuonnin arvo, joka on osa muiden maiden arvonlisäystä (German Environment Agency, 2022; Federal Environment Agency, 2016). Tällainen tarkastelu kuitenkin vaikeuttaa analyysiä siitä, kuinka paljon tarkasteltava kansantalous pystyy tuottamaan arvonlisäystä käyttämällään materiaalilla tai raaka-aineilla. Systemirajauksen näkökulmasta osoittaja ja nimittäjä ovat toki tällaisessa tarkastelussa symmetriset.

Bruttokansantuotetta voidaan suhteuttaa myös raaka-aineiden kulutukseen (RMC) tai kotimaiseen materiaalien kulutukseen (DMC). Tällöin voidaan puhua kulutusperusteisista indikaattoreista. Muun muassa EU ja YK käyttävät kyseisiä indikaattoreita maiden vertailuun ja irtikytkennän seuraamiseen. Tällaisten indikaattorien tulkinta on vaikeaa, koska systeemirajaukset poikkeavat: BKT on tuotantoperusteinen indikaattori, mutta DMC ja RMC kulutusperusteisia (Mäenpää ym, 2017a). Vientituotteiden valmistuksesta saatava arvonlisäys on keskeinen osa bruttokansantuotetta, mutta DMC:stä ja RMC:stä viennin materiaali/

raaka-ainekäyttö on poistettu. Näin ollen BKT/RMC osoittaa korkeampaa materiaalityttövuutta kuin BKT/RMI, kuten taulukosta 2 voidaan todeta. Mikäli kansantalouden materiaalityttövuutta tai -intensiteettiä halutaan seurata kulutusperusteisesti, olisi syytä suhteuttaa DMC tai RMC kotimaan loppukäytön euroarvoon.

3.2.2 Raaka-aineiden jalostus lopputuotteiksi

Kansantalouden materiaalityttöjä voidaan tarkastella primääriraaka-aineiden lisäksi myös tuotenäkökulmasta. Talouden tuotantoprosessissa raaka-aineet otetaan kotimaan tai ulkomaiden luonnosta ja jalostetaan arvoketjujen eri vaiheissa ja eri toimialoilla. Valmistettavia välituotteita käytetään edelleen tuotantopanoksina toimialojen tuotannossa ja lopulta tarjotaan markkinoille lopputuotteita eli tavaroita ja palveluita kotimaan loppukäyttöön ja vientiin.

Kuviossa 13 on esitetty Suomen kansantalouden raaka-ainevirrat tuoteryhmittäin tarkasteltuna. Eri raaka-ainekategoriat on summattu yhteen kunkin tuoteryhmän kohdalla, ja esitetyt arvot kuvaavat tuoteryhmien valmistusketjujen raaka-ainekäyttöä. Diagrammi kuvaa materiaalityttöjen tarjonnan, otettujen raaka-aineiden ensimmäisen jalostusvaiheen keskeisten toimialaryhmien toimesta, kansantalouden lopputuotteiden tarjonnan ja lopputuotteiden kotimaan loppukäytön ja viennin. Selkeyden vuoksi kotimaan tuotannon sisäisiä materiaalityttöjä (kotimaiset tai ulkomaiset puolivalmisteet) ei esitetä kuvassa. Samasta syystä suoraan loppukäyttöön menevät tuontituotteet kulkevat kotimaan tuotantotoiminnan kautta.¹⁵

Kotimaiset materiaalityttöset eli kotimainen luonnonvarojen otto jakaantuu tuoteryhmätarkastelussa samoin kuin raaka-ainevirtojen osalta (kuvio 10). Suurin tuoteryhmä oli sora, murske ja hiekka (62 %), tämän jälkeen yhteenlaskettuna kaivostuotteet eli metallirikasteet ja muut mineraalit (18 %) ja kolmantena raakapuu (15 %). Tuonnin virtoihin tuoteryhmätarkastelu tuo lisävalaistusta: noin 2/3 raaka-aine-ekvivalentista tuonnista liittyi jalostamattomiin materiaalityttöksiin ja loput 1/3 puolivalmisteisiin ja valmiisiin lopputuotteisiin. Tuonti tyydytti siis sekä jalostavan teollisuuden panoskysyntää että lopputuotteiden kysyntää. Tuonnin suurin tuoteryhmä oli fossiiliset polttoaineet (29 % tuonnin raaka-ainekäytöstä), joka sisälsi sekä

15 Käytännössä valtaosa tuontitavaroista kulkeekin kotimaisten yritysten kautta, vähintäänkin logistiikkaketjun läpi kauppojen hyllyille tai suoraan kotitalouksille. Kotitalouksien kulutusmenot ulkomailla (ns. turismituonti) on erä, johon kotimaan tuotantoyksiköt eivät liity millään tavoin.

valmiiksi jalostettuja energiatuotteita, polttoaineita kuten maakaasua ja kivihiiltä että raakaöljyä jalostukseen. Toiseksi suurin tuoteryhmä oli metallirikasteet (19 %) ja kolmantena muut mineraalit (8 %). Myös raakapuuta tuotiin jonkin verran. Jalostetuimmista tuotteista suurin ryhmä oli kemialliset tuotteet (8 %), perässään muut jalostetut tavarat (6 %), metalli- ja konepajatuotteet (5 %) ja elektroniikkatuotteet (5 %). Myös palvelutuonnin tuotantoketjussa oli raaka-aineiden ottoa ja käyttöä ulkomailla, vaikka palvelut eivät suoraa materiaalivirtaa sisälläkään.

Kotimaan tuotantotoiminnassa luonnosta otetut raaka-aineet jalostetaan välituotteiksi ja lopulta lopputuotteiksi. Alkutuotanto, jalostus ja palvelut muodostavat keskinäisten kytkentöjen verkoston, jossa tavaroita ja palveluita tuotetaan ja käytetään. Kuviossa 13 on kotimaan tuotantotoiminnan osalta eritelty kahdeksan keskeisintä toimialaryhmää¹⁶, jotka käyttävät tuotantopanoksinaan paljon jalostamattomia kotimaisia ja tuotuja raaka-aineita. Nämä toimialat toimivat raaka-aineiden ensimmäisessä jalostusvaiheessa tuottaen joko välituotteita muille toimialoille tai lopputuotteita kotimaan loppukäyttöön ja vientiin. Kokonaisuuden hahmottamiseksi loput toimialat ryhmitelty luokkaan ”Muut toimialat”, jonka kautta kuvassa allokoituvat mm. suoraan kulutukseen tuodut tuotteet. Rakentaminen on mukana keskeisissä toimialoissa soran, hiekan ja murskeen suoran käytön vuoksi, vaikka toimiala edustaakin jo hyvin pitkälle menevää jalostamista ja käyttää tuotantopanoksinaan monenlaisia puolivalmisteita.

Puutuoteteollisuus jalosti ennen kaikkea kotimaista, mutta myös tuotua raakapuuta. Massa- ja paperiteollisuuden tärkein suora materiaalipanosa oli raakapuu. Kotimaisesta raakapuusta toimiala käytti 47 %. Lisäksi toimiala käytti mineraaleja (mm. kaoliinia) sekä tuotuja fossiilisia polttoaineita ja kemiallisia tuotteita. Öljynjalostuksen keskeinen tuotantopanosa oli tuodut fossiiliset polttoaineet eli etenkin raakaöljy. Se käytti yksinään noin 37 % kaikista fossiilisten polttoaineiden raaka-aine-ekvivalentista tuonnista. Kemianteollisuus jalosti muita mineraaleja sekä kotimaasta että ulkomailta. Rakennusaineteollisuuden keskeinen kotimainen materiaalipanosa oli sora, murske ja hiekka ja tuontipanoksista muut mineraalit. Metallien jalostus nojasi pitkälti tuontiraaka-aineisiin. Se käytti 96 % tuoduista metallirikasteista ja suuren määrän fossiilisia polttoaineita. Lisäksi toimiala käytti toiminnassaan myös kotimaisia metallirikasteita. Energiahuolto käytti polttoaineinaan ulkomailta tuotuja fossiilisia polttoaineita ja kotimaista turvetta. Lisäksi hakkeen poltto näkyy kuvassa raakapuun käyttönä. Rakentaminen käytti valtaosan kotimaisesta sorasta, murskeesta ja hiekasta, ennen kaikkea maa- ja vesirakentamisessa. Lisäksi toimiala tarvitsi monenlaisia tuontituotteita tuotannossaan. Muiden toimialojen luokassa on

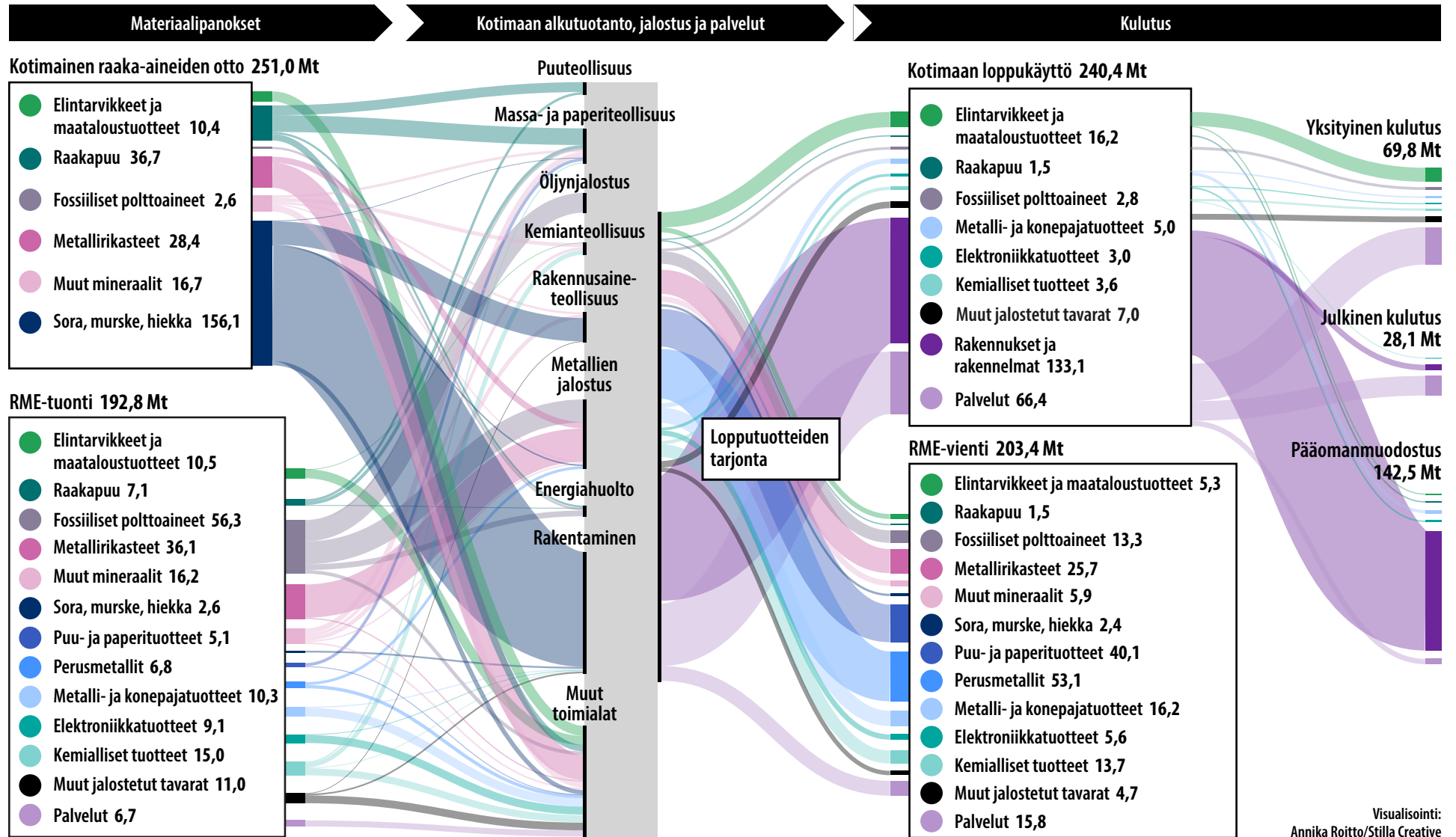
16 Toimialaryhmät on esitetty kuvassa toimialaluokituksen mukaisessa järjestyksessä.

syytä nostaa esille tiettyjä tuoteryhmiä. Kotimaiset ja tuodut elintarvikkeet ja maataloustuotteet ohjautuivat toimialaryhmän kautta mm. kotimaiseen elintarviketeollisuuteen, kotimaiseen kulutukseen ja vientiin. Kotimainen raakapuu sisälsi sekä metsähakkeen että polttopuiden käyttöä lämmityksessä eri toimialoilla ja kotitalouksissa. Metallirikasteet menivät kotimaisesta kaivostoiminnasta suoraan vientiin.

Tuoteryhmittäin tarkasteltuna ensimmäisen jalostusvaiheen raaka-ainekäyttö (pl. Muut toimialat) oli kotimaisten materiaalipanosten osalta suurinta rakentamisessa (120 Mt), rakennusaineteollisuudessa (27 Mt) ja massa- ja paperiteollisuudessa (21 Mt). Tuonnin osalta tärkeimmät toimialat olivat metallien jalostus (64 Mt), öljynjalostus (21 Mt) ja massa- ja paperiteollisuus (15 Mt). Yhteenlasketussa materiaalipanosten raaka-ainekäytössä merkittävimmät toimialat olivat rakentaminen (127 Mt), metallien jalostus (73 Mt) ja massa- ja paperiteollisuus (36 Mt).

Kansantalouden lopputuotteiden tarjonta koostuu kuviossa 13 sekä kotimaan tuotannosta että tuontituotteista. Raaka-ainekäytön näkökulmasta merkittävimmät tuoteryhmät olivat rakennukset ja rakennelmat (30 % kaikesta kansantalouden materiaalipanoksesta), palvelut (19 %), perusmetallit (12 %), puu- ja paperituotteet (9 %) ja metallirikasteet (6 %). Lopputuotteiden näkökulmasta raaka-aineita tarvitaan erityisesti rakentamisen sekä kaivannais- ja perusteollisuuden tuotantoketjuissa. Huomionarvoista on myös se, että palvelujen tuottaminen tarvitsee yhteensä noin viidesosan kansantalouden kotimaisista ja tuontimateriaalipanoksista.

Kuvio 13. Suomen kansantalouden raaka-ainevirrat tuoteryhmittäin¹⁷ vuonna 2019, Mt.



3.2.3 Raaka-aineiden kulutuksen rakenne

Kuviossa 13 lopputuotteiden kulutus on jaettu kotimaan loppukäyttöön ja vientiin kuten raaka-ainevirtojen kohdalla. Kotimaan loppukäytön eli RMC:n merkittävimmät tuoteryhmät olivat rakennukset ja rakennelmat (55 % RMC:stä), palvelut (28 %) ja elintarvikkeet ja maataloustuotteet (7 %). Raaka-aine-ekvivalentissa viennissä tuoteryhmäjakauma oli monipuolisempi. Tärkeimmät tuoteryhmät olivat perusmetallit (26 %), puu- ja paperituotteet (20 %), metallirikasteet (13 %), metalli- ja konepajatuotteet (8 %), palvelut (8 %), fossiiliset polttoaineet (7 %) ja kemialliset tuotteet (7 %). Leimallista Suomen taloudelle on tuontiraaka-aineiden jalostaminen vientituotteiksi (mm. öljyjalosteet, perusmetallit, konepajatuotteet, kemialliset tuotteet). Kotimaisista luonnonvaroista vientiä palvelee metallimalmeista jalostetut rikasteet ja raakapuusta valmistetut puu- ja paperituotteet. Talouden rakenne on ollut tällainen jo pitkään (Koskela ym., 2013).

Kotimaan loppukäytössä yksityisen kulutuksen raaka-ainekulutus keskittyi ennen kaikkea palveluihin (57 %) ja elintarvikkeisiin ja maataloustuotteisiin (21 %). Kolmanneksi suurin tuoteryhmä oli muut jalostetut tavarat (9 %). Palvelut-tuoteryhmän sisällä tärkein tuoteryhmä oli asuntojen vuokraus ja hallinta. Se sisältää sekä omistus- että vuokra-asumisen (kaikki talotyypit) lämmityksen polttoaineet, lämmitysenergian (sähkö ja kaukolämpö) käytön ja rakennusten vuosikorjaukset (ks. tietolaatikko ”Rakentaminen ENVIMAT-mallissa”). Asuminen on ENVIMAT-mallissa siis palvelu, jota kotitaloudet kuluttavat. Muita keskeisiä palveluita raaka-aineiden kulutuksen näkökulmasta olivat kaupan palvelut, ravitsemispalvelut ja kotitalouksien itse ostamat terveydenhuoltopalvelut.

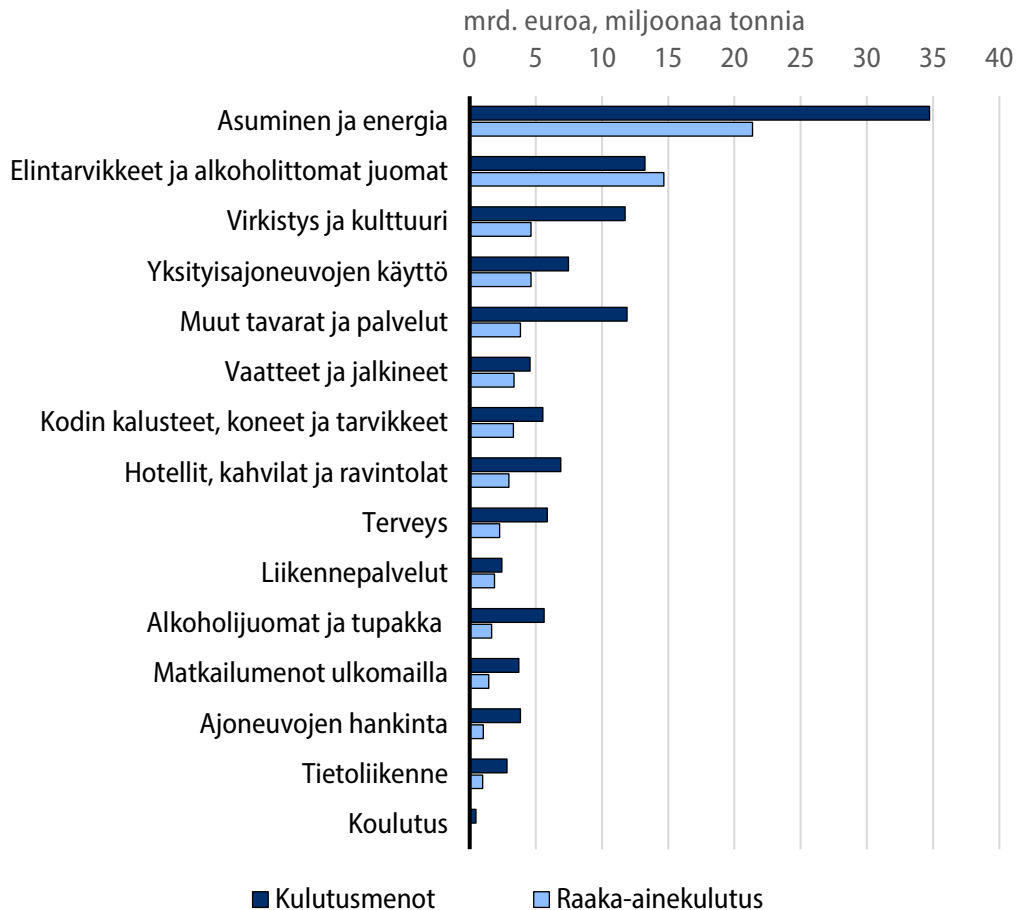
Kotitalouksien kulutusta (yksityisen kulutuksen alaryhmänä) voidaan tarkastella myös kulutushyödykkeittäin (käyttötarkoituksen mukainen luokitus COICOP). Kuviossa 14 on esitetty kotitalouksien kulutusmenot ja siihen liittyvä raaka-aineiden kulutus käyttötarkoituksen mukaan ryhmiteltynä. Asuminen ja siihen liittyvä energiankäyttö edellyttivät suurinta materiaaaliperustaa. Kotitaloudet käyttivät tähän kulutushyödykeryhmään myös selvästi eniten rahaa. Toiseksi suurin kulutushyödykeryhmä oli elintarvikkeet ja alkoholittomat juomat. Kolmanneksi suuri kulutushyödykeryhmä oli erilaiset virkistykseen, vapaa-ajanviettoon ja kulttuuriin liittyvät tavarat ja palvelut. Suhteuttamalla raaka-ainekulutusta kulutusmenojen arvoon voidaan todeta, että yleisesti ottaen palvelujen raaka-aineintensiteetti oli tavaroiden intensiteettiä pienempää.

Rakentaminen ENVIMAT-mallissa

Rakentaminen on eräs keskeisimmistä Suomen kansantalouden sektoreista. ENVIMAT-mallissa rakentaminen jakautuu kahteen toimialaan: talonrakentamiseen ja maa- ja vesirakentamiseen. Erikoistunut rakennustoiminta (TOL 43) on jaettu kahteen osaan: rakennusten ja rakennelmien purku ja rakennuspaikan valmistelutyöt on kohdistettu maa- ja vesirakentamiseen ja loput talonrakentamiseen. Kuviossa 13 esitetty rakennukset ja rakennelmat -tuoteryhmä koostuu neljästä alatuoteryhmästä: rakennuttaminen ja rakennushankkeiden kehittäminen, asuinrakennukset, muut talonrakennukset ja maa- ja vesirakentaminen.

Kansantalouden tilinpidossa uudisrakentaminen, peruskorjaukset ja maa- ja vesirakentaminen kohdistuvat loppukäyttöön eli pääomanmuodostukseen (investoinnit). Vastaavasti vuosikorjaukset ja maa- ja vesirakentamiseen liittyvä kunnossapito ovat eri toimialojen välituotekäyttöä. Kuviossa 13 rakentamiseen liittyvät materiaalivirrat kohdistuvat siis pääomanmuodostukseen uudisrakentamisen ja peruskorjausten osalta. Asuinrakennusten vuosikorjausten materiaalivirrat taas kohdistuvat mallissa palvelutuoteryhmään asuntojen vuokraus ja hallinta. Eri toimialojen omistaman rakennuskannan vuosikorjaukset ovat välituotekäyttöä, jonka materiaalivirrat kertyvät pieninä tai isompina puroina tuotantojärjestelmän kytkentöjen kautta lopputuotteiden elinkaariksi raaka-ainekäytöksi. Rakentamisen materiaalivirrat hajautuvat siis eri lopputuotteille. Kuitenkin investointeihin kuuluvat rakennukset ja rakennelmat erottuvat materiaalivirtojen osalta koko kansantalouden merkittävimpänä tuoteryhmänä.

Kuvio 14. Kotitalouksien kulutusmenot (mrd. €) ja raaka-aineiden kulutus (Mt) kulutushyödykkeittäin (COICOP) vuonna 2019.

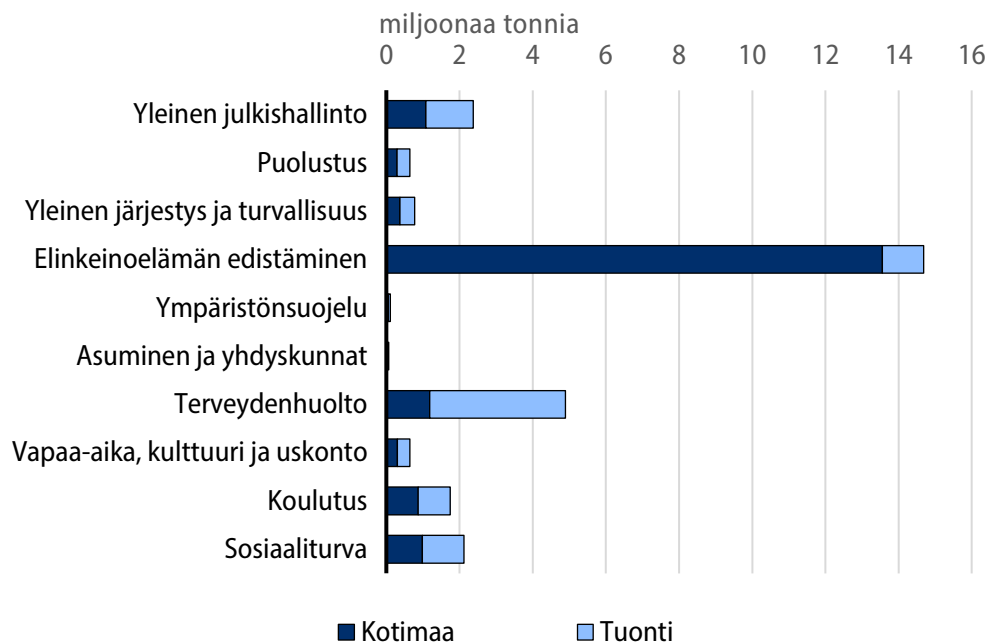


Julkisessa kulutuksessa palvelut muodostivat 74 % raaka-ainekulutuksesta ja rakennukset ja rakennelmat 22 %. Kemiallisten tuotteiden (etenkin lääkkeitä) osuus oli 4 %. Palveluiden sisällä tärkeimmät tuoteryhmät olivat tien- ja radanpito, joiden raaka-ainekäyttö linkittyy maa- ja vesirakentamiseen. Muita merkittäviä palvelutuoteryhmiä olivat sote- ja koulutuspalvelut sekä julkishallintojen palvelut. Rakennukset ja rakennelmat koostuivat täysin maa- ja vesirakentamisesta eli infrahankkeista. Julkisen sektorin raaka-aineiden kulutus palautuu siis isolta osin maa- ja vesirakentamiseen ja sen maa- ja kiviainesten käyttöön, vaikka tuoteluokittelun mukaisesti osa raaka-ainevirroista allokoidaan palveluihin.

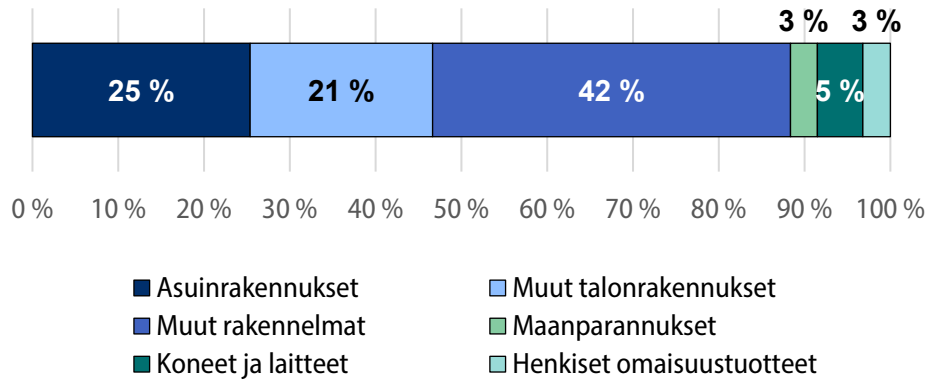
Julkisiin kulutusmenoihin liittyvää raaka-ainekulutusta voidaan tarkastella myös julkisen sektorin tehtäväjaon mukaisesti. Kuviossa 15 on esitetty eri tehtäviin liittyvä raaka-aineiden kulutus jaoteltuna kotimaisiin ja tuontituotteisiin. Elinkeinoelämän

edistäminen muodosti yksinään 52 % julkisten tehtävien raaka-ainekulutuksesta sisältäen edellä mainitut tien- ja radanpidon sekä maa- ja vesirakentamisen. Toiseksi merkittävin tehtävä oli terveydenhuolto, jossa tuonnin raaka-aineiden osuutta selittää etenkin lääkkeiden lähtöaineet ja lääkevalmisteet sekä ulkomaalaiset laitteet ja instrumentit.

Kuvio 15. Julkisten kulutusmenojen raaka-aineiden kulutus (Mt) tehtävän mukaan vuonna 2019, jaoteltuna kotimaisiin ja tuontituotteiden valmistuksen raaka-aineisiin.



Pääomanmuodostuksessa rakennukset ja rakennelmat dominoivat tuoteryhmittäistä raaka-aineiden kulutusta (89 %). Lisäksi voidaan mainita investointeihin liittyvät palvelut (4 %) ja metalli- ja konepajatuotteet (2 %). Pääomanmuodostuksesta investoinnit muodostivat 98 % raaka-ainekulutuksesta lopun kohdistuessa varastojen muutokseen. Investointien raaka-ainekulutusta voidaan tarkastella myös pääomavaroihin ryhmitellen (kuviot 16). Asuinrakennukset ja muut talonrakennukset muodostivat 46 % investointien raaka-ainekulutuksesta ja muut rakennelmat 42 % (yhteensä 88 %). Lisäksi maanparannuksiin liittyi maa- ja vesirakentamista. Suomen investointien raaka-ainekulutuksesta liittyi siis vuonna 2019 yli 90 % rakennusten ja infran rakentamiseen.

Kuvio 16. Pääomavarojen osuudet investointien raaka-ainekulutuksesta vuonna 2019.

3.2.4 Raaka-aineiden käytön ympäristövaikutukset

Luonnonvarojen ottoon ja käyttöön liittyy huomattavia ympäristövaikutuksia. Kansainvälisen luonnonvarapaneelin arvion (UNEP, 2024) mukaan globaalisti luonnonvarojen oton ja jalostuksen osuus kasvihuonekaasupäästöistä on yli 60 %, pienhiukkasten aiheuttamista terveysvaikutuksista noin 40 % ja maankäyttöön liittyvästä luontokadosta noin 90 %. Taulukossa 3 on esitetty raaka-aineiden otosta vastaavien alkutuotannon toimialojen sekä keskeisten raaka-aineita ensimmäisessä jalostusvaiheessa prosessoivien tai käyttävien toimialojen suorat ympäristövaikutukset Suomessa vuonna 2019. Näiden toimialojen yhteenlaskettuja ympäristövaikutuksia voidaan verrata koko kansantalouden aiheuttamiin suoriin ympäristövaikutuksiin. Tarkasteltavat toimialat aiheuttivat 37 % ilmastomuutosta kiihdyttävistä khk-päästöistä (pl. maankäyttösektori), 48 % happamoitumisesta ja 33 % pienhiukkaspäästöistä. Maankäytöstä valitut toimialat kattoivat jopa 96 % ja luontokadosta 93 %. Tarkasteluun otettujen toimialojen määrä luonnollisesti vaikuttaa tuloksiin, mutta kyseisen rajauksen perusteella raaka-aineiden oton ja alkuvaiheen prosessoinnin suorat ympäristövaikutukset olivat huomattavat.

Toimialojen painoarvolla oli suuriakin eroja vaikutusluokittain. Ilmastomuutoksessa keskeiset toimialat olivat maatalous, öljynjalostus, metallien jalostus ja massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistus. Happamoitumisen osalta maatalouden osuus oli yli 50 % tarkasteltujen toimialojen vaikutuksesta, toiseksi merkittävimpanä toimialana oli massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistus. Pienhiukkaspäästöjen osalta esiin nousi samat toimialat kuin edellä, mutta päinvastaisessa järjestyksessä. Maankäytössä alkutuotanto oli tärkein sektori. Metsätalouden talousmetsät, maatalouden pellot ja laitumet sekä kaivosten, louhosten ja turvesoiden pinta-alat

muodostavat yksinään valtaosan kaikesta taloudelliseen hyödyntämiseen varatusta maa-alasta. Maankäytön seurauksena myös arvioitu vaikutus luontokatoon oli suurinta edellä mainittujen toimialojen kohdalla.

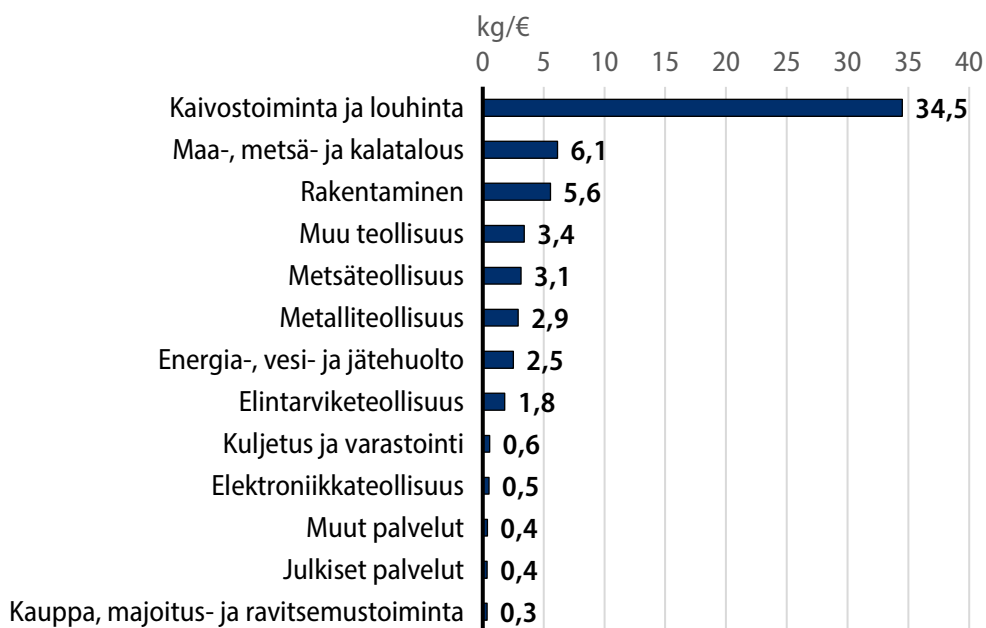
Taulukko 3. Alkutuotannon ja keskeisten raaka-aineita jalostavien (perusteollisuuden) toimialojen suorat ympäristövaikutukset Suomessa vuonna 2019.

Toimiala (ETOL)	Ilmastonmuutos Mkg CO ₂ - ekv.	Happamoituminen Mkg SO ₂ - ekv.	Pienhiukkaset Mkg PM _{2,5}	Maankäyttö km ²	Luontokato %
Maatalous ja metsästys (01)	7 864,1	43,0	1,1	27 505,8	7,04
Metsätalous (02)	371,9	0,8	0,1	208 146,5	26,58
Kalatalous (03)	130,2	1,0	0,1	0,5	0,00
Kaivostoiminta ja louhinta (05–09)	275,8	0,4	0,7	1 519,4	0,46
Elintarviketeollisuus ym. (10–12)	287,0	0,5	0,4	27,7	0,01
Puun sahaus, höyläys ja kyllästys (161)	22,8	0,7	0,1	3,0	0,00
Massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistus (171)	2 751,1	13,4	1,4	28,5	0,01
Öljynjalostus (192)	2 932,4	2,9	0,0	5,0	0,00
Lannoitteiden ja typpiyhdisteiden valmistus (2015)	344,7	0,5	0,0	0,3	0,00
Muiden kemiallisten tuotteiden valmistus (205)	96,9	0,0	0,0	6,1	0,00
Rakennusaineteollisuus (23)	1 519,1	1,3	0,0	29,0	0,01
Metallien jalostus (24)	2 820,3	5,5	0,3	12,4	0,00
Rakentaminen (41–43)	1 866,3	3,6	0,5	96,8	0,03
Yhteensä	21 282,7	73,6	4,6	237 381,1	34,14
Kansantalous yhteensä	57 977,1	152,12	14,10	247 833,2	36,72
Tarkasteltujen toimialojen osuus	37 %	48 %	33 %	96 %	93 %

Toimialojen ympäristövaikutuksia ja raaka-aineiden käyttöä voidaan tarkastella myös elinkaarisesti (ks. 2.2.1). Tällöin arviointiin sisältyy kunkin toimialan koko arvoketjun vaikutukset ulkomaille asti. Kuviossa 17 on esitetty Suomen kaikkien toimialojen (13 toimialaryhmän tarkkuudella) raaka-aineintensiteetit (kg/€). Raaka-aineintensiteetti kertoo, kuinka paljon toimialan tuotanto on aiheuttanut raaka-aineiden käyttöä koko arvoketjussa suhteessa sen taloudelliseen tuotokseen. Toimialaryhmien välillä oli erittäin suuria eroja. Kaivostoiminnan ja louhinnan intensiteetti oli 34,5. Se oli peräti 5,6-kertainen toiseksi intensiivisempään toimialaryhmään eli maa-, metsä- ja kalatalouteen. Kolmantena oli rakentaminen. Palvelutoimialojen raaka-aineintensiteetit olivat varsin pieniä, samoin kuin elektroniikkateollisuuden.

Raaka-aineintensiteettien eroja selittävät toimialojen "sijainti" raaka-ainevirtojen jalostuksen ketjussa, tuotettujen lopputuotteiden luonne ja toimialan tarjoamien tuotteiden arvo. Alkutuotannon toimialojen raaka-ainekäyttöön lasketaan otettujen raaka-aineiden massa, mikä kasvattaa arvoketjun raaka-ainemäärää huomattavasti. Lisäksi jalostamattomat luonnonvarat ovat kilohinnaltaan usein alhaisia. Rakentaminen edustaa pitkälle menevää jalostusta, mutta talo- ja infrarakenteet vaativat huomattavaa raaka-ainekäyttöä. Elektroniikkateollisuus hyödyntää tuoteketjussaan mm. metallimineraaleja ja muita raaka-aineita, mutta tuotteiden korkea jalostusaste ja hinta kasvattavat jakajana käytettävää tuotosta. Palvelutuotannon arvoketjuissa raaka-ainekäyttö on selvästi vähäisempää kuin jalostavassa teollisuudessa.

Kuvio 17. Toimialojen raaka-aineintensiteetit (kg/€) kolmentoista toimialaryhmän tarkkuudella Suomessa vuonna 2019.



Taulukossa 4 on esitetty Suomen keskeisimmät toimialat viiden elinkaarisen indikaattorin valossa¹⁸. Indikaattorit ovat raaka-aineiden käyttö¹⁹, kasvihuonekaasupäästöt (CO₂-ekv.), maankäyttö, maankäytöstä johdettu luontokato (PDF) ja arvonlisäys. Neljä ensimmäistä indikaattoria sisältävät kunkin toimialan koko arvoketjun vaikutukset Suomessa ja ulkomailla. Arvonlisäyksen osalta indikaattori kuvaa vaikutuksia kotimaassa. Toimialojen arvoketjut ja sitä kautta elinkaariset vaikutukset ovat osittain päällekkäisiä, joten niiden summaaminen johtaa moninkertaiseen laskentaan (ks. luku 2.2.1).

Kunkin indikaattorin osalta avaintoimialoiksi valittiin kymmenen suurimman arvon saanutta toimialaa (148 toimialaryhmän tarkkuus). Tarkasteluun valikoitui lopulta 21 toimialaa, koska samat toimialat olivat avaintoimialoja useilla indikaattoreilla (avaintoimialojen indikaattoriarvot löytyvät liitteestä 9). Taulukossa 4 indikaattorien arvoista on laskettu indeksi (vaihteluväli 0–1), ja toimialat on järjestetty toimialansaamien indeksiarvojen summan mukaan.

Massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistus, talonrakentaminen ja asuntojen vuokraus ja hallinta olivat avaintoimialoja kaikkien viiden indikaattorin suhteen. Kaksi ensimmäistä toimialaa eivät olleet tärkeimpiä toimialoja millään indikaattorilla, mutta vaikutuksiltaan merkittäviä. Kolmas toimiala oli tärkein toimiala arvonlisäyksessä ja merkittävä etenkin kasvihuonekaasupäästöjen osalta. Metsänhoito oli avaintoimiala kolmella indikaattorilla (suurin vaikutus maankäytössä ja luontokadossa), samoin varsinainen kotieläintalous (tärkeä etenkin khk-päästöissä ja luontokadossa).

Jalostettujen öljytuotteiden valmistus oli tärkein toimiala khk-päästöissä, ja maa- ja vesirakentaminen raaka-ainekäytössä. Raudan, teräksen ja rautaseosten valmistus oli avaintoimiala raaka-aineiden käytössä ja khk-päästöissä. Muu kauppa²⁰ oli tärkeässä roolissa arvonlisäyksessä ja energiasektorin toimialat khk-päästöissä. Puutuoteteollisuus oli avaintoimiala maankäytössä ja luontokadossa. Raaka-aineiden käytössä merkittävät toimialat betoni-, kipsi- ja sementtituotteiden valmistus, metallimalmien louhinta sekä soran, hiekan ja saven otto eivät kuitenkaan nousseet avaintoimialoiksi muilla indikaattoreilla.

Avaintoimialojen analysoinnin perusteella voidaan sanoa, että raaka-aineiden ottoon ja prosessointiin liittyy Suomessa huomattavia ympäristövaikutuksia ja samaan aikaan merkittävää taloudellista arvonluontia.

18 Vastaava tarkastelu Suomen kansantaloudesta vuoden 2008 osalta, ks. Koskela ym., 2013.

19 Raaka-aineiden käyttö sisältää myös toimialan luonnosta ottaman raaka-ainemäärän.

20 Vähittäis- ja tukkukauppa pl. elintarvikkeiden tukku- ja vähittäiskauppa ja jätteiden tukkukauppa.

Taulukko 4. Suomen kansantalouden avaintoimialojen elinkaarisista vaikutuksista lasketut indeksit. Kunkin indikaattorin suurin indeksiarvo on lihavoitu.

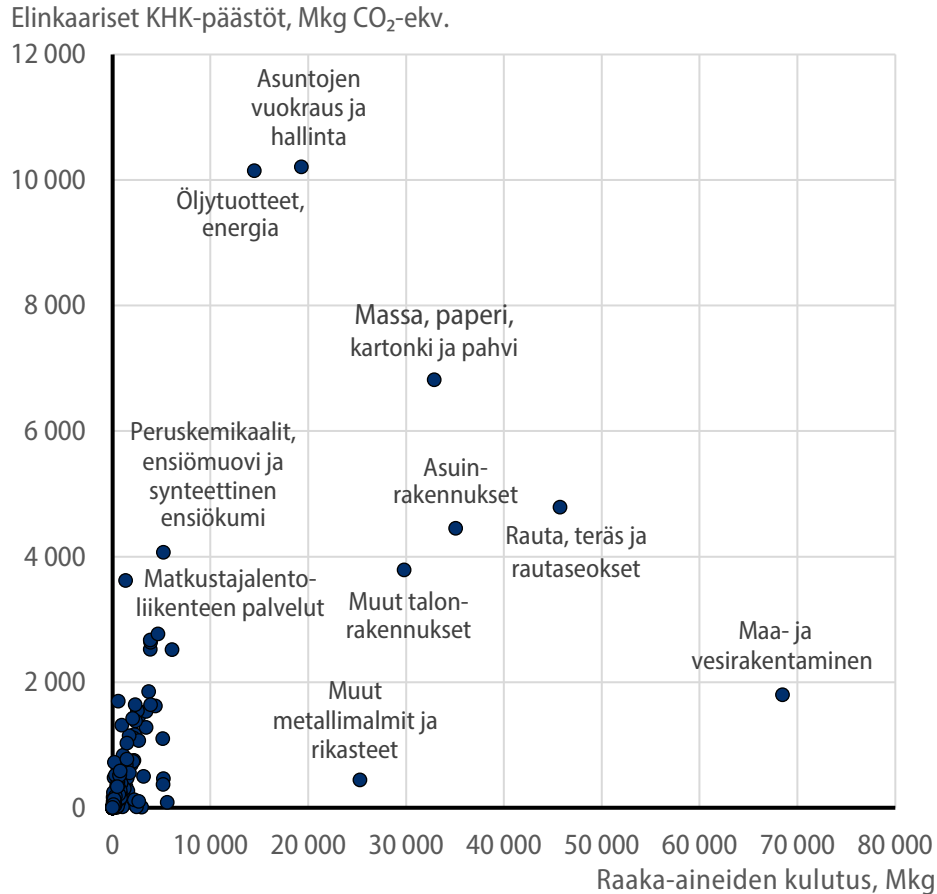
Toimiala	Raaka- aineiden käyttö	Khk- päästöt	Maan- käyttö	Luonto- kato	Arvon- lisäys
Massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistus	0,3	0,6	0,6	0,6	0,3
Talonrakentaminen ym.	0,5	0,6	0,2	0,2	0,8
Asuntojen vuokraus ja hallinta	0,1	0,6	0,2	0,2	1,0
Metsänhoito	0,3	0,0	1,0	1,0	0,1
Varsinainen kotieläintalous	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1
Jalostettujen öljytuotteiden valmistus	0,2	1,0	0,0	0,0	0,1
Maa- ja vesirakentaminen ym.	1,0	0,2	0,0	0,0	0,3
Raudan, teräksen ja rautaseosten valmistus	0,5	0,4	0,0	0,0	0,1
Muu kauppa	0,0	0,2	0,1	0,1	0,6
Sähkön tuotanto	0,1	0,6	0,0	0,0	0,2
Puun sahaus, höyläys ja kyllästys	0,1	0,1	0,5	0,5	0,1
Kaukolämmön ja kylmän tuotanto	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1
Teurastus ja lihatuotteiden valmistus	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1
Tieliikenteen tavarankuljetus, putkijohtokuljetus	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2
Ilmaliikenne	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1
Kasvinviljely	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0
Puutuotteiden valmistus	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Betoni-, kipsi- ja sementtituotteiden valmistus	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
Metsien nettokasvu	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0
Metallimalmien louhinta	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Soran, hiekan ja saven otto	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0

Huom: Indeksi on laskettu jakamalla kunkin toimialan indikaattoriarvo merkittävimmän toimialan indikaattoriarvolla. Tällöin kunkin indikaattorin osalta merkittävin toimiala saa arvon 1.

Kansantalouden raaka-ainevirtojen ja ympäristövaikutusten yhteyttä voidaan analysoida myös lopputuotteiden näkökulmasta. Tuotteiden loppukäyttöä (kotimaa ja vienti) tarkasteltaessa tuoteryhmien vaikutukset summautuvat kansantalouden kokonaisvaikutuksiin. Kuviossa 18 on kuvattu tuoteryhmien elinkaarisen raaka-aineiden kulutuksen ja khk-päästöjen välistä riippuvuutta (229 tuoteryhmän tarkkuus). Valtaosa tuoteryhmistä sijoittuu koordinaatistossa vasempaan alakulmaan. Tarkastelu kuitenkin paljastaa useita tuoteryhmiä, joiden raaka-aineiden kulutus oli poikkeuksellisen suurta: rakentamisen lopputuotteet, rauta ja teräs, sellu ja paperi sekä metallimalmit ja -mineraalit. Eniten khk-päästöjä aiheuttivat asuminen ja siihen liittyvä energiankäyttö sekä jalostetut öljytuotteet²¹. Massa, paperi, kartonki ja pahvi -tuoteryhmä erottuu merkittävänä tuoteryhmänä molempien indikaattorien valossa. Myös peruskemikaalit ja lentoliikenteen matkustajapalvelut erottuivat päästövaikutuksiltaan. Kaikkia tuoteryhmiä tarkasteltaessa raaka-aineiden kulutus ei juurikaan korreloi khk-päästöjen kanssa. Tuoteryhmillä voi olla samansuuruiset khk-päästövaikutukset, mutta hyvin erilainen raaka-aineiden kulutus.

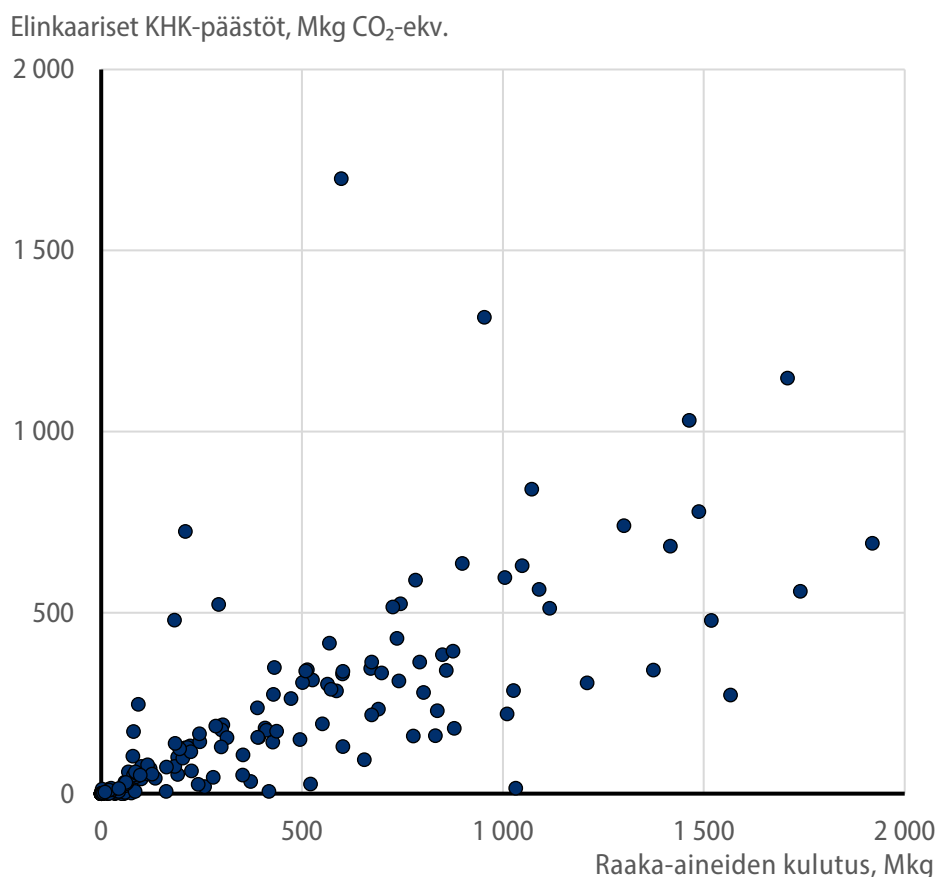
21 Ei sisällä voitelukäyttöön tai raaka-aineiksi jalostettuja öljytuotteita. Khk-päästöt eivät myöskään sisällä käytön suoria päästöjä.

Kuvio 18. Raaka-aineiden kulutus (Mkg) ja khk-päästöt (Mg CO₂-ekv.) lopputuotteittain Suomessa vuonna 2019. Piste kuvaa yhden tuoteryhmän tietoja.



Kun molempien indikaattoreiden suurimmat havainnot ja varastojen muutokseen liittyvät negatiiviset arvot jätettiin tarkastelusta pois, käsitys indikaattoreiden suhteesta tarkentui. Kuviossa 19 on esitetty osasuurennos kuviossa 18 eli mukaan on valittu tuoteryhmät, joiden raaka-aineiden kulutus ja khk-päästöt olivat välillä 0–2 000 miljoonaa kilogrammaa (massana tai CO₂-ekvivalenttina). Tarkasteluun jäi noin 170 tuoteryhmää. Tässä havaintojoukossa indikaattoreiden korrelaatio oli 0,74. Jalostetumpien tavaroiden ja useimpien palveluiden kohdalla havaittiin siis lineaarista riippuvuutta, jossa kasvavaan raaka-aineiden kulutukseen liittyy myös kasvavat khk-päästöt.

Kuvio 19. Raaka-aineiden kulutus (Mkg) ja khk-päästöt (Mg CO₂-ekv.) valikoitujen lopputuotteiden osalta Suomessa vuonna 2019. Piste kuvaa yhden tuoteryhmän tietoja.

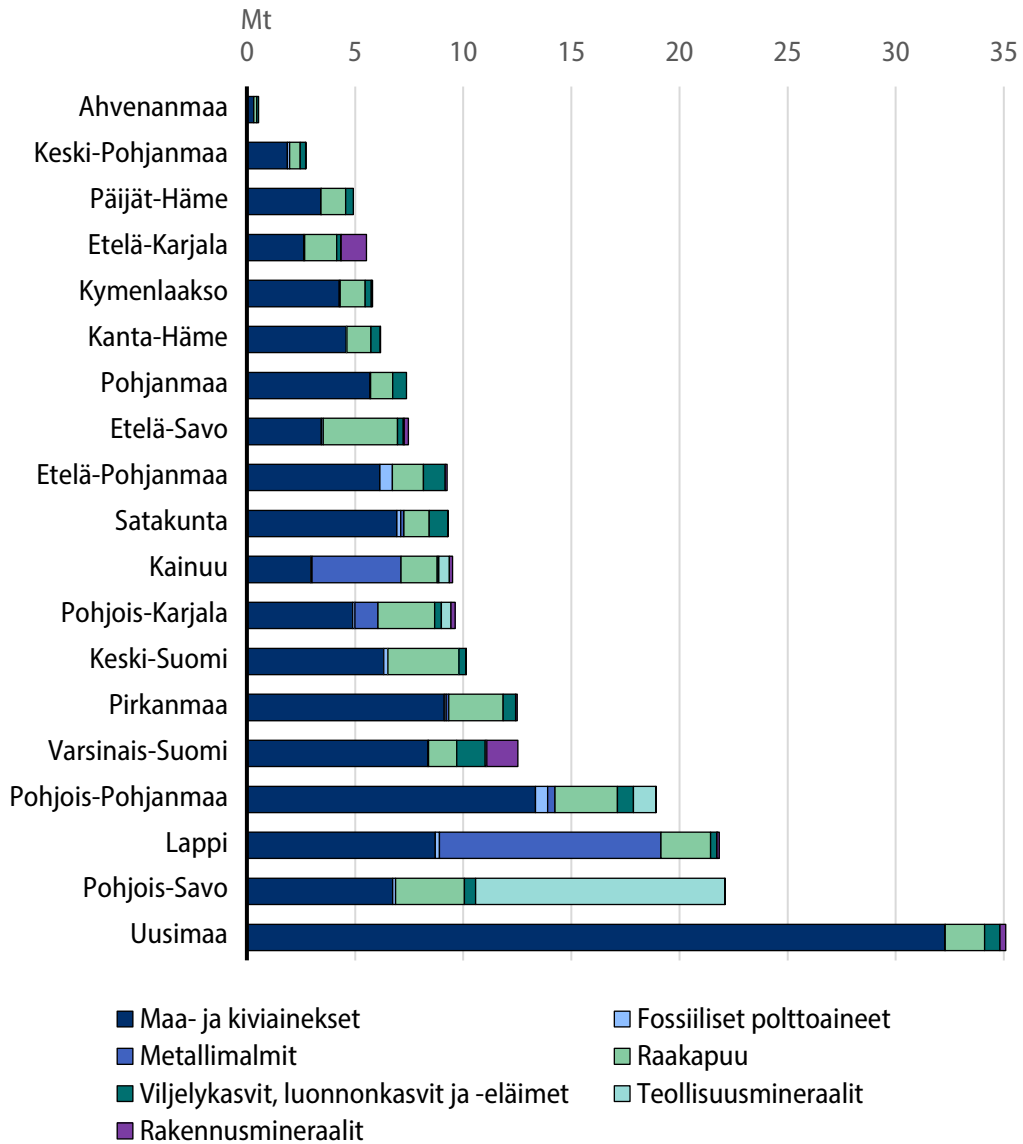


3.3 Luonnonvarojen otto ja kulutus maakunnittain vuonna 2015

Vuonna 2015 Suomen kotimainen luonnonvarojen otto oli noin 211,3 Mt. Otto jakautui eri tavoin Suomen maakuntien kesken (kuvio 20). Uudenmaan luonnonvarojen otto kattoi tästä 35,1 Mt eli lähes viidenneksen (17 %). Kotimaisten luonnonvarojen oton kärjessä Uudenmaan jälkeen olivat Pohjois-Savo 22,1 miljoonalla tonnilla (10 %), Lappi 21,8 miljoonalla tonnilla (10 %) sekä Pohjois-Pohjanmaa 18,9 miljoonalla tonnilla (9 %). Näiden maakuntien korkeaa ottoa selittävät raskaiden mineraalien ja maa-ainesten korkeat louhintamäärät, jotka tarkemmin ovat Uudellamaalla ja Pohjois-Pohjanmaalla erityisesti rakentamisessa käytetty sora ja murskeaines, Pohjois-Savossa teollisuusmineraalit ja Lapissa metallimalmit. Vähiten kotimaisia luonnonvaroja otettiin Ahvenanmaalla 0,5 Mt (0,3 %), Keski-Pohjanmaalla 2,7 Mt

(1,3 %), Päijät-Hämeessä 4,9 Mt (2,3 %) ja Etelä-Karjalassa 5,5 Mt (2,6 %). Kuvio 20 myös osoittaa, että maa- ja kiviainekset olivat lähes poikkeuksetta suurin raaka-ainelaji kaikissa maakunnissa, pois lukien Kainuussa (jossa merkittävin raaka-ainelaji oli metallimalmit), Etelä-Savossa (jossa merkittävin raaka-ainelaji oli raakapuu) sekä edellä mainituissa Pohjois-Savossa ja Lapissa.

Kuvio 20. Kotimainen luonnonvarojen otto maakunnissa raaka-ainelajeittain vuonna 2015, Mt.



Taulukko 5 esittää, kuinka kotimaisten raaka-aineiden ottomäärät jakautuivat maakuntien kesken vuonna 2015. Viljelykasvien sekä luonnonkasvien ja -eläinten²² kotimainen otto oli suurinta Varsinais-Suomessa (14 %), Etelä-Pohjanmaalla (11 %) ja Satakunnassa (9 %). Raakapuun kotimainen otto painottui erityisesti Etelä-Savoon (10 %), Keski-Suomeen (10 %) ja Pohjois-Savoon (9 %). Fossiilisten polttoaineiden eli turpeen tuotanto keskittyi pääosin Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalle (molemmat 23 %). Metallimalmeja louhittiin eniten Lapissa (64 %) sekä Kainuussa (26 %), missä myös sijaitsivat Suomen suurimmat metallimalmikaivokset Kevitsan kupari- ja nikkeli-kaivos (Sodankylä), Kemin kromikaivos (Keminmaa) ja Talvivaaran monimetallikaivos (Sotkamo). Teollisuusmineraaleja louhittiin lähes yksinomaan Pohjois-Savossa Siilinjärven apatiittikaivoksesta (85 %) ja rakennusmineraaleja (kalkki- ja kipsikivet) pääosin Varsinais-Suomessa (38 %) ja Etelä-Karjalassa (31 %).

22 Luonnonkasvit ja -eläimet koostavat alle 5 % raaka-ainelajikokonaisuudesta.

Taulukko 5. Kotimaisen luonnonvarojen oton jakautuminen raaka-ainelajeittain maakuntien kesken vuonna 2015 (Mkg).

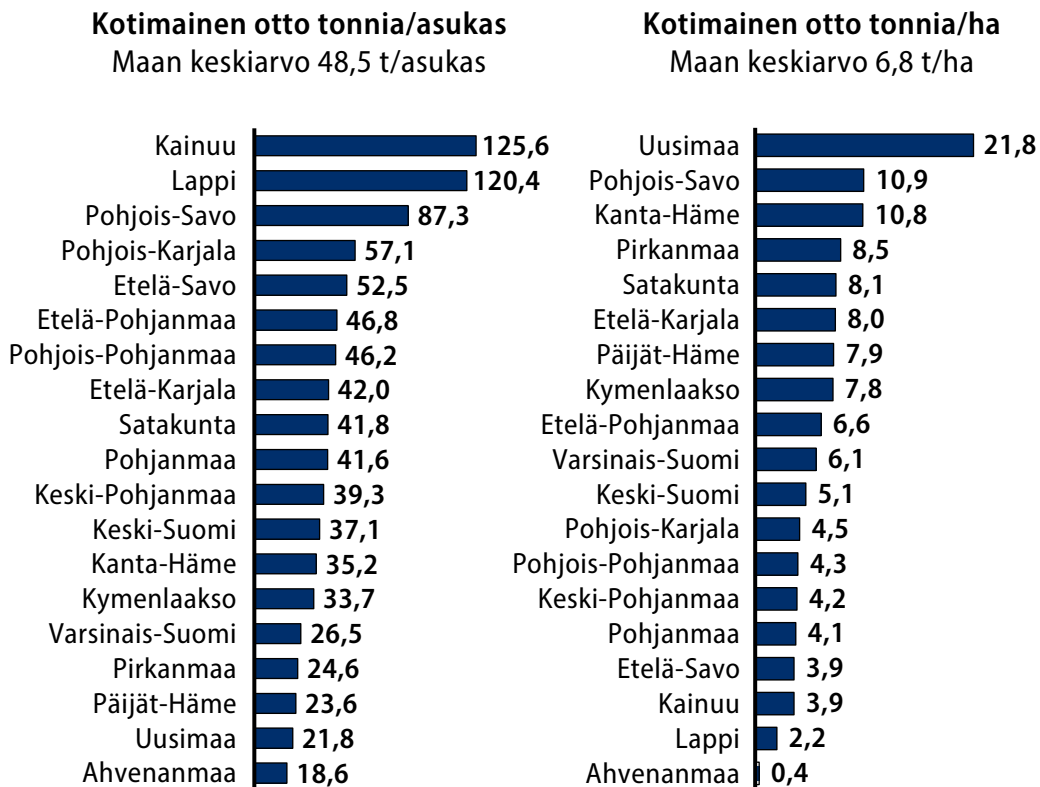
	Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	Raakapuu	Fossiiliset polttoaineet	Metallimalmit	Teollisuusmineraalit	Rakennusmineraalit	Maa- ja kiviainekset
Ahvenanmaa	92	137	0	0	0	0	309
Etelä-Karjala	200	1 468	51	0	19	1 166	2 623
Etelä-Pohjanmaa	1 011	1 439	567	0	0	81	6 153
Etelä-Savo	276	3 434	90	0	43	184	3 432
Kainuu	85	1 663	66	4 119	476	155	2 945
Kanta-Häme	423	1 109	26	0	0	1	4 597
Keski-Pohjanmaa	249	490	94	0	0	0	1 875
Keski-Suomi	330	3 293	183	0	0	2	6 327
Kymenlaakso	281	1 151	44	0	0	59	4 272
Lappi	297	2 282	190	10 246	2	102	8 715
Pirkanmaa	583	2 520	99	110	0	61	9 119
Pohjanmaa	648	1 019	25	0	0	0	5 689
Pohjois-Karjala	315	2 623	107	1 054	447	193	4 892
Pohjois-Pohjanmaa	726	2 899	557	339	1 040	4	13 343
Pohjois-Savo	506	3 196	131	0	11 515	31	6 736
Päijät-Häme	360	1 129	6	0	0	0	3 423
Satakunta	858	1 167	174	160	0	12	6 930
Uusimaa	711	1 818	9	0	0	274	32 276
Varsinais-Suomi	1 329	1 295	32	0	66	1 439	8 365
Yhteensä	9 281	34 130	2 451	16 027	13 608	3 766	132 020

Vaikka maa- ja kiviainekset olivat merkittävä raaka-aine kaikissa maakunnissa, suurimmat määrät otettiin Uudellamaalla (23 %) ja Pohjois-Pohjanmaalla (10 %). On syytä mainita, että maa- ja kiviainekset sisältävät muun muassa rakentamisalueilta otetut sora- ja murskeainekset, joiden massamäärät perustuvat laskennallisiin arvioihin myös koko maan tasolla. Epävarmuutta lisää maakuntatasolla se, että rakentamisalueilta saatavien kiviainesten määrä on allokoitu maakunnille maa- ja vesirakentamisen euromääräisen tuotoksen mukaisesti, koska tietoa ottomääristä maakunnittain ei ole saatavilla. Lähestymistavan lopputuloksena tämä laskennallinen erä kattaa omasta luonnonvarojen otosta esimerkiksi Uudellamaalla peräti 60 % korkean rakentamisen volyymin seurauksena.

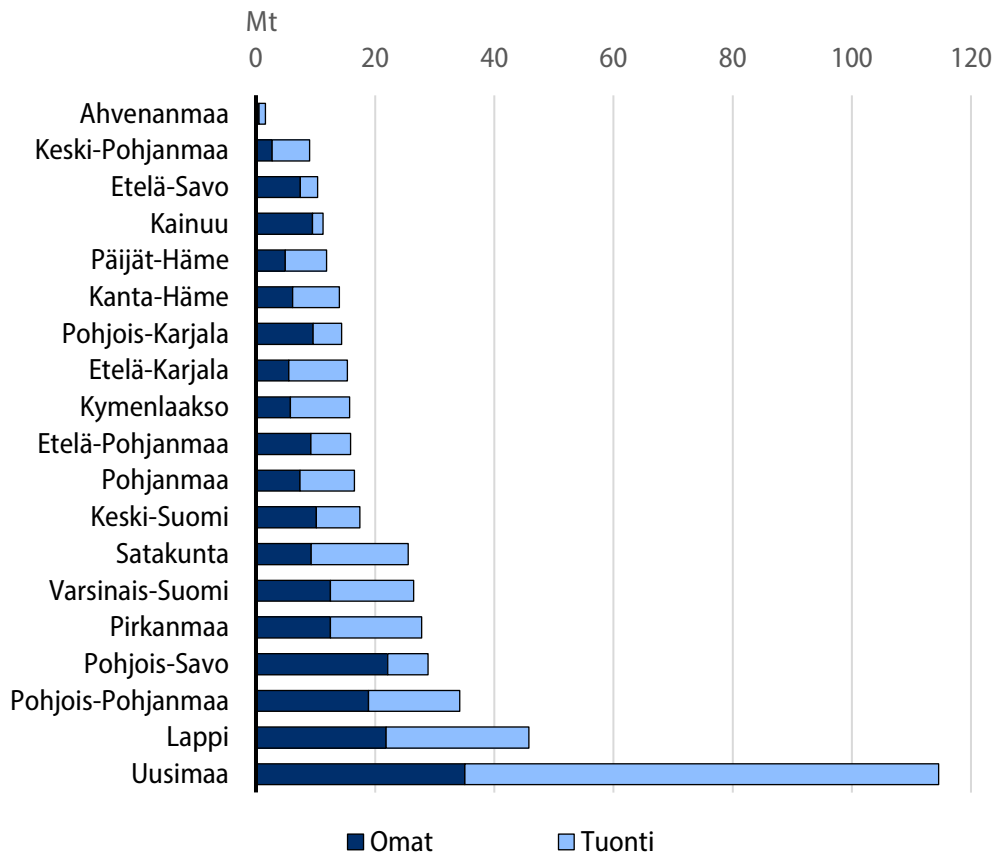
Maakuntia voidaan vertailla paremmin suhteuttamalla kotimainen luonnonvarojen otto maakunnan väkilukuun sekä pinta-alaan (kuvio 21). Väkilukuun suhteutettuna Kainuu (125,6 t/as.) ja Lappi (120,4 t/as.) ottivat eniten kotimaisia luonnonvaroja vuonna 2015 maan keskiarvon ollessa 48,5 tonnia per asukas. Myös Pohjois-Savo (87,3 t/as.) ja Pohjois-Karjala (57,1 t/as.) sijoituivat reilusti maan keskiarvon yläpuolelle. Keskimääräistä matalampi väkiluku ja kaivoshankkeiden keskittyminen Itä- ja Pohjois-Suomeen yhdistävät näitä neljää maakuntaa, joiden louhintamäärät kattoivat lähes 85 % kaikesta Suomen mineraalien kaivuusta vuonna 2015. Kainuun osalta korkeaa luonnonvarojen ottoa asukasta kohden selittää erityisesti maakunnan matala väkiluku, ei niinkään luonnonvarojen oton korkea taso suhteutettuna muuhun maahan.

Siinä missä Uudenmaan kotimainen luonnonvarojen otto vuonna 2015 oli absoluuttisesti suurinta, väkilukuun suhteutettuna Uusimaa sijoittui kuitenkin toiseksi viimeiseksi 21,8 tonnilla per asukas korkean väkiluvun vuoksi. Toisaalta pinta-alaan suhteutettuna (sis. makean veden ja merialueet) Uusimaa sijoittui taas kotimaisten luonnonvarojen osalta kärkisijalle 21,8 tonnilla hehtaaria kohden (t/ha). Lappi sen sijaan on Suomen maakunnista merkittävästi suurin, kattaen 26 % Suomen kokonaispinta-alasta. Tämä vaikuttaa sen pinta-alaan suhteutettuun kotimaisten luonnonvarojen ottoon, joka oli toiseksi pienintä (2,2 t/ha) koko maassa Ahvenanmaan (0,4 t/ha) jälkeen.

Kuvio 21. Kotimainen luonnonvarojen otto maakunnissa vuonna 2015 väkilukuun (t/asukas) ja pinta-alaan (t/ha) suhteutettuna.



Kuviossa 22 esitellään maakuntien raaka-ainepanosta (RMI). Reilusti eniten raaka-ainepanoksia vaati vuonna 2015 Uusimaa (114,6 Mt) ja keskimääräistä enemmän myös Lappi (45,8 Mt), Pohjois-Pohjanmaa (34,2 Mt), Pohjois-Savo (28,9 Mt), Pirkanmaa (27,8 Mt) ja Varsinais-Suomi (26,5 Mt) sekä Satakunta (25,6 Mt). Sen sijaan vähiten raaka-ainepanoksia käyttivät muun muassa Ahvenanmaa (1,6 Mt), Keski-Pohjanmaa (9 Mt), Etelä-Savo (10 Mt). Maakuntien raaka-ainepanosten tarkastelussa on kuitenkin huomioitava, että maakuntien yhteenlasketut raaka-ainepanokset ylittävät koko Suomen kansantalouden raaka-ainepanokset. Syynä tähän on se, että maakuntien raaka-ainepanokset koostuvat kotimaisen oton lisäksi tuontivirroista sekä ulkomailta että muista maakunnista, siinä missä koko Suomen talouden raakapanokset koostuvat kotimaisen oton lisäksi ainoastaan tuontivirroista ulkomailta. Näin ollen maakuntien raaka-ainepanosten laskennassa syntyy rakenteellista päällekkäisyyttä, jolloin yhden maakunnan tuonnin raaka-ainepanokset toisesta maakunnasta sisältyvät jo toisen maakunnan viennin raaka-ainepanoksiin. Maakunnat ovat silti vertailukelpoisia keskenään, sillä luvut kuvastavat niitä tosiasiallisia raaka-ainepanoksia, joita maakunta on omassa tuotannossa vaatinut vastatakseen omaan kulutukseen, investointeihin ja vientiin.

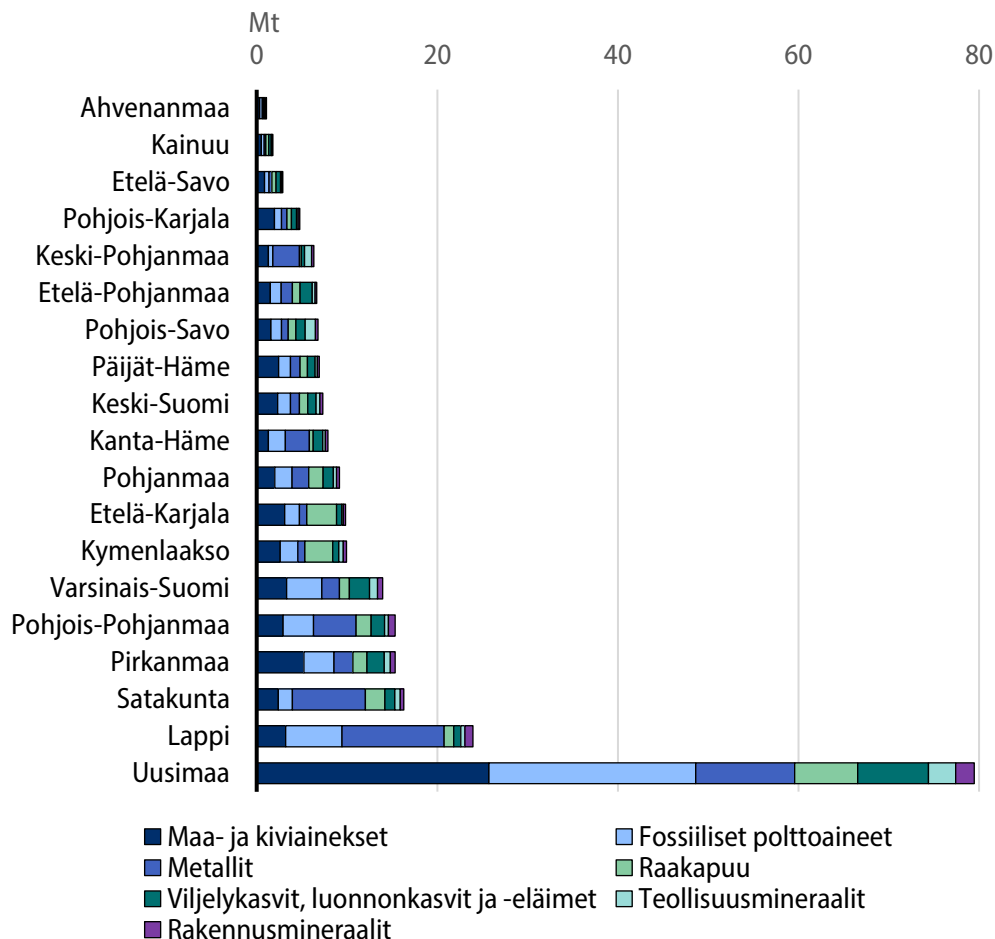
Kuvio 22. Maakuntien raaka-ainepanokset (RMI) vuonna 2015, Mt.

Raaka-ainepanosten jakautumisen kotimaiseen ottoon ja raaka-aine-ekvivalenttiin tuontiin (kuvio 22) voidaan tulkita kertovan toisaalta maakunnan omavaraisuudesta luonnonvarojen osalta ja toisaalta riippuvuudesta muiden alueiden raaka-aineista vastatakseen maakunnan kysyntään, investointitarpeisiin ja vientiin. Tuonnin osuus raaka-ainepanoksista oli suurinta Keski-Pohjanmaalla (70 %), Uudellamaalla (69 %), Ahvenanmaalla (67 %), Etelä-Karjalassa (64 %) ja Kymenlaaksossa (63 %). Sen sijaan omien luonnonvarojen osuus raaka-ainepanoksista oli suurinta etupäässä Kainuussa (84 %), Pohjois-Savossa (77 %), Etelä-Savossa (72 %) ja Pohjois-Karjalassa (67 %).

Materiaalivirtoja tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että materiaalit, joilla on suuri massa, hallitsevat tuotettuja materiaalivirtaindikaattoreita. Siksi omien luonnonvarojen ja tuonnin suhdetta tulisi tarkastella myös materiaalikategorioittain. Esimerkiksi Kainuun korkeaa "omavaraisuusastetta" selittää olennaisesti Talvivaaran kaivoksen suuret metallimalmien louhintamäärät. Toisaalta esimerkiksi Keski-Pohjanmaalla ei ole merkittävää alkutuotantoa, mutta siellä sijaitsee kemian- ja metalliteollisuuden prosessilaitoksia, jolloin suhteessa omien luonnonvarojen ottoon

maakuntaan tuotiin merkittäviä määriä metallimalmeja ja teollisuusmineraaleja niin omaan loppukäyttöön kuin myös jatkojalostettavaksi. Siten raaka-ainepanosten jakautuminen kotimaiseen ottoon ja tuontiin heijastelee sekä maakunnan omien luonnonvarojen runsautta ja laatua että maakunnan talouden ja tuotantotoiminnan rakennetta. Nämä maakuntien ominaispiirteet vaikuttavat myös siihen kuinka paljon ja minkälaisia raaka-aineita maakuntiin tuodaan.

Kuvio 23 esittää raaka-aine-ekvivalentin tuonnin maakuntiin raaka-ainelajeittain vuonna 2015. Pääasiallisesti lähes kaikissa maakunnissa tuontia hallitsivat maa- ja kiviainekset (keskimäärin 26 %), fossiiliset polttoaineet ja metallimalmit (molemmat keskimäärin 20 %). Sen sijaan esimerkiksi Etelä-Karjalassa ja Kymenlaaksossa, joissa sijaitsee sellu-, paperi- ja kartonkitehtaiden keskittymiä, raakapuun osuus kattoi kokonaistuonnista yli 30 % siinä missä muissa maakunnissa raakapuun tuonti kattoi keskimäärin vain noin 13 %. Keski-Pohjanmaan lisäksi metallimalmit korostuivat myös Lapin, Satakunnan, Kanta-Hämeen ja Pohjois-Pohjanmaan tuonnissa sekä teollisuusmineraalit Pohjois-Savon tuonnissa. Kaikissa edellä mainituissa maakunnissa sijaitsee keskeisiä metallien ja mineraalien prosessointilaitoksia. Lisäksi Uudenmaan ja Varsinais-Suomen tuonnissa korostuivat fossiilisten polttoaineiden tuonti. On hyvä huomioida, että osa tästä tuonnista myös ohjautuu edelleen vientiin. Maakuntien viennin käsittely on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle, mutta tarkentavia tietoja maakuntien raaka-ainepanoksista ja viennistä raaka-aineittain on saatavilla liitteessä 10.

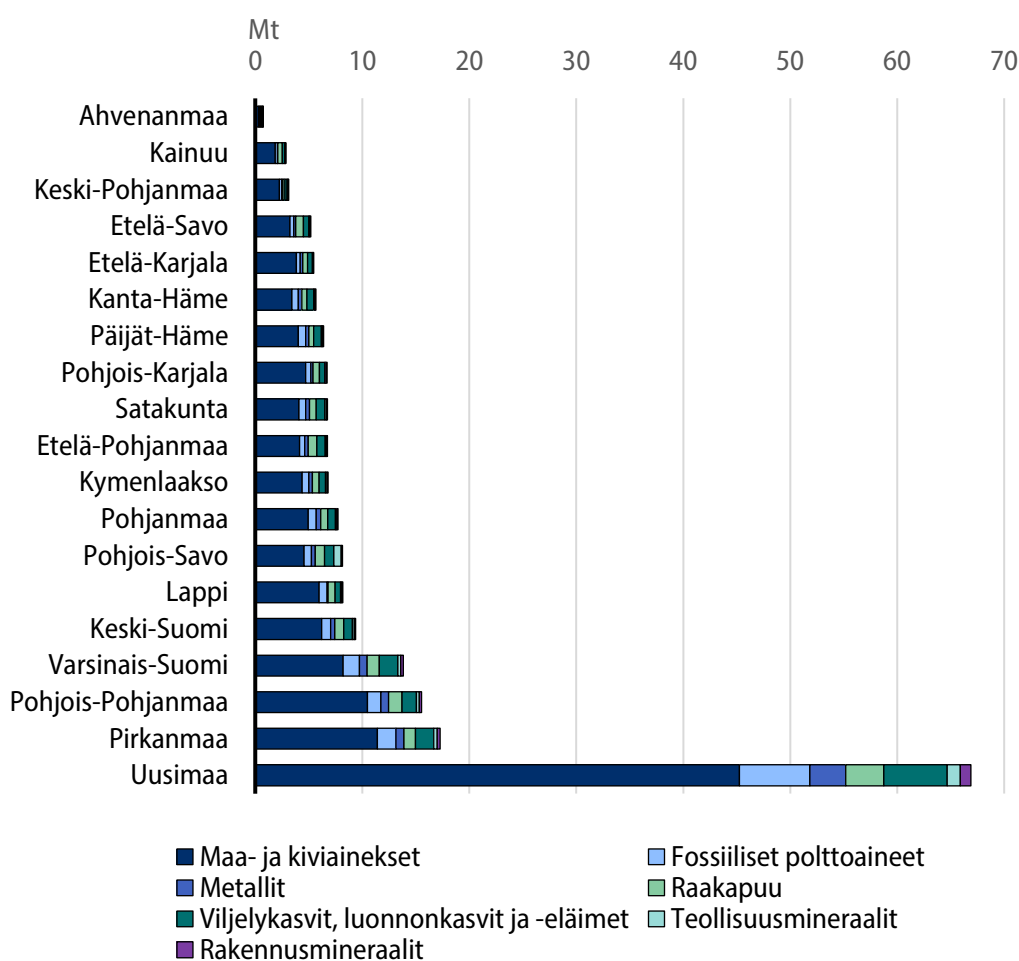
Kuvio 23. Raaka-aine-ekvivalentti tuonti maakuntiin raaka-ainelajeittain vuonna 2015, Mt.

Maakuntien raaka-aineiden kulutus (RMC) voidaan summata koko maan tasolla, joka vuonna 2015 oli noin 203,3 miljoonaa tonnia²³. Tästä eniten raaka-aineita kulutti Uusimaa (66,8 Mt) kattaen kolmanneksen Suomen raaka-aineiden kulutuksesta (kuvio 24). Toiseksi eniten raaka-aineita kulutti Pirkanmaa (17,3 Mt), jonka jälkeen tulivat Pohjois-Pohjanmaa (15,5 Mt) ja Varsinais-Suomi (13,8 Mt). Pienintä raaka-aineiden kulutus oli Ahvenanmaalla (0,72 Mt) Kainuussa (2,9 Mt), Keski-Pohjanmaalla (3,1 Mt) ja Etelä-Savossa (5,2 Mt). Raaka-ainelajeittain tarkasteltuna maa- ja kiviainekset kattoivat suurimman osan kokonaiskulutuksesta kaikissa maakunnissa (keskimäärin 64 %),

23 Koko maan ENVIMATscen-mallin tuottama RMC-arvo vuodelle 2015 on noin 0,7 % pienempi kuin 19 maakuntamallin tulosten yli summattu koko maan RMC. Poikkeama aiheutuu panos-tuotomallin ratkaisun laskentatarkkuudesta, joka kertautuu, kun summataan 19 mallin tulokset yhteen.

jonka jälkeen pienillä, vaihtelevilla osuuksilla tulivat viljelykasvit (keskimäärin 10 % sisältäen luonnon keräilytuotteet ja riistan) sekä fossiiliset polttoaineet ja raakapuu (molemmat keskimäärin yhdeksän prosenttia).

Kuvio 24. RMC maakunnissa raaka-ainelajeittain vuonna 2015, Mt.



Eroja maakuntien raaka-aineiden kulutuksessa voidaan selittää useilla eri tekijöillä. Etupäässä eroja selittävät loppukäytön kulutusmenojen tasot (€) sekä maakunnan kulutuksen materiaali-intensiivisyys (€/kg). Taulukossa 6 on maakunnittain esitettyä raaka-aineiden kulutus loppukäytön kategorioittain, niihin kohdistuvat kulutusmenot sekä materiaali-intensiteetit (kts. myös liite 10). Taulukosta nähdään, että mitä suurempaa maakunnan raaka-aineiden kulutus oli vuonna 2015, sitä suuremmat olivat kokonaiskulutusmenot (loppukäyttö yhteensä, M€). Esimerkiksi Uudenmaan kokonaiskulutusmenot kattoivat noin kolmanneksen koko maan

kulutusmenoista, mikä heijastuu suoraan korkeaan raaka-aineiden kulutuksen tasoon. Toisaalta taulukosta nähdään myös, että esimerkiksi Pohjois-Pohjanmaan kokonaiskulutusmenot olivat alhaisemmat kuin Varsinais-Suomessa, mutta raaka-aineiden kulutus korkeammalla tasolla. Tätä puolestaan selittää se, että Pohjois-Pohjanmaan loppukäyttö oli materiaali-intensiivisempää kuin Varsinais-Suomessa (loppukäyttö yhteensä 1,05 kg/€ vs. 0,81 kg/€). Toisinpäin ajatellen voidaan todeta, että vaikka Pohjois-Savon kokonaiskulutusmenot olivat suuremmat kuin Lapissa, oli raaka-aineiden kulutus kuitenkin hieman vähäisempää, sillä Pohjois-Savon loppukäyttö oli Lappia vähemmän materiaali-intensiivistä (loppukäyttö yhteensä 0,90 kg/€ vs. 1,19 kg/€).

Taulukko 6. Raaka-aineiden kulutus (Mkg), kulutus- ja investointimenot (M€) ja materiaali-intensiteetit (kg/€) maakunnissa ja loppukäytön kategorioittain vuonna 2015.

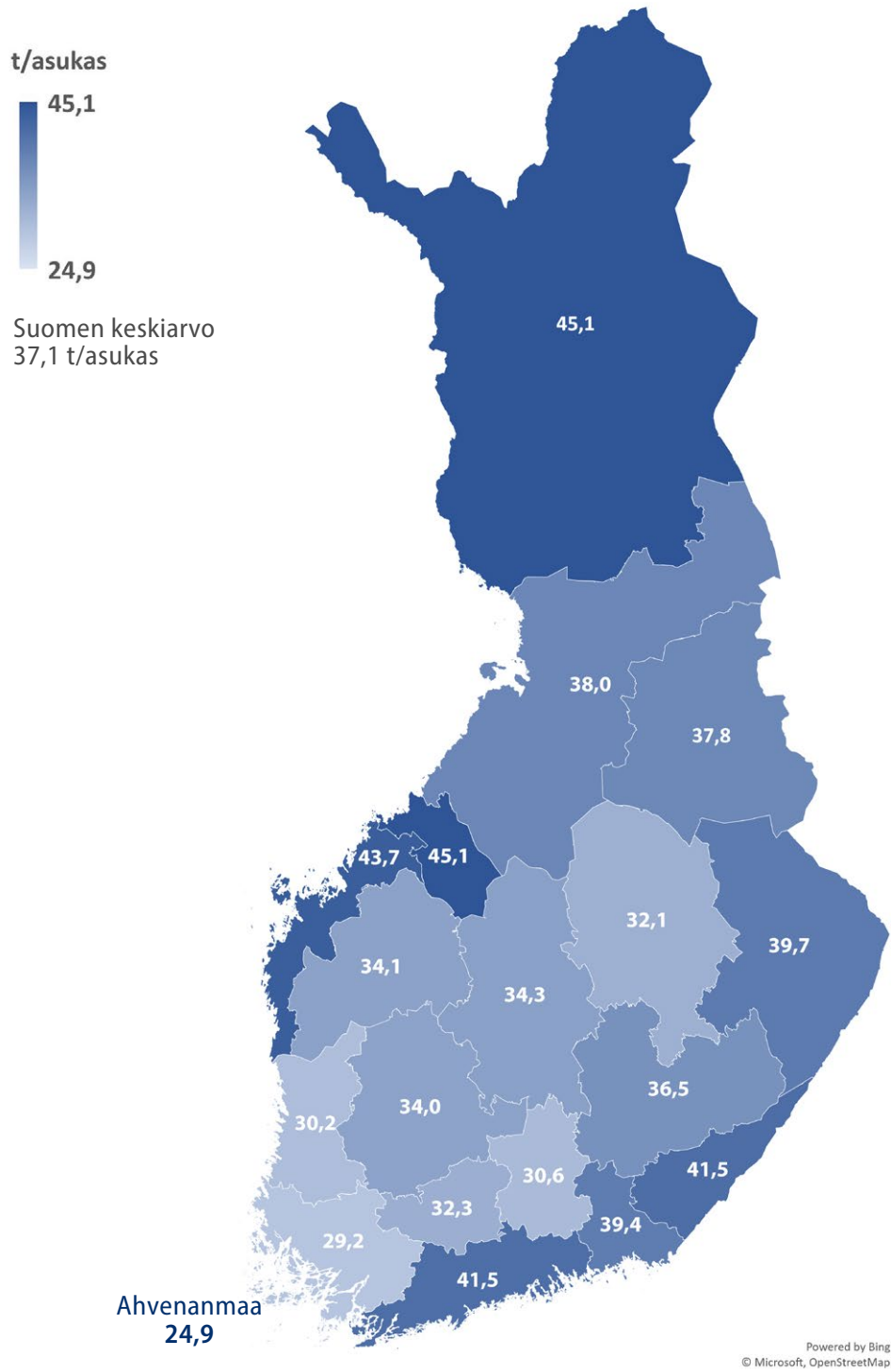
	Yksityinen ja julkinen kulutus			Investoinnit			Loppukäyttö yhteensä		
	Mkg	M€	kg/€	Mkg	M€	kg/€	Mkg	M€	kg/€
Koko Suomi	93 693	167 291	0,56	109 597	43 056	2,55	203 290	210 347	0,97
Uusimaa	26 462	53 172	0,50	40 419	17 046	2,37	66 881	70 218	0,95
Pirkanmaa	8 105	15 182	0,53	9 153	3 701	2,47	17 258	18 882	0,91
Pohjois- Pohjanmaa	7 264	11 662	0,62	8 277	3 128	2,65	15 541	14 790	1,05
Varsinais-Suomi	7 670	14 269	0,54	6 162	2 868	2,15	13 832	17 138	0,81
Keski-Suomi	4 789	7 916	0,60	4 593	1 699	2,70	9 382	9 615	0,98
Lappi	3 554	5 409	0,66	4 622	1 453	3,18	8 176	6 862	1,19
Pohjois-Savo	4 410	7 278	0,61	3 732	1 759	2,12	8 141	9 037	0,90
Pohjanmaa	3 358	5 502	0,61	4 363	1 670	2,61	7 721	7 172	1,08
Kymenlaakso	3 105	5 349	0,58	3 692	1 201	3,07	6 797	6 550	1,04
Etelä- Pohjanmaa	3 508	5 557	0,63	3 241	1 309	2,48	6 749	6 866	0,98
Satakunta	3 760	6 637	0,57	2 979	1 297	2,30	6 738	7 934	0,85
Pohjois- Karjala	3 092	4 773	0,65	3 601	1 034	3,48	6 693	5 807	1,15
Päijät-Häme	3 336	5 986	0,56	3 050	1 087	2,80	6 386	7 073	0,90
Kanta-Häme	2 990	5 161	0,58	2 661	885	3,01	5 651	6 046	0,93
Etelä-Karjala	2 218	3 797	0,58	3 241	945	3,43	5 459	4 742	1,15
Etelä-Savo	2 851	4 439	0,64	2 338	683	3,42	5 189	5 122	1,01
Keski- Pohjanmaa	1 320	1 970	0,67	1 791	489	3,66	3 111	2 459	1,27
Kainuu	1 462	2 272	0,64	1 400	496	2,82	2 862	2 768	1,03
Ahvenanmaa	439	959	0,46	283	307	0,92	722	1 266	0,57

Taulukossa 6 havaittuja eroja maakuntien loppukäytön materiaali-intensiteeteissä voidaan etupäässä selittää erilaisilla kulutuksen rakenteilla. Koska investointeihin liittyy olennaisesti rakentaminen, joka vaatii suuria määriä raskaita maa-aineksiä, on investointien materiaali-intensiteetti korkeampaa (koko maa 2,55 kg/€) kuin yksityisen ja julkisen kulutuksen (koko maa 0,56 kg/€). Erityisesti palvelut, jotka perinteisesti muodostavat ison osan yksityisestä ja julkisesta kulutuksesta, ovat investointeja vähemmän materiaali-intensiivisiä. Siksi suurempi investointimenojen osuus kokonaiskulutusmenoista kasvattaa helposti loppukäytön materiaali-intensiteettiä ja näin myös raaka-aineiden kokonaiskulutusta.

Taulukosta 6 voidaan lisäksi havaita, että myös kulutuksen ja investointien materiaali-intensiteetit eroavat maakuntien välillä. Näiden eroavaisuuksien selittäminen vaatisi yksityiskohtaisempaa tarkastelua siitä, minkälaisiin tuotteisiin kulutus ja investoinnit ovat maakunnissa kohdistuneet. Tämän tarkkuustason analyysiä ei kuitenkaan ollut tässä raportissa mahdollista toteuttaa. Yleisellä tasolla voidaan kuitenkin todeta, että maakunnissa, joissa kulutus kohdistuu materiaali-intensiivisiin tavarihin, on todennäköisesti korkeampi kulutuksen materiaali-intensiteetti verrattuna esimerkiksi palvelupainotteisempiin maakuntiin. Toisaalta maakunnissa, joissa tietynä vuonna on panostettu enemmän infrahankkeisiin, on investointien materiaali-intensiteetti korkeampi kuin maakunnissa, joissa investointimenoista suurempi osa kohdentuu esimerkiksi tutkimus- ja kehitystyöhön. Myös kulutettujen tavaroiden, palveluiden ja investointien erilaiset arvoketjut selittävät eroja materiaali-intensiteeteissä maakuntien välillä. Tähän liittyy kulutettujen tuotteiden alkuperä eli se, ovatko tuotteet peräisin paikallisesta tuotannosta, muualta Suomesta vai ulkomailta. On kuitenkin syytä myös huomioida, että käytetty malli tarjoaa vain yhden vuoden pysäytyskuvan. Erityisesti investoinnit ovat suhdanneherkkiä, voivat vaihdella merkittävästikin eri vuosien välillä ja niiden yksikköhinnat saattavat hieman poiketa maakunnittain.

Myös maakunnan väkiluku korreloi vahvasti kulutus- ja investointimenojen tasoon ja sitä kautta raaka-aineiden kulutukseen. Väkilukuun suhteutettuna RMC oli korkeinta Keski-Pohjanmaalla ja Lapissa (45,1 tonnia/asukas), Pohjanmaalla (43,7 tonnia/asukas) sekä Etelä-Karjalassa ja Uudellamaalla (41,5 tonnia/asukas) maan keskiarvon ollessa 37,1 tonnia asukasta kohden (kuvio 25). Keskiarvon yläpuolelle ylsivät myös Pohjois-Karjala (39,7 tonnia/asukas), Kymenlaakso (39,4 tonnia/asukas), Pohjois-Pohjanmaa (38 tonnia/asukas) ja Kainuu (37,8 tonnia/asukas). Pienintä raaka-aineiden kulutus asukasta kohden oli Ahvenanmaalla (24,9 tonnia/asukas) sekä Varsinais-Suomessa (29,2 tonnia/asukas).

Kuvio 25. RMC maakunnittain väkilukuun suhteutettuna (t/asukas) vuonna 2015.

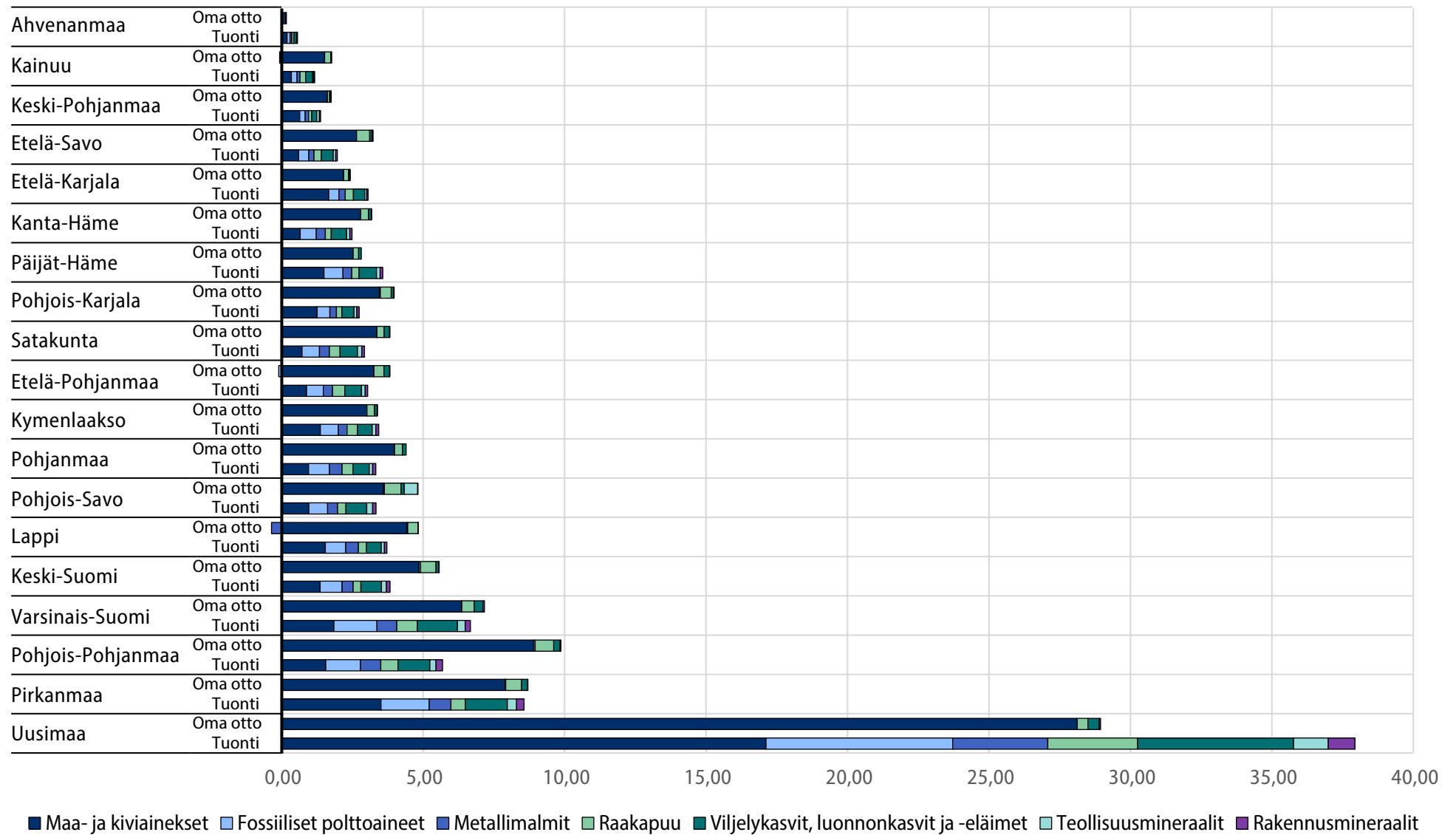


Vuonna 2015 koko Suomen kansantalouden tasolla kotimainen luonnonvarojen otto kattoi reilu puolet (51 %) raaka-aineiden kulutuksesta. Maakuntien osalta omien luonnonvarojen oton ja tuonnin suhde omassa raaka-aineiden kulutuksessa vaihtelee. Esimerkiksi tuontituotteiden mukana tuotuihin raaka-aineisiin tukeutuivat eniten Ahvenanmaa, Uusimaa ja Etelä-Karjala (RMC:stä tuontia 77 %, 57 % ja 56 %), kun taas enemmän kotimaisia luonnonvaroja omassa loppukulutuksessa hyödynsivät Pohjois-Pohjanmaa ja Etelä-Savo (RMC:stä kotimaisia luonnonvaroja 63 ja 62 %) sekä Kainuu, Pohjois-Karjala ja Keski-Suomi (RMC:stä kotimaisia luonnonvaroja 59 %).

Kuten ylempänä on todettu, materiaalivirtaindikaattoreita on syytä tarkastella myös materiaalikategorioittain, sillä pelkkien kokonaisindikaattoreiden tarkastelu saattaa vääristää tulkintaa. Kuviossa 26 on esitettyä maakuntien raaka-aineiden kulutuksen jakautuminen kotimaisiin luonnonvaroihin ja tuontiin raaka-ainelajeittain. Kuvio osoittaa, että vaikka massamääräisesti monet maakunnat olivat varsin omavaraista luonnonvarojen osalta, viittaa tämä omavaraisuus kuitenkin pääosin maa- ja kiviaineksiin. Kotimaisesta luonnosta saatiin keskimäärin 73 % maakuntien vaatimista maa- ja kiviaineksista, jotka tyypillisesti tuotetaan ja kulutetaan paikallisesti lähellä ottopaikkoja.

Kuvio 26 osoittaa myös, että kaikki maakunnat olivat vahvasti riippuvaisia erityisesti fossiilisten polttoaineiden tuonnista. Kotimaiset fossiiliset polttoaineet (turve) kattoivat fossiilisten polttoaineiden loppukulutuksesta vain pienen osan, keskimäärin noin kaksi prosenttia riippuen maakunnasta (pois lukien Ahvenanmaa). Fossiilisten polttoaineiden lisäksi suurin osa maakunnista oli merkittävässä määrin riippuvaisia metallimalmien, rakennus- ja teollisuusmineraalien ja viljelykasvien suorasta ja epäsuorasta tuonnista. Esimerkiksi louhitut metallimalmit menevät jatkojalostukseen huomattavassa määrin ulkomaille, mutta myös muualle Suomeen. Kotimainen (paikallinen) loppukulutus sen sijaan tyydytetään tuontituotteilla myös metallimalmeja louhivissa maakunnissa, kuvastaen kuinka alkutuotanto, jalostus ja loppukulutus eivät usein tapahdu samassa paikassa.

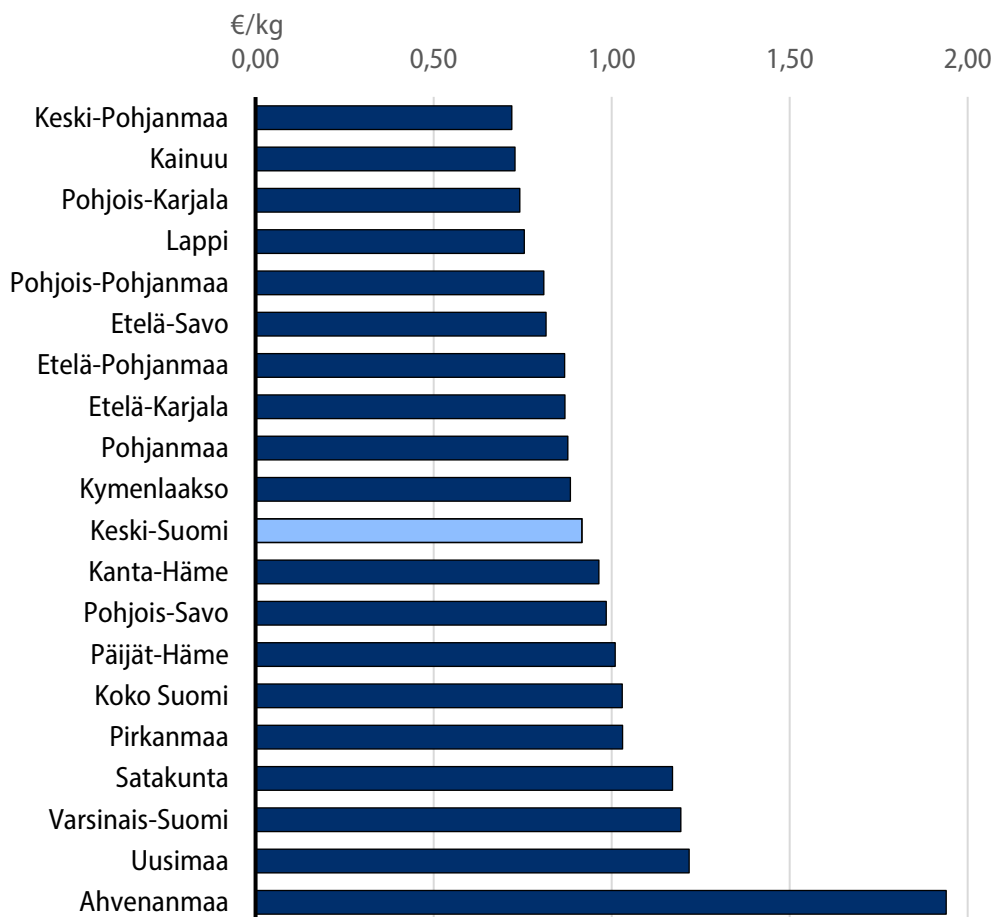
Teollisuusmineraalien osalta ainoastaan Pohjois-Savo kattoi loppukulutuksensa pääosin kotimaisilla luonnonvaroilla (69 %), siinä missä valtaosa muista maakunnista nojasivat täysin tuontiin. Raakapuun osalta omien luonnonvarojen käyttö omassa loppukulutuksessa vaihteli Pohjois-Karjalan 67 %:sta Uudenmaan 11 %:iin, viljelykasvien ja luonnonkasvien ja -eläinten osalta Etelä-Pohjanmaan 25 %:sta Lapin yhteen prosenttiin. Tarkempia tietoja maakuntien raaka-aineiden kulutuksen jakautumisesta omaan ottoon ja tuontiin on saatavilla liitteessä 10.

Kuvio 26. Raaka-aineiden kulutus (RMC) raaka-ainelajeittain eroteltuna maakuntien omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015, Mt²⁴

24 Negatiiviset arvo liittyvät varastojen muutoksiin, tarkemmin ottaen varastojen purkamiseen (ks. luku 2.2.1).

Myös materiaalityttöävyyden indikaattori BKT/RMC²⁵ voidaan johtaa maakunnille. Kuviosta 27 voidaan havaita, kuinka resurssityttöävyyden taso vaihtelee maakuntien välillä: Ahvenanmaa erottuu selkeästi muista alueista korkeimmalla resurssityttöävyydellä (1,94 €/kg). Myös Uusimaa (1,22 €/kg), Varsinais-Suomi (1,19 €/kg) ja Satakunta (1,17 €/kg) sijoittuvat koko maan keskiarvon yläpuolelle (1,03 €/kg). Sen sijaan alhaisemman materiaalityttöävyyden maakunnat näyttävät painottuvan enemmän Pohjois- ja Itä-Suomeen. Resurssityttöävyyden hännillä ovat Keski-Pohjanmaa (0,72 €/kg), Kainuu (0,73 €/kg), Pohjois-Karjala (0,74 €/kg) ja Lappi (0,75 €/kg).

Kuvio 27. Resurssityttöävyys (BKT/RMC) maakunnissa vuonna 2015, €/kg.



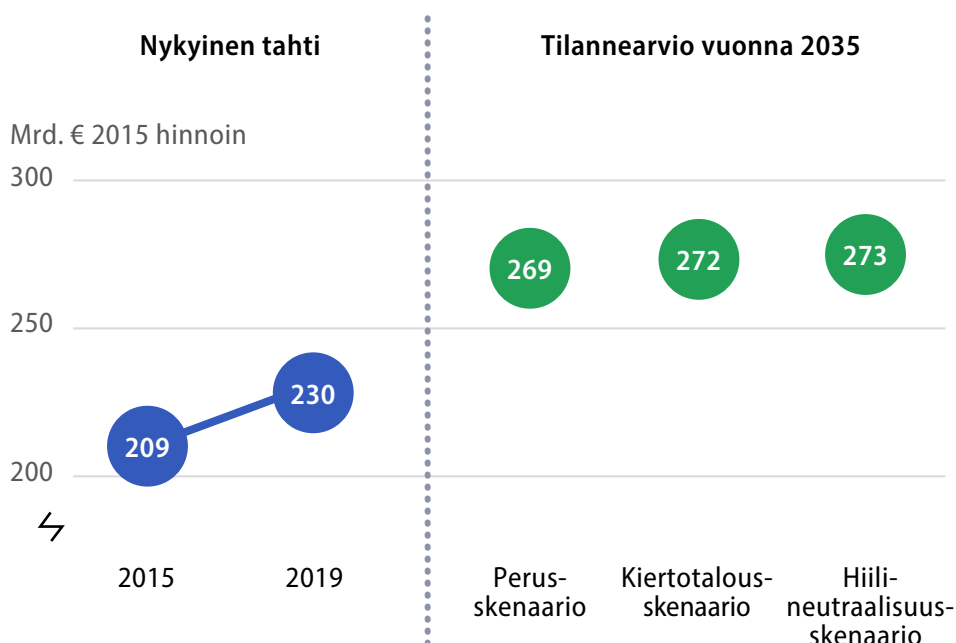
25 Kulutusperusteisten indikaattoreiden (kuten RMC) suhteuttaminen bruttokansantuotteen tuon omaan haasteensa tunnuslukujen tulkintaan, ks. luku 3.2 tietolaatikko "Materiaalityttöävyysindikaattoreiden laskenta".

3.4 Skenaariotulokset vuodelle 2035

Tässä luvussa esitetään talouden, materiaalivirtojen ja ympäristövaikutusten kehitys kolmessa tulevaisuuden skenaariossa. Luonnonvarojen käytön skenaariotyötä ja mallinnettujen skenaarioiden sisältöä on kuvattu luvuissa 2.4 ja 2.5. Tulosten vertailua esitetään kahdella tavalla. Tavoitevuoden 2035 tuloksia verrataan mallin lähtövuoden 2015 tilanteeseen. Lisäksi kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioita verrataan perusskenaarioon, jolloin nähdään selvemmin, miten mallinnetut toimenpiteet vaikuttavat tuloksiin. Materiaalivirtojen tarkastelussa keskiössä ovat elinkaariset vaikutukset. Talous- ja ympäristövaikutusten osalta tarkastellut mittarit ovat tuotantoperusteisia, eli ne kuvaavat yksittäisen toimialan, sektorin tai koko Suomen suoria vaikutuksia. Yksittäisten mallinnettujen toimenpiteiden vaikutusta ei pysty erottamaan mallinnustuloksista, vaan skenaarioissa on mallinnettu kokonaisvaltaista muutosta, jossa toimenpiteitä toteutetaan yhtä aikaa monella eri sektorilla. Toimenpiteet ovat monella tavalla tiiviisti kytköksissä toisiinsa, minkä vuoksi yksittäisen toimenpiteen vaikutusten tarkastelu ei useassa tapauksessa edes olisi mielekästä.

3.4.1 Talous- ja työllisyysvaikutukset

Kuvio 28. Bruttokansantuote (BKT) vuosina 2015, 2019 ja luonnonvarojen käytön skenaarioissa vuonna 2035.



Alkuperäisen kuvan visualisointi Kaskas / Janika Lähdes.

Bruttokansantuote oli vuoden 2015 hintatasossa 209 miljardia euroa vuonna 2015 ja 230 miljardia euroa vuonna 2019 (kuvio 28). Perusskenaariossa bruttokansantuote kasvaa noin 1,3 prosentin vuosivauhtia, ollen vuonna 2035 269 mrd. euroa vuoden 2015 hintatasossa mitattuna. Perusskenaario on muotoiltu niin, että BKT:n kasvu-ura asettuu lähelle Valtiovarainministeriön pitkän aikavälin kasvuennustetta.

Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa mallinnettujen toimenpiteiden vaikutukset heijastuvat BKT:hen. Toimenpiteiden seurauksena BKT kohoaa kiertotalousskenaariossa 272 mrd. euroon, ja hiilineutraalisuusskenaariossa edelleen 273 mrd. euroon. Täten mallinnetut toimenpiteet vahvistavat kansantaloutta samalla kun saavutetaan ympäristön kannalta oikeansuuntaisia vaikutuksia. Taloudellista hyvinvointia mittaavia indikaattoreita tarkastellessa havaitaan, että nettokansantulo kasvaa, kiertotalousskenaariossa jopa hiukan BKT:ta nopeammin. Yksilöllisen kulutuksen osalta vaikutus on vielä suhteellisesti suurempi. Kun bruttokansantuote on kiertotalousskenaariossa 1,3 prosenttia ja hiilineutraalisuusskenaariossa 1,6 prosenttia perusskenaarion tasoa korkeammalla, henkeä kohti lasketun yksilöllisen kulutuksen osalta vastaavat luvut ovat 1,5 ja kaksi prosenttia. Nettokansantulolla ja yksilöllisellä kulutuksella mitattu taloudellinen hyvinvointi siis kasvaa mallinnettujen toimenpiteiden seurauksena.

Taulukossa 7 BKT on vielä eritelty loppukäytön kategorioihin. Talouden palveluvaltaistumisen myötä pääomanmuodostuksen osuus BKT:sta supistuu luoden tilaa kulutukselle. Tuonti vähenee materiaalitehokkuuden paranemisen ja muun muassa kotimaisen energian osuuden kasvun myötä. Tuotteiden tuonti ja vienti reagoivat malliratkaisussa talouden ulkoisessa kilpailukyvyssä tapahtuviin muutoksiin, eli siihen miten kotimaisten tuotteiden hinnat muuttuvat suhteessa ulkomaisiin hintoihin, kun ulkomaisten hintojen oletetaan pysyvän perusskenaarion hintatason mukaisina.

Taulukko 7. Bruttokansantuote loppukäytön kautta.

	Mrd, vuoden 2015 hinnoin (muutos-% vuodesta 2015)				Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Yksityiset kulutus- menot	116	149 (29 %)	152 (31 %)	153 (32 %)	1,7 %	2,4 %
Julkiset kulutus- menot	51	59 (16 %)	60 (17 %)	60 (17 %)	0,7 %	0,6 %
Pääoman- muodostus	43	54 (26 %)	54 (25 %)	54 (25 %)	-0,6 %	-0,1 %
Vienti	80	111 (38 %)	111 (38 %)	110 (37 %)	0,5 %	-0,4 %
Tuonti (-)	81	105 (29 %)	104 (28 %)	104 (28 %)	-0,3 %	-0,8 %
BKT	209	269 (28 %)	272 (30 %)	273 (30 %)	1,3 %	1,6 %
Yksilöllinen kulutus	151	190 (26 %)	193 (28 %)	194 (29 %)	1,5 %	2,0 %

Talouden palveluvaltaistumisen trendi jatkuu, mikä heijastuu myös työvoiman kohdentumiseen taloudessa. Mallin ratkaisussa päädytään aina samaan tasapainotyöllisyyteen, eli kokonaistyöllisyys pysyy samana, mutta toimialoittaisessa työllisyydessä tapahtuu muutoksia. Työllisistä yhä suurempi osa sijoittuu palvelutoimialoille jo perusskenaariossa, ja osuus kasvaa entisestään kiertotalous- ja hiilineutraalisuus-skenaarioissa (taulukko 8). Palveluiden kysyntää kasvattaa muun muassa korjaus- ja vuokrauspalveluiden ja kaupan palveluiden kysynnän kasvu tuotteiden käyttöajan pidentyessä ja jakamistalouden yleistyessä. Rakennusten pitoajan pidentäminen ja korjausrakentamisen osuuden kasvu puolestaan vähentävät investointikysyntää. Kiertotalousskenaariossa työllisten osuus jalostuksessa kasvaa hieman verrattuna perusskenaarioon.

Työn tuottavuus kasvaa keskimäärin 1,2–1,3 prosenttia. Kun talouden työllisyys pysyy kaikissa skenaarioissa samana, työn tuottavuus kasvaa BKT:n kasvun verran. Taulukosta 8 havaitaan, että kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena työn tuottavuus kasvaa useimmilla toimialoilla. Työn tuottavuus lasketaan suhteessa arvonlisäykseen. Kun energia- ja materiaalitehostuminen kasvattaa arvonlisän osuutta, myös työn tuottavuus kasvaa.

Taulukko 8. Työllisyyden kehitys toimialoittain.

	Työllisyys, 1 000 henkeä (% osuus)				Työn tuottavuuden kasvu, % per vuosi		
	2015	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiilineutraalisuus	2035 Perus	203 Kiertotalous	2035 Hiilineutraalisuus
Maa-, metsä- & kalatalous	103 (4,1 %)	74 (2,9 %)	70 (2,7 %)	69 (2,7 %)	2,0 %	2,2 %	2,2 %
Kaivostoiminta ja louhinta	7 (0,3 %)	6 (0,3 %)	6 (0,2 %)	6 (0,2 %)	1,3 %	1,3 %	1,4 %
Elintarviketeollisuus	39 (1,5 %)	29 (1,1 %)	28 (1,1 %)	28 (1,1 %)	1,9 %	2,1 %	2,1 %
Tekstiili- ja vaatetusteollisuus	10 (0,4 %)	7 (0,3 %)	10 (0,4 %)	10 (0,4 %)	1,8 %	1,3 %	1,3 %
Metsäteollisuus	51 (2,0 %)	34 (1,3 %)	35 (1,4 %)	34 (1,3 %)	1,9 %	3,1 %	2,9 %
Öljynjalostus ja kemianteollisuus	33 (1,3 %)	33 (1,3 %)	30 (1,2 %)	31 (1,2 %)	2,7 %	2,7 %	2,7 %
Rakennusaineteollisuus	13 (0,5 %)	9 (0,3 %)	8 (0,3 %)	8 (0,3 %)	2,6 %	2,7 %	2,8 %
Metalliteollisuus	138 (5,5 %)	118 (4,6 %)	122 (4,7 %)	119 (4,6 %)	1,9 %	2,4 %	2,4 %
Sähkö- ja elektroniikkateollisuus	41 (1,6 %)	36 (1,4 %)	38 (1,5 %)	39 (1,5 %)	1,8 %	2,0 %	2,1 %
Muu valmistus	14 (0,5 %)	11 (0,4 %)	11 (0,4 %)	11 (0,4 %)	2,2 %	2,6 %	2,6 %
Energia-, vesi- & jätehuolto	25 (1,0 %)	20 (0,8 %)	21 (0,8 %)	22 (0,9 %)	2,1 %	2,3 %	2,7 %
Rakentaminen	191 (7,6 %)	204 (7,9 %)	201 (7,8 %)	197 (7,6 %)	0,4 %	0,4 %	0,5 %
Kauppa, maj. & rav. toiminta	378 (15,0 %)	328 (12,7 %)	333 (12,9 %)	335 (13,0 %)	2,1 %	2,1 %	2,1 %
Kuljetus ja varastointi	148 (5,8 %)	137 (5,3 %)	135 (5,2 %)	134 (5,2 %)	1,4 %	1,4 %	1,4 %
Julkiset palvelut	730 (28,9 %)	811 (31,4 %)	816 (31,6 %)	815 (31,6 %)	0,2 %	0,3 %	0,3 %
Muut palvelut	605 (24,0 %)	721 (27,9 %)	716 (27,7 %)	721 (28,0 %)	1,1 %	1,0 %	1,0 %
Yhteensä	2 527	2 580	2 580	2 580	1,2 %	1,3 %	1,3 %
Alkutuotanto	103 (4,1 %)	74 (2,9 %)	70 (2,7 %)	69 (2,7 %)	2,0 %	2,2 %	2,2 %
Jalostus	563 (22,3 %)	509 (19,7 %)	511 (19,8 %)	506 (19,6 %)	1,6 %	1,8 %	1,9 %
Palvelut	1 861 (73,6 %)	1 997 (77,4 %)	1 999 (77,5 %)	2 005 (77,7 %)	1,1 %	1,1 %	1,1 %

Toimialoittaiset arvonlisäykset ja vuosikasvu eri skenaarioissa on esitetty taulukossa 9. Kiertotalousskenaariossa mukaan tulee merkittäviä teollisuuden kiertotaloustoimenpiteitä, jotka kasvattavat niiden arvonlisää. Kiertotaloustoimenpiteet kasvattavat arvonlisäystä suhteellisesti eniten metsäteollisuudessa ja tekstiili- ja vaatetusteollisuudessa, mutta myös metalliteollisuudessa, sähkö- ja elektroniikateollisuudessa sekä muussa valmistuksessa. Kaivostoiminnassa ja louhinnassa sen sijaan arvonlisäys ja työllisyys pienenevät. Metallimalmien louhinnan toimialalla tapahtuu arvonlisäyksen ja työllisyyden kasvua, kun uusia kaivoksia avataan. Kaivostoiminta ja louhinta sisältää kuitenkin myös energiamineraalien kaivun (turpeen nosto), muiden mineraalien kaivun sekä soran, hiekan ja saven oton. Kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena erityisesti soran, hiekan ja saven otto vähenee.

Energia-, vesi- ja jätehuollon toimialan arvonlisäys kasvaa selvästi. Tähän toimialaryhmään sisältyy materiaalien kierrätys. Kasvavan materiaalien kierrätyksen lisäksi toimialan kasvua selittää vihreän vedyn tuotanto, joka on mallinnuksessa oletettu tapahtuvan pääosin energiahuollon toimialalla.

Materiaalitehokkuuden paraneminen heijastuu tiettyjen toimialojen volyyymiin ja arvonlisän kehitykseen negatiivisesti. Materiaalitehostuminen esimerkiksi vähentää tavaraliikenteen tarvetta, minkä seurauksena kuljetuksen ja varastoinnin volyyymi pienenee. Myös rakentamisen ja rakennusaineteollisuuden osuus koko talouden arvonlisästä hiukan supistuu. Rakentaminen on tiiviisti kytköksissä investointeihin, ja kuten aiemmin havaittiin, investointien osuus BKT:sta supistuu (taulukko 7). Öljynjalostuksen ja kemianteollisuuden supistumista selittää puolestaan fossiilisen öljynjalostuksen, peruskemikaalien sekä lannoitteiden tuotannon väheneminen. On hyvä huomioida, että öljynjalostuksen ja kemianteollisuuden osalta ei ole kuitenkaan pystytty mallintamaan tarkasti tai ollenkaan monia toimialalle visioituja muutoksia, kuten fossiilisesta öljynjalostuksesta luopumista tai puhtaan vedyn mukanaan tuomia mahdollisuuksia.

Taulukko 9. Arvonlisäys toimialoittain.

	Arvonlisäys, M€, vuoden 2015 hinnoin (muutos-% vuoteen 2015)				Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2035 Perus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus
Maa-, metsä- & kalatalous	4 592	4 924 (7 %)	4 801 (5 %)	4 725 (3 %)	-2 %	-4 %
Kaivostoiminta ja louhinta	705	845 (20 %)	793 (12 %)	779 (11 %)	-6 %	-8 %
Elintarviketeollisuus	2 572	2 808 (9 %)	2 799 (9 %)	2 816 (10 %)	-0,3 %	0,3 %
Tekstiili- ja vaatetusteollisuus	382	407 (6 %)	485 (27 %)	483 (26 %)	19 %	19 %
Metsäteollisuus	4 785	4 736 (-1 %)	6 013 (26 %)	5 684 (19 %)	27 %	20 %
Öljynjalostus ja kemianteollisuus	4 750	7 991 (68 %)	7 359 (55 %)	7 457 (57 %)	-8 %	-7 %
Rakennusaineteollisuus	963	1 049 (9 %)	1 040 (8 %)	1 023 (6 %)	-1 %	-3 %
Metalliteollisuus	10 473	13 130 (25 %)	14 888 (42 %)	14 568 (39 %)	13 %	11 %
Sähkö- ja elektroniikkateollisuus	5 844	7 346 (26 %)	8 126 (39 %)	8 310 (42 %)	11 %	13 %
Muu valmistus	588	718 (22 %)	820 (40 %)	820 (40 %)	14 %	14 %
Energia-, vesi- & jätehuolto	6 249	7 637 (22 %)	8 167 (31 %)	9 120 (46 %)	7 %	19 %
Rakentaminen	11 552	13 477 (17 %)	13 047 (13 %)	13 082 (13 %)	-3 %	-3 %
Kauppa, majoitus- & rav. toiminta	19 951	26 163 (31 %)	26 773 (34 %)	26 963 (35 %)	2 %	3 %
Kuljetus ja varastointi	9 068	11 131 (23 %)	10 966 (21 %)	10 908 (20 %)	-1 %	-2 %
Julkiset palvelut	39 449	45 984 (17 %)	46 385 (18 %)	46 350 (17 %)	1 %	1 %
Muut palvelut	59 082	86 839 (47 %)	85 868 (45 %)	86 185 (46 %)	-1 %	-1 %
Yhteensä	181 005	235 182 (30 %)	238 330 (32 %)	239 273 (32 %)	1 %	2 %

3.4.2 Materiaalivirrat

Talouden rakenteessa ja energiajärjestelmässä tapahtuvat muutokset sekä kiertotaloustoimenpiteiden vaikutus heijastuvat vuoden 2035 materiaalivirtoihin. Tulostaulukoissa päätevuoden 2035 tuloksia verrataan mallin lähtövuoden 2015 tilanteeseen, mutta taulukoihin on lisätty vertailuksi vuoden 2019 tulokset, jolloin nähdään, mihin suuntaan kansantalous on näiltä osin kehittynyt vuoden 2015 jälkeen.

Kotimaan luonnosta talouden käyttöön otettujen raaka-aineiden massa on kasvanut 19 % vuodesta 2015 vuoteen 2019 (taulukko 10). Raaka-ainelajeista tämä näkyy erityisesti metallimalmien sekä maa- ja kiviainesten oton kasvuna. Perusskenaariossa vuonna 2035 kotimaisten raaka-aineiden oton kasvu saadaan taitettua, ja otto jää hiukan alle vuoden 2019 tason, 250 milj. tonniin. Vuonna 2035 siirtymä kohti puhdasta energiajärjestelmää näkyy erityisesti fossiilisten polttoaineiden (kotimaisen oton osalta turpeen) oton pienentymisenä. Myös maa- ja kiviainesten otto vähenee jo perusskenaariossa jonkin verran vuoteen 2019 verrattuna. Maa- ja kiviainesten ottoa hillitsevät osaltaan perusskenaarioon sisältyvät maltilliset kiertotaloustoimenpiteet (neitseellisen maa- ja kiviaineksen korvaaminen sivu- ja jätevirroilla). Lisäksi maa- ja kiviainesten käyttö kytkeytyy tiiviisti investointeihin, ja talouden pääomaintensiteetin laskiessa investointien suhteellinen osuus taloudessa pienenee. Raaka-ainelajeista raakapuun, metallimalmien sekä teollisuus- ja rakennusmineraalien otto kuitenkin edelleen kasvaa metsäteollisuuden volyymin kasvun ja uusien kaivosten avaamisen myötä.

Taulukko 10. Kotimaisten raaka-aineiden oton kehitys.

	Raaka-aineiden otto, Mt (muutos-% vuoteen 2015)					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Viljelykasvit	8,3	10,0	7,9 (-5 %)	7,3 (-12 %)	7,4 (-11 %)	-7 %	-6 %
Luonnonkasvit ja -eläimet	0,4	0,4	0,5 (12 %)	0,4 (3 %)	0,4 (1 %)	-8 %	-10 %
Raakapuu	34,1	36,7	38,5 (13 %)	38,1 (12 %)	35,9 (5 %)	-1 %	-7 %
Fossiiliset polttoaineet	2,5	2,6	0,4 (-83 %)	0,4 (-84 %)	0,3 (-86 %)	-8 %	-21 %
Metallimalmit	16,0	28,4	31,2 (95 %)	29,5 (84 %)	28,7 (79 %)	-6 %	-8 %
Teollisuus- mineraalit	13,6	12,9	15,6 (14 %)	14,1 (3 %)	14,1 (3 %)	-10 %	-10 %
Rakennus- mineraalit	3,8	3,8	4,6 (23 %)	3,9 (3 %)	3,6 (-4 %)	-16 %	-21 %
Maa- ja kivi- ainekset	132,0	156,1	151,0 (14 %)	144,9 (10 %)	143,6 (9 %)	-4 %	-5 %
Yhteensä	210,7	251,0	249,7 (18 %)	238,6 (13 %)	234,1 (11 %)	-4 %	-6 %

Kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena raaka-aineiden otto supistuu kiertotalousskenaariossa neljä prosenttia, ja hiilineutraalisuusskenaariossa kuusi prosenttia perusskenaarioon verrattuna. Oton väheneminen näkyy kaikissa raaka-ainelajeissa. Absoluuttisesti eniten vähenee maa- ja kiviainesten otto. Raaka-ainelajeista fossiilisten polttoaineiden otto on selvästi ja viljelykasvien ja rakennusmineraalien otto hieman vuoden 2015 tasoa alhaisempaa. Kaiken kaikkiaan raaka-aineiden otto jää kuitenkin 11 % vuoden 2015 lähtötilannetta korkeammalle tasolle vielä hiilineutraalisuusskenaariossakin.

Tuontituotteiden valmistamiseen ulkomailla käytettyjen raaka-aineiden määrä sen sijaan supistuu skenaarioissa merkittävästi (taulukko 11). Perusskenaariossa tuonin sisältämä raaka-ainekäyttö on seitsemän prosenttia ja kiertotalousskenaariossa jo 26 % vuoden 2015 tasoa alhaisempi. Huomionarvoista on erityisesti fossiilisten

polttoaineiden käytössä tapahtuva muutos. Perusskenaariossa tuontiin kytkeytyvän fossiilisten polttoaineiden määrä on kolmanneksen pienempi kuin vuonna 2015, ja kiertotalousskenaariossa puolet. Tätä selittää siirtymä kohti puhdasta energiajärjestelmää, ja kiertotalousskenaariossa lisäksi teollisuudessa tapahtuvat muutokset, erityisesti fossiiliton terästuotanto, joiden seurauksena fossiilisten polttoaineiden suora tuonti vähenee selvästi. Fossiiliset polttoaineet kattavat kuitenkin edelleen hiilineutraalisuusskenaariossakin 17 % kaikesta tuontiin sisältyvästä raaka-ainekäytöstä, sillä niiden käyttöä kytkeytyy elinkaarisesti tarkasteltuna lähes kaikkiin tuontituotteisiin. Fossiiliset polttoaineet tässä sisältävät sekä niiden suoran tuonnin että tuontituotteiden valmistamiseen suoraan ja välillisesti käytetyt raaka-aineet.

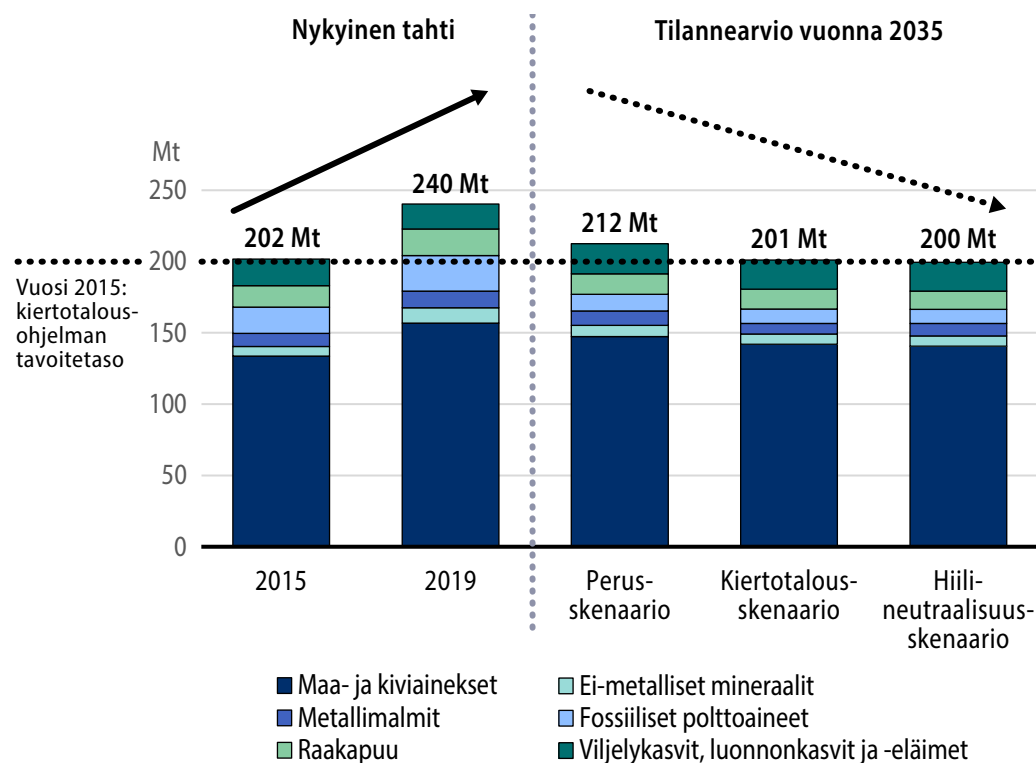
Taulukko 11. Tuonnin sisältämä raaka-ainekäyttö ulkomailla.

	Tuonnin raaka-ainekäyttö, Mt (muutos-% vuoteen 2015)					Ero perusskenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Viljelykasvit	16,6	14,7	20,0 (21 %)	20,1 (21 %)	19,9 (20 %)	0 %	0 %
Luonnonkasvit ja -eläimet	0,1	0,2	0,2 (15 %)	0,2 (12 %)	0,2 (12 %)	-2 %	-3 %
Raakapuu	9,9	12,3	7,1 (-28 %)	8,0 (-20 %)	7,6 (-24 %)	12 %	6 %
Fossiiliset polttoaineet	43,0	67,3	30,3 (-29 %)	21,8 (-49 %)	20,5 (-52 %)	-28 %	-32 %
Metallimalmit	36,9	47,9	30,4 (-17 %)	11,9 (-68 %)	24,1 (-35 %)	-61 %	-21 %
Teollisuus- mineraalit	4,3	5,4	5,3 (22 %)	5,2 (19 %)	5,1 (19 %)	-2 %	-3 %
Rakennus- mineraalit	3,4	8,8	5,8 (29 %)	5,3 (17 %)	5,0 (12 %)	-9 %	-13 %
Maa- ja kivi- ainekset	30,9	36,3	36,9 (19 %)	35,4 (14 %)	35,6 (15 %)	-4 %	-4 %
Yhteensä	146,2	192,8	136,1 (-7 %)	107,7 (-26 %)	118,1 (-19 %)	-21 %	-13 %

Tuonnin sisältämän raaka-ainekäytön väheneminen näkyy selvästi myös raaka-puussa ja metallimalmeissa. Mallinnuksessa on huomioitu vuoden 2015 jälkeen tapahtuneet muutokset puun tuonnissa, erityisesti Venäjän puun tuonnin romahtaminen. Metallimalmien osalta kotimainen tuotanto kasvaa uusien kaivosten myötä korvaten tuontia. Viljelykasvien, teollisuus- ja rakennusmineraalien sekä maa- ja kiviainesten tuonnin raaka-ainekäyttö sen sijaan hiukan kasvaa. Vuonna 2035 tuodaan siis enemmän sellaisia tuotteita, joihin kytkeytyy suoraan ja välillisesti edellä mainittujen raaka-ainelajien käyttöä. Muun muassa maataloustuotteiden, elintarvikkeiden, kalkki- ja kipsikiven sekä muiden mineraalien euromääräinen tuonti kasvaa.

Kuviossa 29 ja taulukossa 12 on esitetty raaka-aineiden kulutus (RMC) raaka-ainelajeittain.

Kuvio 29. Suomen raaka-aineiden kulutus vuosina 2015 ja 2019 sekä luonnonvarojen käytön skenaarioissa vuonna 2035.



Taulukko 12. Raaka-aineiden kulutus (RMC).

	Raaka-aineiden kulutus, Mt (Muutos-% vuodesta 2015)					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus
Viljelykasvit	18,2	17,1	20,5 (13 %)	20,0 (10 %)	19,9 (9 %)	-2 %	-3 %
Luonnonkasvit ja -eläimet	0,5	0,5	0,5 (13 %)	0,5 (6 %)	0,5 (4 %)	-6 %	-8 %
Raakapuu	14,9	18,6	14,4 (-3 %)	13,8 (-7 %)	12,7 (-15 %)	-4 %	-12 %
Fossiiliset polttoaineet	18,5	24,9	11,6 (-37 %)	10,3 (-45 %)	9,8 (-47 %)	-12 %	-16 %
Metallimalmit	9,1	11,8	10,2 (12 %)	7,3 (-19 %)	8,9 (-2 %)	-28 %	-12 %
Teollisuus- mineraalit	3,9	4,3	4,4 (15 %)	4,2 (9 %)	4,2 (8 %)	-6 %	-6 %
Rakennus- mineraalit	3,1	6,4	3,4 (10 %)	3,1 (1 %)	2,9 (-4 %)	-9 %	-13 %
Maa- ja kivi- ainekset	133,6	156,8	147,4 (10 %)	141,9 (6 %)	140,7 (5 %)	-4 %	-5 %
Yhteensä	201,8	240,4	212,4 (5 %)	201,2 (0 %)	199,6 (-1 %)	-5 %	-6 %

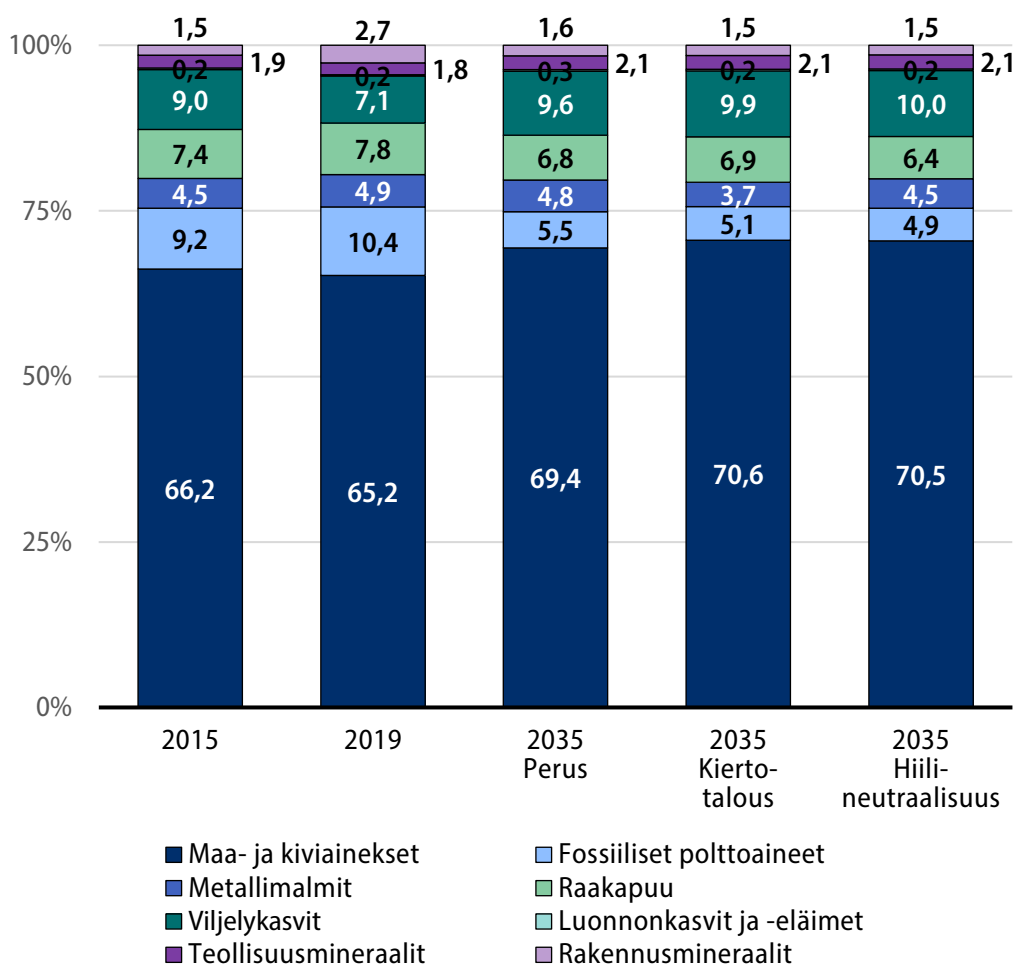
Kuten raaka-aineiden otto, myös RMC on kasvanut vuodesta 2015 (202 Mt) vuoteen 2019 (240 Mt). Vuonna 2035 perusskenaariossa raaka-aineiden kulutus on 212 Mt eli 5 % vuoden 2015 tasoa korkeammalla, mutta kuitenkin selvästi alle vuoden 2019 tason. Tätä selittää keskeisesti fossiilisten polttoaineiden kulutuksen aleneminen siirryttäessä kohti puhdasta energijärjestelmää. Lähes kaikkien muiden raaka-ainelajien kulutus kuitenkin kasvaa perusskenaariossa vuoteen 2015 verrattuna.

Kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena RMC pienenee kiertotalousskenaariossa hieman alle vuoden 2015 tason 201,2 milj. tonniin, eli kiertotalousohjelman tavoite saavutetaan. Kaikkien raaka-ainelajien kulutus vähenee perusskenaarioon verrattuna. Absoluuttisesti eniten vähenee maa- ja kiviainesten kulutus, jonka osuus RMC:stä onkin selvästi suurin. Hiilineutraalisuusskenaariossa RMC edelleen hieman pienenee 199,6 milj. tonniin, kun kiertotaloustoimenpiteitä voimistetaan.

Uusiutuvien raaka-aineiden (viljelykasvit; luonnonkasvit ja -eläimet; raakapuu) kulutus hieman kasvaa perus- ja kiertotalousskenaarioissa, mutta hiilineutraalisuusskenaariossa se jää vuoden 2015 tasoa alemmaksi. Uusiutumattomien raaka-aineiden kohdalla vuoden 2015 kulutustaso ylittyy perusskenaariossa, mutta alittuu kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa.

Kuvio 30 havainnollistaa eri raaka-ainelajien osuuden RMC:stä. Vaikka maa- ja kiviainesten määrä absoluuttisesti tarkasteltuna väheneekin eniten, sen osuus RMC:ssä kasvaa lähtötilanteen 66 prosentista eri skenaarioissa 69–71 prosenttiin. Fossiilisten polttoaineiden osuus lähes puolittuu alle viiteen prosenttiin. Myös metallimalmien osuus hiukan pienenee, muun muassa tuotteiden käyttöajan pidentymisen myötä.

Kuvio 30. Raaka-aineiden kulutuksen jakauma (%).



Perusskenaarioon verrattuna kaikkien loppukäytön kategorioiden raaka-aineiden käyttö vähenee sekä kiertotalous- että hiilineutraalisuusskenaarioissa kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena (taulukko 13). Suhteellisesti eniten raaka-aineiden käyttö vähenee kuitenkin viennissä. Viennin raaka-aineiden käytön intensiteetti, eli taloudelliseen arvoon (taulukko 7) suhteutettu raaka-aineiden käyttö, on hiilineutraalisuusskenaariossa 28 % alhaisempi kuin vuonna 2015. Yksityisten kulutusmenojen raaka-aineiden käytön intensiteetti alenee 26 %, julkisten kulutusmenojen 21 % ja investointien 19 %. Raaka-aineiden käytössä kotimaisten raaka-aineiden osuus nousee kotimaisen oton kasvaessa ja tuonnin raaka-aineiden käytön supistuessa (taulukot 10 ja 11).

Taulukko 13. Raaka-aineiden loppukäyttö kategorioittain.

	Raaka-aineiden loppukäyttö, Mt (Muutos-% vuodesta 2015)					Ero perusskenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Yksityiset kulutusmenot	62,3	69,8	64,7 (4 %)	61,1 (-2 %)	60,3 (-3 %)	-5 %	-7 %
Julkiset kulutusmenot	30,7	28,1	30,9 (1 %)	29,3 (-5 %)	28,6 (-7 %)	-6 %	-8 %
Pääoman muodostus	108,9	142,5	116,8 (7 %)	110,5 (2 %)	110,4 (1 %)	-5 %	-5 %
Vienti	155,2	203,4	173,3 (12 %)	145,1 (-6 %)	152,6 (-2 %)	-16 %	-12 %
Yhteensä	357,0	443,8	385,7 (8 %)	346,0 (-3 %)	351,9 (-1 %)	-10 %	-9 %

Raaka-aineiden käyttö voidaan suhteuttaa myös toimialojen tuotokseen, ja tarkastella näin raaka-aineiden käytön intensiteetissä tapahtuvia muutoksia (taulukko 14). Raaka-aineiden käytön intensiteetti pienenee kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena kaikilla toimialoilla, suhteellisesti eniten metalliteollisuudessa. Toimialojen materiaali-intensiteetti alenee keskimäärin 11 %.

Taulukko 14. Raaka-aineiden käytön intensiteetti (kg/€) toimialoittain.

	Intensiteetti, kg/€ (Muutos-% vuodesta 2015)				Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2035 Perus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus
Maa-, metsä- & kalatalous	6,0	5,8 (-4 %)	5,7 (-5 %)	5,6 (-7 %)	-1 %	-3 %
Kaivostoiminta ja louhinta	43,7	51,2 (17 %)	51,2 (17 %)	51,0 (17 %)	0 %	-1 %
Elintarvike- teollisuus	1,6	1,3 (-15 %)	1,2 (-22 %)	1,2 (-23 %)	-8 %	-9 %
Tekstiili- ja vaatetusteollisuus	0,8	0,7 (-13 %)	0,7 (-17 %)	0,7 (-18 %)	-5 %	-6 %
Metsäteollisuus	3,3	3,0 (-8 %)	2,8 (-16 %)	2,7 (-17 %)	-9 %	-10 %
Öljynjalostus ja kemianteollisuus	2,2	2,0 (-8 %)	1,9 (-15 %)	1,8 (-16 %)	-8 %	-9 %
Rakennusaine- teollisuus	9,4	8,7 (-8 %)	7,9 (-15 %)	7,5 (-20 %)	-9 %	-13 %
Metalliteollisuus	2,4	2,2 (-7 %)	1,2 (-50 %)	1,5 (-35 %)	-46 %	-30 %
Sähkö- ja elektroniikka- teollisuus	0,6	0,5 (-12 %)	0,4 (-29 %)	0,4 (-25 %)	-19 %	-15 %
Muu valmistus	0,9	0,7 (-17 %)	0,6 (-35 %)	0,6 (-32 %)	-22 %	-18 %
Energia-, vesi- & jätehuolto	2,1	1,4 (-32 %)	1,3 (-39 %)	1,2 (-44 %)	-10 %	-18 %
Rakentaminen	6,6	6,8 (2 %)	6,5 (1 %)	6,6 (-1 %)	-3 %	-3 %
Kauppa, maj. & rav. toiminta	0,3	0,3 (-24 %)	0,2 (-32 %)	0,2 (-32 %)	-10 %	-11 %
Kuljetus ja varastointi	0,7	0,5 (-21 %)	0,5 (-25 %)	0,5 (-26 %)	-5 %	-7 %
Julkiset palvelut	0,4	0,3 (-16 %)	0,3 (-22 %)	0,3 (-24 %)	-7 %	-9 %
Muut palvelut	0,4	0,3 (-28 %)	0,2 (-34 %)	0,2 (-35 %)	-7 %	-9 %
Yhteensä	1,8	1,6 (-13 %)	1,4 (-23 %)	1,4 (-23 %)	-11 %	-11 %

Taulukkoon 15 on koottu materiaalivirtojen kokonaisindikaattorit ja niiden osatekijät. Kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena materiaalien suora tuonti hiukan kasvaa, mutta tuonnin välillinen materiaalipanos pienenee selvästi. Tätä selittää tuonnin rakenteen muutos kohti tuoteryhmiä, joiden valmistusketjun raaka-ainekäyttö on vähäisempää. Viennin välillinen materiaalipanos pienenee myös, mutta tuonnin välillistä materiaalipanosta vähemmän. Kaikissa kokonaisindikaattoreissa (sekä tuotanto- että kulutusperusteisissa indikaattoreissa) havaitaan kiertotaloustoimenpiteiden oikeasuuntainen vaikutus. Merkillepantavaa on, että toisin kuin raaka-aineiden kulutus (RMC), kotimainen materiaalien kulutus (DMC) jää kaikissa skenaarioissa vuoden 2015 tason yläpuolelle.

Taulukko 15. Materiaalivirtaindikaattorit.

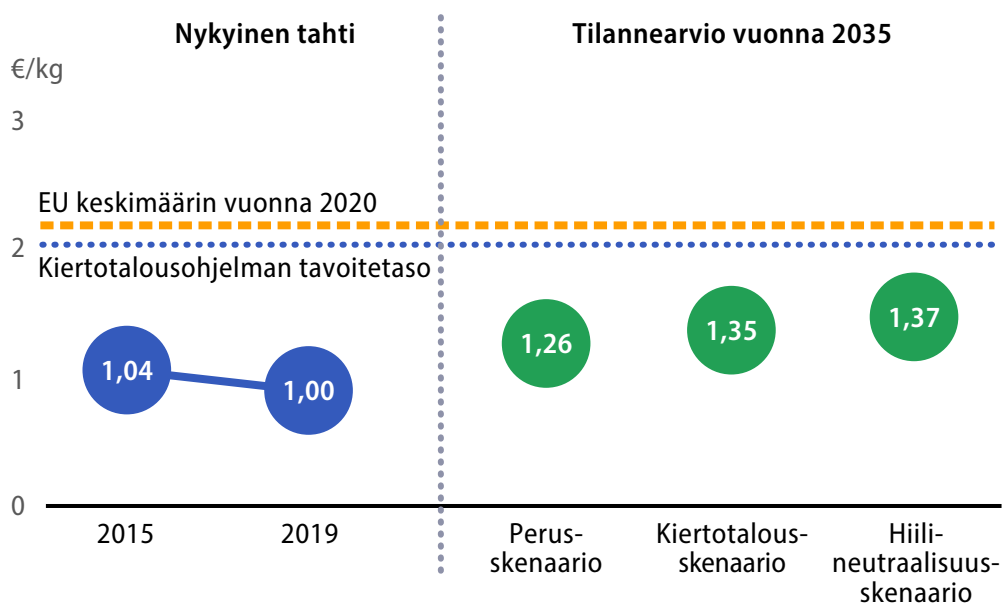
	Materiaalivirrat, Mt (Muutos-% vuodesta 2015)					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus
Osatekijät							
Kotimainen käytetty otto (DE)	211	251	250 (18 %)	239 (13 %)	234 (11 %)	-4 %	-6 %
Materiaalien suora tuonti (DM)	54	61	47 (-14 %)	50 (-8 %)	49 (-10 %)	6 %	5 %
Tuonnin välillinen materiaalipanos (IDM)	92	131	90 (-3 %)	58 (-37 %)	69 (-25 %)	-35 %	-22 %
Materiaalien suora vienti (DX)	42	49	49 (18 %)	50 (21 %)	50 (18 %)	2 %	0 %
Viennin välillinen materiaalipanos (IDX)	113	155	124 (9 %)	95 (-16 %)	103 (-9 %)	-24 %	-17 %
Kokonaisindikaattorit							
Suora materiaalipanos (DMI = DE + DM)	265	312	296 (12 %)	288 (9 %)	283 (7 %)	-3 %	-5 %
Kotimainen materiaalien kulutus (DMC = DMI-DX)	223	264	247 (11 %)	238 (7 %)	233 (5 %)	-4 %	-6 %

	Materiaalivirrat, Mt (Muutos-% vuodesta 2015)					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus
Raaka-aineiden käyttö (RMI = DE + DM + IDM)	357	444	386 (8 %)	346 (-3 %)	352 (-1 %)	-10 %	-9 %
Raaka-aineiden kulutus (RMC = RMI – DX – IDX)	202	240	212 (5 %)	201 (0 %)	200 (-1 %)	-5 %	-6 %

Taulukkoon 16 on vielä koottu asukasta kohti lasketut indikaattorit sekä materiaalityttövyys eri indikaattoreilla laskettuna. Kiertotalousohjelman tavoitteiden näkökulmasta näistä keskeinen indikaattori on BKT/RMC. Kyseisellä indikaattorilla mitattuna resurssien tuottavuuden tulisi kaksinkertaistua vuodesta 2015 vuoteen 2035 (kuvio 31). Vuosien 2015 ja 2019 välillä resurssituottavuus on heikentynyt, mutta vuoden 2035 skenaarioissa kehityssuunta kääntyy oikeaksi, ja resurssituottavuus paranee vuoden 2015 1,04 €/kilogrammasta 1,37 €/kilogrammaan. Suomi jää kuitenkin resurssituottavuudessa kauas tavoitteesta ja EU:n vuoden 2020 keskiarvosta (kuvio 31), eli Suomen talouden tuotantotoiminta säilyy edelleen suhteellisen materiaali-intensiivisenä. Tarvitaan vielä voimakkaampaa talouskasvun ja raaka-aineiden kulutuksen irtikytkentää.

Myös henkilöä kohti laskettu RMC laskee alle vuoden 2015 tason, 36 tonniin (taulukko 16). Luonnonvarojen kulutus per asukas jää kuitenkin edelleen kansainvälisesti vertailtuna korkealle tasolle.

Kuvio 31. Resurssituottavuus vuosina 2015, 2019 ja luonnonvarojen käytön skenaarioissa vuonna 2035.



Alkuperäisen kuvan visualisointi: Kaskas / Janika Lähdes.

Taulukko 16. Materiaalivirtaindikaattorit suhteessa väkilukuun (t/as) ja bruttokansantuotteeseen (€/kg).

	Materiaalivirrat, Mt (Muutos-% vuodesta 2015)					Ero perus-skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kierto-talous	2035 Hiili-neutraalisuus	2035 Kierto-talous	2035 Hiili-neutraalisuus
Indikaattorit asukasta kohti (t/as)							
DMI per asukas, t	48	57	52 (10 %)	52 (7 %)	51 (5 %)	-3 %	-5 %
DMC per asukas, t	41	48	44 (9 %)	43 (5 %)	42 (3 %)	-4 %	-6 %
RMI per asukas, t	65	80	69 (7 %)	62 (-4 %)	63 (-3 %)	-10 %	-9 %
RMC per asukas, t	37	44	38 (4 %)	36 (-2 %)	36 (-2 %)	-5 %	-6 %

	Materiaalivirrat, Mt (Muutos-% vuodesta 2015)					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus
Resurssituottavuus (€/kg)							
BKT/DMI, €/kg	0,79	0,77	0,91 (15 %)	0,94 (19 %)	0,97 (22 %)	4 %	6 %
BKT/DMC, €/kg	0,94	0,91	1,09 (16 %)	1,15 (22 %)	1,17 (25 %)	5 %	8 %
BKT/RMI, €/kg	0,59	0,54	0,70 (19 %)	0,79 (34 %)	0,78 (32 %)	13 %	11 %
BKT/RMC, €/kg	1,04	1,00	1,26 (22 %)	1,35 (30 %)	1,37 (32 %)	7 %	8 %

3.4.3 Kasvihuonekaasupäästöt

Siirtymä puhtaaseen energiajärjestelmään etenee pitkälti jo perusskenaariossa. Taulukossa 17 on esitetty energian kokonaiskulutus energialähteittäin vuonna 2015 sekä kolmessa mallinnetussa skenaariossa vuonna 2035. Polttoon perustuvan sähköntuotanto kasvaa erityisesti tuuli- ja aurinkovoiman kasvun myötä. Ydinvoimaloista oletetaan vuonna 2035 olevan käytössä kaikki viisi nykyistä voimalaa. Turpeen, maakaasun ja hiilen poltto puolestaan vähenee voimakkaasti. Perusskenaariossa hiiltä ei käytetä enää sähkön- ja lämmöntuotannossa, vaan taulukossa jäljellä oleva hiilen kulutus tapahtuu tehdasteollisuudessa. Kiertotalousskenaariossa siirrytään fossiilivapaan teräksen valmistamiseen, minkä seurauksena hiilen kulutusta on jäljellä enää hyvin pieni määrä vuonna 2035. Perusskenaariossa puupolttoaineiden kulutus vielä hiukan kasvaa, kun niillä korvataan poistuvia fossiilisia polttoaineita. Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa oletetaan hukkalämpöjen hyödyntämisen kasvavan sekä voimakkaampaa sähköistymistä, mikä vähentää puupolttoaineiden tarvetta. Metsähakkeen sekä halkojen, rankojen ja pilkkeiden kulutus on hiilineutraalisuusskenaariossa 20 prosenttia alhaisempaa kuin vuonna 2015. Kaikissa skenaarioissa huomioitavaa on myös öljyjen bio-osuuden merkittävä kasvu, mihin vaikuttaa erityisesti biopolttoaineiden yleisen jakeluvelvoitteen nousu. Taulukossa öljyjen bio-osuus on eritelty omalle rivilleen. Myös biokaasun kulutus kasvaa merkittävästi biokaasun osuuden kasvaessa tieliikenteen energialähdejakaumassa.

Energian kokonaiskulutus mittaa primääristen energialähteiden kulutusta taloudessa. Se sisältää sekä energian loppukulutuksen että energian muunnon primäärienergiaksi. Energian kokonaiskulutus supistuu, ja on hiilineutraalisuusskenaariossa kuusi prosenttia vuoden 2015 tasoa alhaisempi. Hukkalämpöjen suurempi hyödyntäminen ja energiankäytön tehostuminen vähentävät primääristen energialähteiden kulutusta.

Sähkön kulutus kasvaa perusskenaariossa 29 % vuoteen 2015 verrattuna. Teollisuudessa ja liikenteessä oletetaan tapahtuvan sähköistymistä. Se voimistuu kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa, ja lisäksi vihreän vedyn tuotanto lisääntyy kasvattaen sähköntarvetta. Hiilineutraalisuusskenaariossa sähkönkulutus on 39 % vuoden 2015 tasoa korkeammalla. Tuloksia lukiessa on hyvä huomioida, että vihreän vedyn tuotannon mallinnus on mallin rajoitteiden vuoksi vaillinaista, eikä siihen liittyvä sähkön tarpeen kasvu näy tuloksissa välttämättä täysimääräisesti.

Taulukko 17. Energiankulutus energialähteittäin.

	GWh (Muutos-% vuodesta 2015)				Ero perusskenaarioon %	
	2015	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiilineutraalisuus	2035 Kiertotalous	2035 Hiilineutraalisuus
Mineraaliöljyt	82 994	39 410 (-53 %)	38 406 (-54 %)	34 275 (-59 %)	-3 %	-13 %
Bioöljyt	980	16 890 (1623 %)	16 460 (1580 %)	17 657 (1702 %)	-3 %	5 %
Hiili	27 464	10 107 (-63 %)	856 (-97 %)	766 (-97 %)	-92 %	-92 %
Maakaasu	22 872	4653 (-80 %)	4049 (-82 %)	2657 (-88 %)	-13 %	-43 %
Turve	15 800	1338 (-92 %)	1215 (-92 %)	968 (-94 %)	-9 %	-28 %
Metsähake; halot, rangat ja pilkkeet	30 582	30 960 (1 %)	29 009 (-5 %)	24 513 (-20 %)	-6 %	-21 %
Teoll. jätepuu ja -liemet	60 161	69 676 (16 %)	69 255 (15 %)	65 879 (10 %)	-1 %	-5 %
Biokaasu	189	2301 (1119 %)	2251 (1092 %)	2428 (1186 %)	-2 %	6 %
Muut bio- ja sekapolttoaineet	5 561	6038 (9 %)	5926 (7 %)	5661 (2 %)	-2 %	-6 %
Ydinenergia	67 654	100 959 (49 %)	100 959 (49 %)	100 959 (49 %)	0 %	0 %
Vesivoima	16 584	15 000 (-10 %)	15 000 (-10 %)	15 000 (-10 %)	0 %	0 %
Tuulivoima	2 327	30 000 (1189 %)	40 000 (1619 %)	50 000 (2048 %)	33 %	67 %
Aurinkoenergia	27	2000 (7400 %)	2000 (7400 %)	4000 (14900 %)	0 %	100 %
Lämpöpumput ja muut energialähteet	7 338	19 761 (169 %)	19 909 (171 %)	19 994 (172 %)	1 %	1 %
Sähkön nettotuonti	16 337	4450 (-73 %)	-2152 (-113 %)	-7827 (-148 %)	-148 %	-276 %
Energian kokonaiskulutus	356 870	353 542 (-1 %)	343 142 (-4 %)	336 928 (-6 %)	-3 %	-5 %
Uusiutuvat energialähteet	118 609	189 809 (60 %)	197 050 (66 %)	202 492 (71 %)	4 %	7 %
Uusiutumattomat energialähteet	238 261	163 733 (-31 %)	146 092 (-39 %)	134 436 (-44 %)	-11 %	-18 %
Sähkö yhteensä	80 066	103 116 (29 %)	106 250 (33 %)	111 052 (39 %)	3 %	8 %
Kaukolämpö	29 117	24 879 (-15 %)	25 086 (-14 %)	25 130 (-14 %)	1 %	1 %
Teollisuushöyry	14 178	108 84 (-23 %)	10 360 (-27 %)	10 192 (-28 %)	-5 %	-6 %

Energiaperäiset kasvihuonekaasupäästöt johdetaan ENVIMATscen-mallissa energiankulutuksesta polttoainekohtaisilla päästökertoimilla. Lisäksi malli sisältää muut päästöt, jotka ovat esimerkiksi teollisuuden prosessipäästöjä sekä maatalouden peltolannoitteiden, kalkituksen, kotieläinten aineenvaihdunnan ja lannankäsittelyn päästöjä.

Taulukossa 18 on eritelty kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain.²⁶ Energiateollisuuden (sähkön, lämmön ja höyryn tuotanto) päästöt supistuvat 90 prosenttia vuoden 2015 tasosta, asumisen päästöt yli 80 prosenttia, ja liikenteen päästöt puolittuvat. Energiaperäiset päästöt alenevat 62 prosenttia, muut kuin energiaperäiset päästöt vähemmän, 28 prosenttia. Kaiken kaikkiaan kasvihuonekaasupäästöt supistuvat perusskenaariossa 54 prosenttia vuoden 2015 tasosta.

26 Taulukon mukainen sektorijako ei ole täysin yhtenevä Tilastokeskuksen KHK-inventaarion sektorijaon kanssa, vaan taulukon sektorit johdetaan mallin toimiala- ja polttoaineluokittelun pohjalta. Päästöt ovat mallin laskema tulos, ja ne voivat hiukan erota Tilastokeskuksen virallisista luvuista vuoden 2015 ja 2019 osalta.

Taulukko 18. Kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain.

	Mkg CO ₂ -ekv. (Muutos-% vuodesta 2015)					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Energia- teollisuus	13 823	14 057	1316 (-90 %)	1211 (-91 %)	1023 (-93 %)	-8 %	-22 %
Teollisuus ja rakentaminen	18 817	15 508	12 176 (-35 %)	8003 (-57 %)	6889 (-63 %)	-34 %	-43 %
Kotimaan liikenne	12 002	12 361	5531 (-54 %)	5515 (-54 %)	5213 (-57 %)	0 %	-6 %
Asuminen	1 226	1 020	200 (-84 %)	203 (-83 %)	195 (-84 %)	1 %	-2 %
Maa-, metsä- ja kalatalous	7 872	7 990	5940 (-25 %)	5294 (-33 %)	5250 (-33 %)	-11 %	-12 %
Palvelut	1 380	1 640	323 (-77 %)	323 (-77 %)	323 (-77 %)	0 %	-3 %
Yhteensä	55 120	52 576	25 486 (-54 %)	20 549 (63 %)	18 883 (-66 %)	-19 %	-26 %
Energia- peräiset	41 506	40254	15 730 (62 %)	11 687 (-72 %)	10 241 (-75 %)	-26 %	-35 %
Muut	13 614	12322	9756 (-28 %)	8862 (-35 %)	8476 (-38 %)	-9 %	-13 %

Kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena kasvihuonekaasupäästöt alenevat perusskenaarioon verrattuna. Kiertotalousskenaariossa khk-päästöt ovat 19 prosenttia ja hiilineutraalisuusskenaariossa 26 prosenttia perusskenaariota alemmalla tasolla. Päästöjä vähentäviä toimenpiteitä ovat energiajärjestelmään liittyvien toimenpiteiden (hukkalämpöjen hyödyntäminen, polttoon perustumaton energiantuotanto, puhtaan vedyn tuotanto, sähköistyminen) ohella erityisesti fossiilittoman teräksen valmistukseen siirtyminen sekä kasvipainotteisempaan ruokavalioon siirtyminen. Toimialoittain tarkasteltuna (taulukko 19) havaitaan yleisesti päästöjen ja päästöintensiteetin väheneminen. Päästöintensiteetti on laskettu suhteuttamalla kasvihuonekaasupäästöt euromääräiseen tuotokseen. Absoluuttisesti suurimmat päästövähennykset tapahtuvat metalliteollisuudessa, kemianteollisuudessa ja maataloudessa. Hiilineutraalisuusskenaariossa päästöintensiteetti pienenee selvästi eniten metalliteollisuudessa, sen jälkeen suhteellisesti suurinta vähenemistä tapahtuu kivistötoiminnassa ja louhinnassa, rakentamisessa sekä energia-, vesi- ja jätehuollossa.

Taulukko 19. Kasvihuonekaasupäästöt ja päästöintensiteetit toimialoittain.

	Kasvihuonekaasupäästöt Mkg CO ₂ -ekv.				Päästöintensiteetti kg CO ₂ -ekv./€			
	2015	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus	2015	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Maa-, metsä- & kalatalous	8 231	6 172	5 514	5 457	0,886	0,654	0,610	0,614
Kaivostoiminta ja louhinta	194	210	155	130	0,104	0,094	0,075	0,064
Elintarviketeollisuus	334	122	113	100	0,031	0,011	0,011	0,010
Tekstiili- ja vaatetusteollisuus	24	9	13	9	0,021	0,008	0,009	0,006
Metsäteollisuus	2 957	428	448	405	0,150	0,022	0,021	0,020
Öljynjalostus ja kemianteollisuus	4 824	3 669	3 233	2 828	0,258	0,160	0,151	0,132
Rakennusaineteollisuus	1 887	1 284	1 201	1 134	0,646	0,449	0,434	0,423
Metalliteollisuus	4 792	4 655	1 040	899	0,128	0,116	0,025	0,022
Sähkö- ja elektroniikkateollisuus	28	8	8	8	0,002	0,000	0,000	0,000
Muu valmistus	50	33	35	32	0,030	0,018	0,018	0,017
Energia-, vesi- & jätehuolto	16 738	2 586	2 485	2 172	1,344	0,194	0,178	0,142
Rakentaminen	2 059	1 058	1 049	705	0,069	0,033	0,034	0,023
Kauppa, maj& rav. toiminta	1 047	247	249	241	0,027	0,005	0,005	0,005
Kuljetus ja varastointi	13 522	6 651	6 526	6 175	0,594	0,263	0,262	0,249
Julkiset palvelut	883	365	366	347	0,014	0,005	0,005	0,005
Muut palvelut	3 033	1 473	1 470	1 407	0,029	0,010	0,010	0,010
Yhteensä	60 603	28 971	23 906	22 048	0,156	0,061	0,051	0,047

Maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsien kasvihuonekaasupäästöt eli ns. LULUCF-päästöt on esitetty taulukossa 20. Kosteikkojen ja rakennetun maan osalta päästöjen on oletettu seuraavan HIISI WAM-skenaariota (Koljonen ym., 2021). Viljelysmaan ja ruohikkoalueiden osalta arvio perustuu perusskenaariossa maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (MISU) päästövähennysarvioihin (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022) ja kiertotalousskenaariossa MISUn lisäksi aiempaan HIISI WAM-työhön. Peltomaiden osalta päästöjä oletetaan vähennettävän hiilineutraalisuusskenaariossa edelleen pellonraivauksen minimoinnin, kivennäismaiden hiilensidonnan kasvattamisen ja turvepeltojen vettämisen seurauksena (ks. luku 2.4.5 ja liite 8). Näillä saadaan yli 2 miljoonan tonnin vähenemä viljelysmaiden ja ruohikkoalueiden päästöihin kiertotalousskenaarioon verrattuna.

Mallin ratkaisuna saadaan päätevuoden sahavaran, puulevyjen sekä paperituotteiden tuotantomäärät, joista johdetaan puutuotteiden kasvihuonekaasutase päätevuonna. Laskenta pohjautuu IPCC:n tuotantomenetelmään (production approach), eli laskennassa huomioidaan kotimaisesta puusta kotimaassa valmistetut puutuotteet. Välivuosien tuotannon osalta oletetaan lineaarinen kehitys. Puutuotteiden hiilinielu jää kaikissa skenaarioissa alhaisemmalle tasolle kuin vuosina 2015 ja 2019. Skenaarioissa on huomioitu viime vuosien aikana tapahtuneet muutokset massa- ja paperiteollisuuden tuotannon rakenteessa, erityisesti sellun tuotannon osuuden kasvu. Lyhytikäisempien tuotteiden osuuden kasvu pienentää puutuotteiden hiilinielua päätevuonna.

Taulukko 20. Maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsien kasvihuonekaasupäästöt (LULUCF).

	Mt CO ₂ -ekv. (Muutos-% vuodesta 2015)*					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Metsämaa	-21,9	-12,4	-12,8 (-42 %)	-14,4 (-34 %)	-20,2 (-7 %)	13 %	59 %
Viljelysmaa ja ruohikkoalueet	8,2	9,4	8,0 (-2 %)	6,9 (-16 %)	4,5 (-45 %)	-14 %	-43 %
Kosteikot	2,1	2,1	0,6 (-73 %)	0,6 (-73 %)	0,6 (-73 %)	0 %	0 %
Rakennettu maa	1,3	1,0	1,0 (-20 %)	1,0 (-20 %)	1,0 (-20 %)	0 %	0 %
Puutuotteet	-2,9	-3,4	-2,1 (-29 %)	-2,3 (-20 %)	-2,0 (-32 %)	13 %	-3 %
LULUCF yhteensä	-13,1	-3,2	-5,2 (-60 %)	-8,2 (-38 %)	-16,1 (22 %)	57 %	209 %
Ei-LULUCF	55,1	52,6	25,5 (-54 %)	20,5 (-63 %)	18,9 (-66 %)	-19 %	-26 %
Kaikkiaan	42,0	49,3	20,3 (-52 %)	12,4 (-71 %)	2,8 (-93 %)	-39 %	-86 %

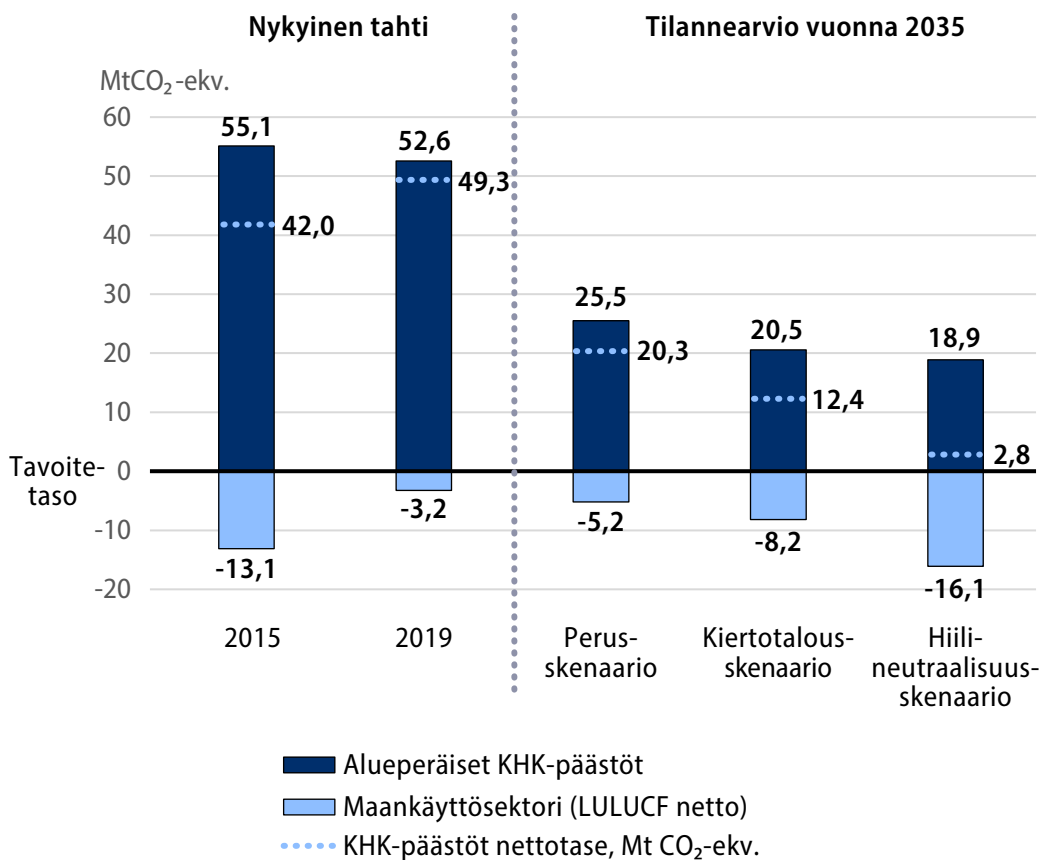
* Taulukon muutosprosenttien tulkinnassa on hyvä huomioida, että nielujen osalta positiivinen muutosprosentti tarkoittaa nielun kasvamista, ja negatiivinen nielun pienenemistä. Päästölähteiden osalta negatiivinen muutosprosentti kuvaa päästöjen vähenemistä.

Metsämaan kasvihuonekaasutase ratkaistaan malliin kehitetyn metsäsatelliitin avulla (kuvaus luvussa 2.4.2). Hakkuumäärät johdetaan mallissa muodostuvasta tukki- ja kuitupuun, metsähakkeen sekä halkojen ja rankojen euromääräisestä kysynnästä. Hakkuukertymäksi perusskenaarion ajossa muodostuu 70,6 Mm³, kiertotalousskenaariossa 69,9 Mm³ ja hiilineutraalisuusskenaariossa 66,9 Mm³. Perus- ja kiertotalousskenaarioissa hakkuut ovat korkeammalla tasolla kuin lähtövuonna 2015 (68 Mm³). Metsämaan hiilinielua pienentää lisäksi maaperän kasvavat päästöt. Orgaanisten maiden khk-taseessa on ollut havaittavissa kasvava trendi, jonka oletetaan jatkuvan. Hiilineutraalisuusskenaariossa metsähakkeen (ja myös muu puun kysyntä) alenee niin, että hakkuut jäävät alle vuoden 2015 tason. Metsämaan hiilinielu jää kuitenkin vuoden 2015 tasoa alemmaksi korkeampien maaperäpäästöjen

vuoksi. Todettakoon, että kaikissa skenaarioissa on oletettu, että metsänhoidon lisäiset toimet (-1,9 Mt CO₂-ekv.) toteutuvat maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman MISU:n (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022) mukaisesti.

Kuvioon 32 on vielä koottu alueperäiset khk-päästöt ja maankäyttösektorin nettopäästöt (jossa negatiivinen arvo kuvaa nielua), sekä esitetty näiden erotuksesta muodostuva kasvihuonekaasupäästöjen nettotase. Hiilineutraalisuus saavutetaan, kun nettotase on nolla.

Kuvio 32. Suomen kasvihuonekaasupäästöt (Mt CO₂-ekv.) vuosina 2015, 2019 sekä luonnonvarojen käytön skenaarioissa vuonna 2035.



Alkuperäisen kuvan visualisointi: Kaskas / Janika Lähdes.

Hiilineutraalisuusskenaariossa LULUCF-sektorin nielu on suuruudeltaan 16,1 milj. tonnia. Tämä ei aivan riitä kattamaan kasvihuonekaasupäästöjä (18,9 milj. tonnia). Hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi tarvitaan lisätoimenpiteitä vielä vajaan kolmen milj. tonnin edestä. Mahdollisia lisätoimenpiteitä on pohdittu skenaariotyön lisätarkasteluna, jota esitellään kohdassa 3.4.6.

3.4.4 Muut ympäristövaikutukset

Ilmapäästöt

Merkittävimpiä ilmapäästöjen lähteitä ovat liikenne, energiantuotantolaitokset ja kotitalouksien lämmitys. Näillä sektoreilla päästöjä rajoitetaan lainsäädännöllä, joka on erityisesti länsimaissa alentanut päästöjä tehokkaasti ja parantanut ilmanlaatua. Osa jo sovitusta lainsäädännöstä on vasta tulossa voimaan tämän vuosikymmenen aikana. Lisäksi tulevaisuuden päästökehitykseen vaikuttavat muutokset polttoainneiden käytössä. Kaikkien ilmansaasteiden päästöjen oletetaan Suomessa alenevan nykytilanteesta vuoteen 2035. ENVIMATscen-mallissa on arvioitu poltossa syntyvien ilmansaasteiden päästökertoimien muutosta vuodesta 2015 vuoteen 2035. Ilmapäästöt ja ilmansaastekustannukset on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. Ilmapäästöt ja ilmansaastekustannukset.

	Päästöt (Mkg), ilmansaastekustannukset (M€) (muutos-% vuodesta 2015)					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kierto- talous	2035 Hiili- neutraalisuus
Happamoittavat päästöt, Mkg SO ₂ -ekv.	152	126	94 (-38 %)	85 (-46 %)	82 (-46 %)	-10 %	-13 %
Pienhiukkaset, Mkg PM _{2,5}	16	13	10 (-33 %)	10 (-35 %)	10 (-35 %)	-1 %	-2 %
Ilmansaaste- kustannukset, M€	1 675	1 409	1 075 (-36 %)	1 023 (-39 %)	993 (-41 %)	-5 %	-8 %

Happamoittavat päästöt ja pienhiukkaset vähenevät perusskenaariossa yli kolmanneksen vuoteen 2015 verrattuna. Oikeasuuntainen kehitys havaitaan jo verrattessa vuosia 2015 ja 2019. Kiertotaloustoimenpiteiden myötä happamoittavat päästöt alenevat edelleen 10–13 prosenttia perusskenaarioon verrattuna. Pienhiukkasten osalta muutokset kolmen eri skenaarion välillä ovat enää pieniä.

Ilmansaasteiden vähentyessä alenevat myös niiden aiheuttamat rahalliset haitat. Saastekustannukset ovat perusskenaariossa 36 prosenttia vuoden 2015 tasoa alhaisemmat, ja laskevat edelleen kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa (taulukko 21). Vuonna 2015 ilmansaastekustannukset olivat 0,8 prosenttia BKT:sta, hiilineutraalisuusskenaariossa enää 0,36 prosenttia.

Maankäyttö

ENVIMATscen-mallissa maankäyttö on lähtökohtaisesti kytketty toimialojen tuotokseen. Tällöin maankäyttö seuraa suoraan toimialojen volyymikehitystä, eli maankäyttö muuttuu tuotannon kasvun tai supistumisen mukaisesti. Asumisen maankäytön osalta on kuitenkin huomioitu, että historiallisesti asuineliöiden kasvu on ollut hitaampaa kuin toimialan tuotoksen kasvu. Tämän voidaan tulkita heijastavan asuinrakennusten laadun (varustelutason) paranemista.

Taulukossa 22 on esitetty maankäytön kehitys toimialaryhmittäin. Kokonaispinta-ala säilyy skenaarioissa vuoden 2015 mukaisena. Vuodelle 2019 kalibroidun mallin lähtöaineistossa kokonaispinta-alatieto on hiukan tarkentunut, ja eroaa siksi vuosien 2015 ja 2035 luvusta.

Taulukko 22. Maankäyttö toimialaryhmittäin, km².

	2015	2019	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Maatalous	27 615	27 506	26 858	24 434	24 615
Metsätalous	209 916	208 146	211 115	212 614	212 071
Turvetuotanto	1 150	1140	54	47	28
Kaivos- ja kaivannais- toiminta	391	379	486	450	436
Liikenneväylät	2 378	2 379	2 658	2 660	2 652
Teollisuus ja rakentaminen	1 610	1 652	1 796	1 847	1 935
Palvelut	1 617	1 721	1 954	1 954	1 948
Asuminen	4 714	4 944	4 972	5 072	5 164
Taloudellisen toiminnan ulkopuolella	54 509	56 052	54 007	54 824	55 051
Yhteensä	303 900	303 920	303 900	303 900	303 900

Metsätalouden maankäyttöön luetaan puuntuotannon käytössä olevien metsien eli talousmetsien pinta-ala. ENVIMATscen-mallissa tämä ratkaistaan viimeisenä eränä, eli metsätaloudelle jäävä pinta-ala on jäännöserä, joka jää jäljelle muiden toimialojen maankäytöstä²⁷. Taloudellisen toiminnan ulkopuolella ovat suojelualueet, muut luonnontilaiset alueet sekä taloudellisesta hyödyntämiskäytöstä poisjääneet alueet, kuten hylätyt pellot.

27 Tulkinta jäännöserän laskemiselle on seuraava. Lisääntyvä maapinta-alan tarve muilla toimialoilla aiheuttaa metsän raivaamista (metsäkatoa). Viime vuosien aikana metsää on raivattu sekä rakennetun ympäristön että maatalouden tarpeisiin. Toisaalta maataloudesta vapautuva pinta-ala eli käytöstä poistetut pellot siirtyvät vähitellen metsätalouden käyttöön (esim. metsitetään).

Turpeen polton mittava vähentyminen näkyy turvetuotannon vaatimassa pinta-alassa, joka kutistuu murto-osaan lähtötilanteen tasosta. Muun kaivos- ja kaivannaistoiminnan maankäyttö sen sijaan kasvaa perusskenaariossa 24 % vuoden 2015 tasosta uusien kaivosten avaamisen myötä. Kaivos- ja kaivannaistoiminta sisältää metallimalmien louhinnan ja muiden mineraalien kaivun lisäksi soran, hiekan ja saven oton. Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa kaivos- ja kaivannaistoiminnan maankäyttö pienenee perusskenaarioon verrattuna, kun neitseellisen soran otto vähenee.

Maatalouden käytössä oleva maanpinta-ala on hiukan supistunut vuodesta 2015 vuoteen 2019. Perusskenaariossa maankäyttö edelleen hiukan pienenee, mutta suurempi vaikutus nähdään kiertotalousskenaariossa, kun siirrytään kasvispainotteisempaan ruokavalioon.

Luontokato

ENVIMATscen-mallissa luontokato kuvaa sitä, kuinka monta prosenttia luonnon monimuotoisuudesta on kadonnut maankäytön seurauksena verrattuna tilanteeseen, jossa koko Suomi olisi luonnontilainen eli vanhojen metsien peittämä (tarkempi kuvaus luvussa 2.2.3).

Suomen vuoden 2015 maanpeitejakaumalla luontokadoksi saadaan 37 %, ja tilanne on säilynyt hyvin samankaltaisena vuoteen 2019 (taulukko 23). Perusskenaariossa luontokato alenee 36,7 prosenttiin, ja kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa 36,3 prosenttiin. Tätä selittää erityisesti maatalouden maankäytössä tapahtuvat muutokset. Ruokavaliomuutoksen myötä maatalouden vaatima pinta-ala pienenee.

Taulukko 23. Luontokato toimialaryhmittäin.

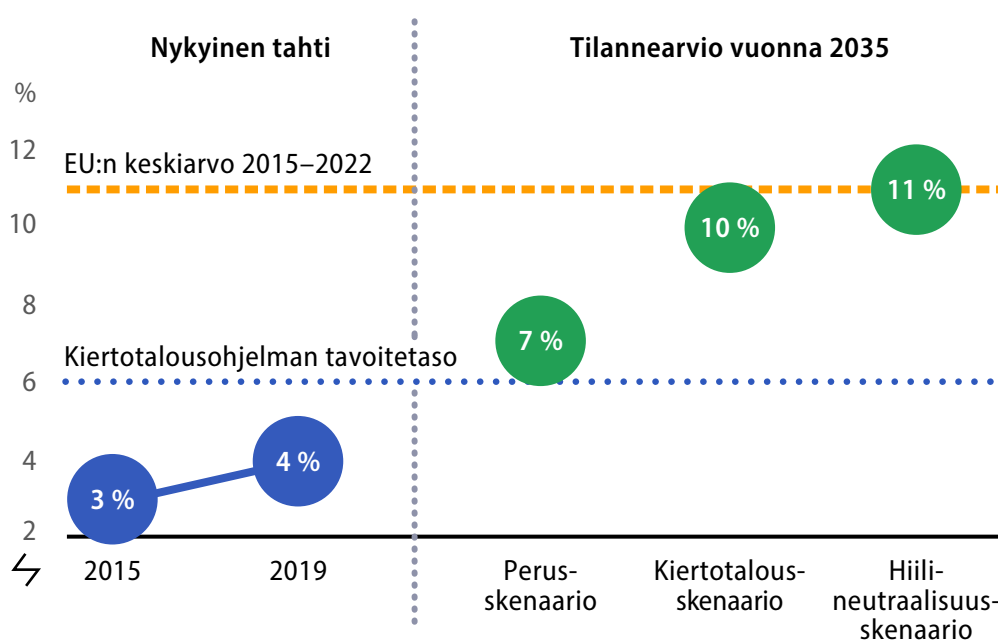
	Luontokato, % (Muutos-% vuodesta 2015)					Ero perus- skenaarioon, %	
	2015	2019	2035 Perus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus	2035 Kiertotalous	2035 Hiili- neutraalisuus
Maatalous	7,1	7,0	6,8 (-4 %)	6,3 (-11 %)	6,4 (-10 %)	-8 %	-7 %
Metsätalous	26,6	26,6	26,7 (0 %)	26,8 (1 %)	26,7 (0 %)	0 %	0 %
Turvetuotanto	0,3	0,3	0,0 (-96 %)	0,0 (-96 %)	0,0 (-98 %)	-14 %	-48 %
Kaivos- ja kaivannais- toiminta	0,1	0,1	0,1 (24 %)	0,1 (15 %)	0,1 (12 %)	-7 %	-10 %
Liikenneväylät	0,6	0,6	0,7 (12 %)	0,7 (12 %)	0,7 (11 %)	0 %	0 %
Teollisuus ja rakentaminen	0,3	0,3	0,3 (5 %)	0,3 (7 %)	0,3 (11 %)	3 %	6 %
Palvelut	0,5	0,5	0,6 (21 %)	0,6 (21 %)	0,6 (21 %)	0 %	0 %
Asuminen	1,2	1,2	1,3 (5 %)	1,3 (8 %)	1,3 (10 %)	2 %	4 %
Taloudellisen toiminnan ulkopuolella	0,3	0,3	0,3 (0 %)	0,3 (0 %)	0,3 (0 %)	0 %	0 %
Yhteensä	37,0	37,0	36,7 (-1 %)	36,3 (-2 %)	36,3 (-2 %)	-1 %	-1 %

Muutokset indikaattorissa ovat pieniä, mutta oikeasuuntaisia. Kiertotaloustoimenpiteet eivät ainakaan heikennä edellä kuvatulla tavalla mitattua luonnon monimuotoisuutta. Metsätalous dominoi maankäyttöön perustuvaa luontokatoindikaattoria, jolloin kiertotaloustoimenpiteiden vaikutukset näyttäytyvät vähäisinä. Biodiversiteettivaikutusten tarkempi ja monipuolisempi arviointi vaatii mallin jatkokehitystä. Tulokset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että luonnonvarojen käytön vähentäminen merkitsee vähäisempää painetta maankäyttöön ja siihen kytkeytyviin luonnon monimuotoisuusvaikutuksiin.

3.4.5 Kiertotalousaste

Suomen kiertotalousaste vuonna 2015 oli noin 3 %, mikä oli hyvin alhainen verrattuna Euroopan unionin keskimääräiseen tasoon samana vuonna (noin 11 %). Indikaattorin arvo parani hieman vuoteen 2019 tultaessa (4 %). Syynä tähän oli kotimaassa materiaalihyödynnetyn jätteen määrän kasvu sekä jätteiden vientimäärän lähestyminen tuontimääriä, vaikka DMC kasvoikin samaan aikaan.

Kuvio 33. Kiertotalousaste vuosina 2015, 2019 sekä luonnonvarojen käytön skenaarioissa vuonna 2035.



Alkuperäisen kuvion visualisointi: Kaskas / Janika Lähdes

Kiertotalousasteen tavoite eli vuoden 2015 tason kaksinkertaistaminen vuoteen 2035 saavutetaan kaikissa skenaarioissa (kuviokuva 33). Keskeistä on kotimaisten jätteiden materiaalihyödyntämisen merkittävä kasvu. Vuoteen 2015 verrattuna määrät kasvavat perusskenaariossa 2,7-kertaisiksi, kiertotalousskenaariossa 3,7-kertaisiksi ja hiilineutraalisuusskenaariossa 4,1-kertaisiksi. Metallijätteiden hyödyntämisessä päästään kaikissa skenaarioissa selvästi vuotta 2015 korkeammalle tasolle. Tämä hyödyntäminen liittyy ennen kaikkea terästehtaiden muuttuviin tuotantoteknologioihin ja kierrätysteräksen käyttöön. Muovijätteiden ja kotitalousjätteiden osalta EU:n kierrätystavoitteiden saavuttaminen ja jopa ylittäminen merkitsee selvää kasvua materiaalihyödyntämisessä jo perusskenaariossa, mutta etenkin kiertotalous- ja

hiilineutraalisuusskenaarioissa. Polttojätteiden osalta metallin jalostuksen kuonien käyttö arvioitiin perusskenaariossa jonkin verran vuoden 2015 tasoa pienemmäksi. Taustalla tähän on terästuotannon teknologian muutos, jossa uudentyypisiä kuonia ei pystytä perusskenaariossa täysimääräisesti hyödyntämään. Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa hyödyntämisessä päästään kuitenkin 2010-luvun lopun tasolle.

Suurimmat vaikutukset saadaan, kun kansantalouden raskaita neitseellisiä materiaalivirtoja pystytään korvaamaan isoilla jätemassoilla. Rakentamisen ja purkamisen mineraalijätteiden eli etenkin purkubetonin käyttö maa- vesirakentamisessa ja rakennusaineteollisuudessa kasvaa vuoden 2015 tasosta jo perusskenaariossa, mutta kahdessa muussa skenaariossa käyttö on 5–7-kertaista. Lisäksi kaivosten hyödynnetyn sivukiven ja rikastushiekan määrä yli kaksinkertaistuu tehostumisen ja uusien kaivosten avautumisen myötä.

Jätteiden ulkomaankaupan osalta tuonnin ja viennin erotus pienenee aiemmasta eli muuttuu suotuisammaksi. Tässä on taustalla viennin tuontia suurempi kasvunopeus. Kotimaan materiaalikulutus (DMC) kasvaa jonkin verran vuodesta 2015, mutta vain hieman, mikä edesauttaa tavoitteen saavuttamista (perusskenaariossa kasvu 10 %, kiertotalousskenaariossa 6 % ja hiilineutraalisuusskenaariossa 4 %), kun samaan aikaan materiaalihyödynnetyn jätteen määrä kasvaa hyvin nopeasti.

Hiilineutraalisuusskenaariossa saavutetaan jo Euroopan unionin vuosien 2015–2022 keskitaso (11–12 %). Oletettavaa kuitenkin on, että vuoteen 2035 EU:n keskimääräinen CMU on kasvanut merkittävästi. Tuoreen mallinnuksen mukaan EU:n olisi mahdollista saavuttaa vuonna 2030 noin 22 prosentin kiertotalousaste, mikäli tarpeeksi monipuoliset ja kunnianhimoiset strategiat otetaan käyttöön (Christis ym., 2023).

3.4.6 Lisätarkastelut

Hiilineutraalisuuden saavuttaminen vuoteen 2035 mennessä

Skenaariotyön tulosten perusteella tarkastellulla toimenpiteiden joukolla ja muutosten tasoilla ei vielä saavuteta hiilineutraalisuutta vuonna 2035. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää hiilineutraalisuusskenaarion nähden lisäisiä päästövähennystoimia ja maankäyttösektorin nettonielujen vahvistamista. Nämä lisäiset toimenpiteet voivat perustua osittain kiertotaloustoimiin ja luonnon nielujen vahvistamiseen, mutta jo pelkästään vajaan 3 Mt CO₂-ekv. vuosittaisten teknisten nielujen ja varastoinnin seurauksena hiilineutraalisuustavoite voidaan saavuttaa 2035, mikäli tässä työssä esitetyt hiilineutraalisuusskenaarion oletukset toteutuisivat.

Suomen ilmastopaneeli on selvityksessään (Kujanpää ym., 2023) arvioinut, että Suomessa on hyvät mahdollisuudet saavuttaa ko. suuruusluokkaa oleva teknisen nielun lisäys vuoteen 2035 mennessä ottamalla sellutehtaista bioperäinen hiilidioksidi talteen ja varastoimalla ne muun muassa Pohjanmeren öljy- ja kaasukenttien tyhjiin onkaloihin. Bioperäisen hiilidioksidin talteenotto ja varastoinnin (BECCS, bioenergy with carbon capture and storage)²⁸ teollinen toteutus vaatii kuitenkin kehittämistä ja investointeja, minkä takia BECCS:n toteutuskustannukset näyttävät vielä korkeina, eikä investointien tukemiseksi ole vielä olemassa poliittisia ohjauskeinoja tai kannustimia. EU:lla on kuitenkin tahtotila edistää BECCS:n käyttöönottoa 2030-luvulla (Euroopan komissio, 2024b). Sama koskee Suomen nykyhallitusta (Valtioneuvosto, 2023). Kaikkeen hiilidioksidin poistoon, kuljetukseen ja varastointiin liittyy kuitenkin erilaisia riskejä ja epävarmuuksia, joiden takia on tärkeää samanaikaisesti edistää luonnon hiilinielujen vahvistamista eikä teknisten hiilinielujen mahdollisuus tulevaisuudessa saa johtaa luonnon nielujen vahvistamisen laiminlyöntiin esimerkiksi siihen nähden, mitä tämän työn hiilineutraalisuusskenaariossa on esitetty. Lisäksi tulee ensisijaisesti vähentää kaikkia kasvihuonekaasupäästöjä kaikilla sektoreilla eikä myöskään korvata näitä päästövähennyksiä teknisillä nieluilla.

Hiilineutraalisuustavoitteen varmistamiseksi työssä arvioitiin vielä metsäbiomassan käyttöön liittyviä lisäisiä mahdollisuuksia vahvistaa luonnon nieluja. Hiilineutraalisuusskenaariossa kotimaisen runkopuun vuosihakkuiden arvioitiin jäävän 67 miljoonan kuution tasolle, kun hakkuutaso on ollut vuosina 2019–2023 keskimäärin 72,5 miljoonaa kuutiota. Arvioinnin lähtökohtana on, että metsäteollisuus pysyisi edelleen prosessoimaan viime vuosien kaltaisen puumäärän pienemmillä hakkuilla metsäteollisuuden materiaalitehostumisen seurauksena. Käytännössä materiaalitehostuminen perustuisi ennen sellutehtaiden energiatuotantoon menneiden jakeiden, kuten ligniinin, hyödyntämiseen tuotevalmistuksessa ja menetetyin puupohjaisen energiapanoksen korvaamiseen sähkökattiloilla. Samaan aikaan energiatuotannon puuntarve olisi kääntynyt laskuun polttoon perustamattomien energiatuotantoratkaisujen myötä, ja aikaisemmin metsäteollisuuslaitoksilta energiatuotantolaitoksille päätyneet puuainekset löytyisivät jatkossa yhä enemmän käyttökohteita metsäteollisuudessa.

28 Luvussa 3.4.3 esitetyt kasvihuonekaasupäästöt eivät sisällä bioperäistä hiilidioksidia. Kuitenkin bioperäisen hiilidioksidin talteenotto ja varastoiminen tuottaa päästöhyötyjä, jotka pystytään ottamaan huomioon kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa. EU on kehittämässä tähän ohjeistusta, jotka saadaan valmiiksi tällä vuosikymmenellä (Euroopan komissio, 2024b).

Jos metsäteollisuus- ja energiatuotantolaitosten kotimaisen runkopuun hakkuutarve olisi materiaalitehostumisen ja polttoon perustumattoman energiamurroksen seurauksena vuositasolla keskimäärin miljoona kuutiota vähemmän kuin hiilineutraalisuusskenaariossa, metsämaan ja puutuotteiden nettovaikutus nielun vahvistumiseen olisi ENVIMATscen-mallin metsäsatelliitin perusteella noin 1,8 miljoonaa CO₂-tonnia vuodessa. Jos tämän lisäksi eri sektoreiden yhteisvaikutuksesta päästövähennys olisi miljoona CO₂-ekv. tonnia suurempi kuin hiilineutraalisuusskenaariossa, hiilineutraalisuus saavutettaisiin ilman BECCS:n käyttöä. Suomi pyrkii edistämään vetytaloutta kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamisen lisäksi vientiteollisuuden tarpeisiin. Yhtenä tärkeänä vetytalouden sovellusalueena on hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö (CCU, carbon capture and utilization), jota voidaan pitää kiertotaloustoimenpiteenä. Siinä muutoin ilmakehään vapautuva hiilidioksidi sidotaan tuotteiden valmistukseen, vaikka siitä ei synny negatiivisia hiilidioksidipäästöjä kuten BECCS:ssä, niin CCU-toiminnasta voidaan saada merkittäviä kasvihuonekaasupäästöhyötyjä ns. korvaushyötyjen seurauksena. Jos CCU-pohjaisten synteettisten polttoaineiden (tai tuotteiden) valmistuksen ja käytön elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt ovat selvästi alhaisemmat kuin vastaavien fossiilisten polttoaineiden (tai tuotteiden), saavutetaan ilmastohyötyjä. Jos synteettiset polttoaineet täyttävät EU:n RED III -direktiivin (EU, 2023) päästöjen vähennysvaatimukset, ne ovat EU:ssa hyväksyttävää kauppatavaraa. RED III -direktiivin perusteella tällaisia synteettisiä polttoaineita valmistava maa voi saada vientipolttoaineistaan 30 prosentin päästöhyödyn oman maan kasvihuonekaasuinventaarion tulokseksi, jos EU:ssa sijaitsevan vientimaan kanssa saadaan tällainen sopimus aikaiseksi. Tällöin siis CCU-pohjaisten liikennepolttoaineiden vientitoiminnasta löytyisi helpotusta kotimaan päästövähennystoimintaan. Jos toiminta kehittyisi tarpeeksi laajaksi, se myös helpottaisi Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamista.

Sähköautojen akuston erillistarkastelu

Skenaariotyössä tarkasteltiin sähköautojen akuston vaikutusta Suomen kansantalouden materiaalivirtoihin ENVIMATscen-mallinnuksesta erillään omana arviona. Erillistarkastelun tavoitteena oli haarukoida akustojen mallintamisen puuttumisen merkitystä RMC-tarkastelun lopputulokseen. Tarkastelua puolsi se, että akustojen materiaalijalanjäljen tiedetään oleva suuri suhteessa niiden painoon. Tämä johtuu siitä, että akuissa käytettävien materiaalien valmistaminen vaatii suuria luonnonvarapanoksia.

Vuonna 2035 akustojen elinkaariseksi raaka-ainekäytöksi saatiin 0,89 Mt. Kun huomioidaan, että yli 90 % ajoneuvojen hankinnasta allokoituu pääomanmuodostukseen, akustojen vaikutuslisäyksen seurauksena raaka-aineiden kulutukseksi (RMC) saataisiin hiilineutraalisuusskenaariossa noin 201 Mt.

3.5 Lähtöaineistojen ja mallinnuksen epävarmuustekijöitä

Tuloksia tulkitessa on syytä huomioida, että laskentamenetelmiin ja mallinnukseen liittyy aina epävarmuuksia. Epävarmuuden lähteitä voivat olla puutteet ja virheet lähtötiedoissa, mallin parametreissa ja itse mallin rakenteessa. Nämä koskevat sekä yhtä vuotta kuvaavaa staattista että pidemmän aikavälin skenaariotarkastelua. Skenaariotarkastelussa epävarmuus liittyy myös talouden dynamiikan huomiointiin. Tässä työssä skenaariot on mallinnettu pitkän aikavälin simulointimallilla, joka huomioi taloudessa tapahtuvia muutoksia ja kansantalouden tasapainon kannalta olennaisia lainalaisuuksia. Mallissa huomioidaan erilaisia (budjetti)rajoitteita ja rebound-vaikutuksia. Näin ollen malli soveltuu staattista panos-tuotomallia selvästi paremmin pitkän aikavälin tarkasteluihin. Malli on kuitenkin käyttäytymisoletuksiltaan yksinkertainen, esimerkiksi hintajoustoja on vain kotitalouksien kulutuksessa ja ulkomaankaupassa. Skenaarioparametrit perustuvat asiantuntija-arvioihin sekä tapahtuneiden kehityskulkujen analysointiin, ja parametrit voidaan valita monella eri tavalla. Tämän työn puitteissa ei ole ollut mahdollista tehdä perusteellista herkkyys- ja epävarmuustarkastelua. Tähän on jatkotutkimuksissa syytä kiinnittää enemmän huomiota. Epävarmuuksista huolimatta malli tarjoaa systemaattisen tavan tarkastella kiertotaloustoimenpiteiden vaikutuksia.

Skenaarioiden kiertotaloustoimenpiteiden tavoitetasojen määrittelyssä on pyritty mahdollisuuksien mukaan huomioimaan erilaisia reunaehtoja ja toimenpiteiden toteutettavuutta. Yksittäisten toimenpiteiden toteutuminen mallinnuksessa oletetut tavoitetasot saavuttaen sisältää kuitenkin useita epävarmuuksia. Kaikkia tunnistettuja kiertotaloustoimenpiteitä ei ole pystytty sisällyttämään mallinnukseen lähtötietojen puutteiden vuoksi. Lisäksi kiertotaloustoimenpiteiden lista edustaa kokonaisuutta, jonka saavuttamista erilaiset esteet huomioiden asiantuntijat ja sidosryhmät pitivät mahdollisena vuoteen 2035 mennessä, eikä se ole tyhjentävä kuvaus kaikista mahdollisista kiertotaloustoimenpiteistä. Kiertotalouden potentiaali voi siis olla suurempi kuin skenaariotyön mallinnuksen tulokset osoittavat. Toisaalta kaikkia mallinnettuihin toimenpiteisiin liittyviä investointi- ja muita kustannuksia ei ole välttämättä pystytty sisällyttämään mallinnukseen täysimääräisesti, mikä voi joiltain osin yliarvioida vaikutuksia. Toimenpiteiden mallinnuksessa käytettyihin lähtötietoihin liittyy kaiken kaikkiaan epävarmuuksia, koska esimerkiksi hintojen kehityksen ennakointi on haastavaa.

Skenaarioissa ei ole pystytty arvioimaan puhtaan siirtymän edellyttämien investointien materiaalivirtojen vaikutusta luonnonvarojen käyttöön kuin vain osittain. Sähköautojen akkujen valmistuksen aiheuttamat vaikutukset on haarukoitu käytämällä nykyisten akkuteknologioiden aiheuttamia materiaalityyppeitä (luku 3.4.6).

Vuonna 2035 kansantaloutemme tulevien uusien sähköautojen akustojen materiaaliarve voi olla erilainen kuin nykyisten sähköautojen, todennäköisesti vähäisempi akuston kWh-kapasiteettia kohden arvioituna. Teknologian uskotaan vähentävän kriittisten mineraalien tarvetta substituution kautta ja toisaalta materiaalit tulevat kiertämään selvästi nykyistä peremmin tulevaisuudessa. Kriittisten materiaalien raaka-ainepanokset ovat hyvin suuria tuotteessa käytettyä materiaalikiloa kohti, minkä takia skenaariotyön ulkopuolella tehty lisätarkastelu enemmän yliarvioi kuin aliarvioi akustojen materiaaliarvetta vuonna 2035.

Työstä puuttuu puhtaan sähkön tuotannon tuotantoinvestointien materiaaliarvosten kattava arviointi vuonna 2035. Mallinnustulos kuvaa yhden vuoden korvaus- ja lisäinvestointeja, joiden osalta ei pystytä erottelemaan tuotantoteknologioiden erilaisia investointituotekoostumuksia. Suomeen uskotaan tulevan suuria tuuli-voima- ja aurinkovoimainvestointeja, mutta niiden rakentamisen on oletettu toteutuvan pitkälti ennen vuotta 2035. Työssä on oletettu niiden rakentamisen jäävän selvästi vähäisemmäksi vuonna 2035 kuin niitä on viime vuosina Suomeen tehty. Tämän takia uusiutuvan energiatuotannon lisärakentamisen ei odoteta muuttavan isossa kuvassa skenaarioiden RMC-tuloksia, jotka kuvaavat yhden vuoden virtoja, eivät kumulatiivisia virtoja yli ajan. Puhtaan energiantuotannon investointien vaikutukseen liittyy kuitenkin selvä epävarmuus, minkä takia asian selvittäminen vaatisi oman erillistarkastelun jatkossa.

Raaka-aineiden kulutuksen (RMC) laskentamenetelmiin liittyy epävarmuuksia, joita esiteltiin luvussa 2.2.2. Raportissa esitetyt arviot raaka-aineiden kulutuksesta vuosien 2015 ja 2019 osalta poikkeavat toisistaan RMC-laskentakehikon (luku 3.1) ja ENVIMAT-mallinnuksen (luvut 3.2–3.4) välillä. RMC-laskentakehikon tulosta voidaan pitää hieman kattavampana (sis. erittelemätön tuonti ja vienti), mutta molemmissa laskentatavoissa on omat epävarmuutensa. Molempien vuosien kohdalla tulosten poikkeama oli noin 7 %, joskin eri suuntiin (vuonna 2015 ENVIMATin tulos pienempi, vuonna 2019 suurempi).

Skenaarioiden RMC-tuloksiin vaikuttaa huomattavasti oletukset tuontituotteiden RME-kertoimista eli niiden valmistusketjujen raaka-ainekäytöstä. Kuten kansantalouden materiaaliarvojen analyysistä (luvut 3.2.1–3.2.3) nähdään, raaka-aineiden kulutus aiheuttaa huomattavaa luonnonvarojen ottoa ja käyttöä Suomen rajojen ulkopuolella. ENVIMATscen-mallilla arvioidut kiertotaloustoimenpiteet kohdistuvat ennen kaikkea Suomen tuotantoon ja kulutukseen. Tuontituotteiden osalta oletetaan maltillista materiaaliarvohostumista (saamaa tasoa kuin autonominen materiaaliarvohostuminen Suomessa, ks. luku 2.5), mikä pienentää niiden RME-kertoimia. Mikäli kiertotalous etenee maailmanlaajuisesti, mallinnuksessa käytetyt tuontituotteiden RME-kertoimet on arvioitu hieman liian suuriksi. Tästä seuraa yliarviointia RMI- ja

RMC-indikaattorien osalta. Vastaavasti joidenkin uusien tuotteiden RME-kertoimet voivat olla myös nykyisiä suurempia (esim. sähköautot). Arviointivirheen suuruusluokkaa on kuitenkin mahdotonta arvioida ilman kunnollista herkkyystarkastelua, johon tässä työssä ei ollut mahdollisuutta.

3.6 Skenaarioiden toteutumisen edellytykset

Käytännössä kaikkiin yksittäisiin toimenpiteisiin liittyy oletuksia, jotka voivat toteutua todellisuudessa toisin. Monissa tapauksissa toimenpiteen toteutuminen edellyttää myös usean eri toimijajoukon yhteistyötä ja mikäli jokin osa arvoketjua ei toteudukaan oletetulla tavalla, vaikutukset voivat olla hyvin erilaiset kuin mallinnuksen tulos. Kiertotaloustoimenpiteiden toteutumiseen liittyviä näkökulmia on käyty läpi luvussa 2.4 ja liitteissä 3–8. Yleisesti ottaen skenaariot eivät ole ennusteita, eikä tulevaisuus koskaan toteudu ennakoidulla tavalla.

Sidosryhmäkeskusteluissa ja kiertotalouden strategisen ohjelman arvioinnissa (Haila ym., 2023) nimettiin merkittävänä kiertotalouden edistämisen pullonkauloina erityisesti kiertotaloustoimenpiteitä tukeva lainsäädäntö ja lupakäytännöt, riittävä koulutus ja osaaminen, TKI-rahoituksen suuntaamisen tarve kiertotalouteen. Lisäksi suotuisa investointiympäristö on usein uusien toimenpiteiden käyttöönoton edellytys. Kiertotalous- ja hiilineutraalisuustavoitteisiin pääseminen edellyttää rahoitusta teknologiainvestointeihin ja uusien toimintamallien käyttöönottoon.

4 Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet

Suomen strategisen kiertotalousohjelman vision mukaan vuonna 2035 Suomen menestyvä talous perustuu hiilineutraaliin kiertotalousyhteiskuntaan, jossa luonnonvarojen käyttö on kestävää ja tehokasta. Toisaalta laajempi ja määrällisiin tutkimuksiin perustuva ymmärrys kiertotalouden talous- ja ympäristövaikutuksista on ollut puutteellista. Lisäksi tietopohjassa Suomen luonnonvarojen käytöstä on ollut kehitettävää. Selvityksen tavoitteena oli vastata näihin tietotarpeisiin ja vahvistaa samalla talouden eri toimijoiden kiertotaloussitoumusten suunnittelun tietopohjaa potentiaalisimpien kiertotaloustoimien tunnistamiseksi ja käytäntöön viemiseksi.

Osana tätä tutkimusta kehitettiin laajasti materiaalivirtojen laskentaa ja aikasarjoja kotimaassa. Tarkasteltaessa raaka-aineiden loppukäyttöä kotimaassa vuonna 2019 havaittiin, että suurimmat materiaalivirrat koostuivat maa- ja kiviaineksista ja tätä seurasivat fossiiliset polttoaineet, raakapuu ja viljelykasvit. Suomi oli myös raaka-aineiden nettoviejä. Toisaalta Suomen väkilukuun suhteutetut materiaali- ja raaka-ainevirrat olivat kansainvälisesti korkealla tasolla. Suomen kansantalous on materiaali-intensiivinen sekä tuotannon että kulutuksen osalta. Suomi käyttää paljon tuontiraaka-aineita vientituotteiden valmistamiseen. Tärkeimmät kotimaiset raaka-aineet vientituotteiden valmistuksessa ovat metallimalmit ja raakapuu. Luonnonvarojen oton ja jalostuksen ympäristövaikutukset ovat huomattavia, mutta raaka-aineiden käytön valmistusketjuissa syntyy myös paljon arvonnäköystä. Suomen aluetason tarkastelut vuoden 2015 aineistolla puolestaan paljastivat, että raaka-aineiden tuotanto ja kulutus eivät tyypillisesti tapahtuneet samassa maakunnassa. Myös luonnonvaroiltaan rikkaat (esimerkiksi metsäiset tai kaivostoimintaa sisältävät) maakunnat tyydyttivät loppukulutuksensa pääosin tuonnin kautta.

Työssä laadittiin myös kolme vuoteen 2035 ulottuvaa ja talouden keskeiset sektorit poikkileikkaavaa kiertotalouden skenaariota, jotka olivat perus-, kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaario. Tämän jälkeen skenaarioiden vaikutuksia arvioitiin määrällisesti talouteen (mm. bruttokansantuotteeseen ja työllisyyteen) ja ympäristöön (mm. luonnonvarojen käyttöön, ilmapäästöihin ja luontokatoon) liittyen.

Skenaariotulosten perusteella kiertotalouden strategisessa ohjelmassa asetettu tavoite luonnonvarojen käytön kasvun pysäyttämiseksi on mahdollista saavuttaa, kun kiertotaloustoimenpiteitä otetaan kotimaassa laajasti käyttöön rakentamisessa,

teollisuudessa, kulutuksessa, energiasektorilla ja ruokajärjestelmässä. Raaka-aineiden kulutuksen kääntäminen selvään laskuun edellyttää muutoksia etenkin rakentamisessa, mikä on haasteellista muuttoliikkeen kohdistuessa jatkossakin voimakkaasti kasvukeskuksiin.

Tutkimuksen keskeinen havainto on, että siirtymä hiilineutraaliin kiertotalousyhteiskuntaan luonnonvarojen kulutusta kasvattamatta on toteutettavissa taloutta heikentämättä ja sillä saavutetaan myös selviä vähennyksiä kasvihuonekaasupäästöissä ja muissa ilmapäästöissä sekä myönteisiä vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen.

Tarkasteltaessa skenaariotyön tuloksia tarkemmin havaitaan, että kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa Suomen raaka-aineiden kulutus (RMC) vuonna 2035 on matalampi kuin vuonna 2015, ja materiaalien kiertotalousaste kaksinkertaistuu vuodesta 2015. Toisaalta Suomen raaka-aineiden kulutus asukasta kohden säilyy kansainvälisesti vertailtuna erittäin korkealla tasolla ja resurssituottavuudessa jäädään selvästi sekä tavoitteesta eli sen kaksinkertaistamisesta, että EU-maiden keskiarvosta. Skenaarioiden tulosten perusteella Suomi on tulevaisuudessakin vauras maa, joka tarvitsee paljon luonnonvaroja Suomesta ja ulkomailta kulutuksen ja investointien tyydyttämiseen. Täten Suomella on edelleen selvästi parantamisen varaa, mikäli talouden materiaali-intensiivisyyttä halutaan vähentää ja kiertotalousastetta kohottaa.

Kasvihuonekaasupäästöjen kohdalla puhdas energiasiirtymä vähentää Suomen kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi jo perusskenaariossa ja arvioidut kiertotaloustoimenpiteet edistävät päästöjen laskua ja vahvistavat nieluja. Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa kasvihuonekaasupäästöt ja nielut vahvistuvat edelleen, mutta hiilineutraalisuusskenaarioon sisällytetyillä oletuksilla ja toimenpiteillä hiilineutraalisuustavoitetta ei vielä saavuteta 2035. Hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen on kuitenkin mahdollista työssä hahmotettujen oletuksien ja lisätoimien toteutuessa. Lisäiset toimet liittyvät etenkin teknisten hiilinielujen käyttöönottoon, luonnon nielujen vahvistamiseen metsä- ja energiateollisuuden materiaalitehostumisen myötä ja vetytalouden uusiin päästövähennyssovelluksiin. Skenaariotyö tekee näkyväksi, mikä voisi olla kiertotalouden lisäinen merkitys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä ja kuinka tärkeää kiertotalouden edistymiselle on sähköistyminen, puhdas sähkön ja lämmön tuotanto ja energiatehokkuuden lisääntyminen.

Talousvaikutusten osalta skenaariotyön tulokset osoittavat, että kiertotaloustoimenpiteiden seurauksena bruttokansantuote kasvaa ja työn tuottavuus vahvistuu. Talous muuttuu palveluvetoisemmaksi, mikä heijastuu muun muassa työvoiman kohdentumiseen taloudessa sekä supistaa pääoman osuutta bruttokansantuotteen

muodostuksessa. Lisäksi havaitaan, että tuonnin rooli Suomen kansantaloudessa pienenee muun muassa materiaalitehokkuuden paranemisen ja kotimaisen energian osuuden kasvun myötä.

Kaiken kaikkiaan kiertotaloussiirtymällä voidaan lisätä materiaalitehokkuutta, vahvistaa taloutta ja hillitä ympäristövaikutuksia. Selvitys tuo ensi kertaa näkyviin Suomen luonnonvarojen käytön kasvun taittamiseksi tarvittavien kiertotaloustoimenpiteiden suuruusluokan. Tuloksissa konkretisoituu myös puhtaan energiasiirtymän välttämättömyys kiertotaloussiirtymässä, ja toisaalta kiertotalouden tärkeä lisäarvo vähähiilisyyden tavoittelussa. Skenaarioissa kuvatun kiertotalouden saavuttaminen edellyttää kuitenkin systeemistä muutosta, jossa toimenpiteitä tapahtuu useilla eri toimialoilla ja kulutuksessa. Täten kiertotaloussiirtymä tarvitsee toteutukseen lisää kunnianhimoa, vapaaehtoista toimintaa sekä näitä tukevaa sääntelyä ja ohjausta. Lisäksi kiertotaloustoimenpiteitä täytyy ottaa käyttöön kaikilla talouden sektoreilla skenaariotyön oletuksia laajemmin.

Vaikka tämä tutkimus tuottaa paljon uutta ymmärrystä kiertotaloussiirtymän vaikutuksista Suomessa, jatkotyölle on selkeä tarve. Jotta Suomen luonnonvarojen käyttöä ymmärretään monipuolisesti myös jatkossa, täytyy seurata materiaalivirtoja ja kehittää aineistopohjaa sekä laskentamenetelmiä niin kansantalouden kuin maakuntienkin tasolla. Luonnonvarojen ottoon ja käyttöön sekä kiertotalouden mahdollisuuksien numeeriseen arviointiin liittyy huomattavia tietoaukkoja, joiden paikkaaminen edellyttää pitkäaikaista ja määrätietoista tiedontuotantoa toiminnanharjoittajatasolta alkaen. Vihreän siirtymän edellyttämien investointien materiaali- ja ympäristövaikutuksista tarvitaan lisää tietoa, jotta niiden merkitys skenaarioissa pystyttäisiin arvioimaan luotettavasti. Tarvitaan myös ENVIMAT-mallin säännöllistä päivitystä tuoreemmille tilastovuosille. Lisäksi on tärkeää toteuttaa määrällisiä skenaariotarkasteluja lähivuosina uudestaan. Uusissa tarkasteluissa on keskeistä, että lähtöaineistoja ja oletuksia päivitetään ja mahdollisuuksien mukaan hyödynnetään myös yleisen tasapainon (YTP, engl. computable general equilibrium, CGE) mallinnusta, joka huomioi talouden toimijoiden optimointikäyttäytymisen ja hintojen vaikutuksen kulutus- ja tuotantopäätöksiin. Eri lähestymistavoilla on omat vahvuutensa ja ne voivat tuoda tarkasteluun erilaista näkökulmaa. Yleisen tasapainon mallinnus mahdollistaa erilaisten taloudellisten ohjauskeinojen, kuten verojen tai investointitukien, vaikutusten arvioimisen kiertotaloussiirtymän vauhdittamisessa. Jatkotutkimuksissa voidaan hyödyntää muitakin integroitua mallitarkasteluja, kuten energiajärjestelmämallinnusta. Uusissa skenaariotarkasteluissa olisi erilaisilla lähestymistavoilla mahdollista tarkentaa, millaista kunnianhimon tasoa kiertotaloustoimenpiteiden käyttöönotossa vaadittaisiin, jotta Suomessa varmistettaisiin hiilineutraalisuustavoite vähemmällä luonnonvarojen käytöllä ja miten tämä heijastuisi talouteen ja talouden toimijoihin. Lisäksi jatkotutkimuksissa voidaan syventyä tarkemmin tiettyihin sektoreihin, laajentaen mallinnettavien toimenpiteiden joukkoa ja tarkentaen laskennan lähtötietoja.

Lähteet

- Aalto-yliopisto (2019). Hidasta kiertoa. Uutinen. Julkaistu 8.4.2019. <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/hidasta-kiertoa> Vierailtu 9.2.2024.
- Andersson, A., Jääskeläinen, S., Saarinen, N., Mänttari, J., Hokkanen, E. (2020). Fossiilittoman liikenteen tiekartta -työryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 2020:18. 29.10.2020 päivitetty versio: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-602-3>.
- AFRY (2020a). Finnish Energy – Low carbon roadmap. https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Taustaraportti_-_Finnish_Energy_Low_carbon_roadmap.pdf
- AFRY (2020b). Energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämpöpotentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä. Raportti työ- ja elin-keinoministeriölle 9/2020. https://tem.fi/documents/1410877/2897650/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf?t=1601627038073
- Bhutada, K. (2022). The Key Minerals in an EV Battery. VC Elements. <https://elements.visualcapitalist.com/the-key-minerals-in-an-ev-battery/> Vierailtu 19.2.2024.
- Blastr Green Steel Oy (2023). Vihreä terästehdas, Inkoo. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. <http://www.ymparisto.fi/BlastrvihreaterasYVA>
- Christis, M., Vercalsteren, A., Nuss, P., Marra Campanele, R., Steger, S. (2023). Analysis of the circular material use rate and the doubling target. ETC CE Report 2023/6. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2023-6-analysis-of-the-circular-material-use-rate-and-the-doubling-target>
- Coscieme, L., Akenji, L., Latva-Hakuni, E., Vladimirova, K., Henninger, C., Joyner-Martinez, C., Nielsen, K., Iran, S., & D'Itria, E. (2022). Unfit, Unfair, Unfashionable: Resizing Fashion for a Fair Consumption Space. Hot or Cool Institute. https://hotorcool.org/wp-content/uploads/2022/12/Hot_or_Cool_1_5_fashion_report_.pdf
- ETC/WMGE, The European Topic Centre on Waste and Materials in Green Economy, (2021). Background paper: Circular Material Use rate. Authors: Vercalsteren, A., Christis M., Geerken T. (VITO), Steger, S. (WI), Van Pelt, A., Raes W., (OVAM)
- Eisenmenger N., Wiedenhofer D., Schaffartzik A., Giljum G., Bruckner M., Schandl H., Wiedmann T., Lenzen M., Tukker A., Koning A. (2016). Consumption-Based Material Flow Indicators — Comparing Six Ways of Calculating the Austrian Raw Material Consumption Providing Six Results. Ecological Economics, Volume 128, 177-186. ISSN 0921-8009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.010>. eo

- Ellen MacArthur Foundation (2019). Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. Saatavilla: www.ellenmacarthurfoundation.org/publications
- EU 691/2011. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 691/2011 Euroopan ympäristötilinpidosta. Annettu 6.7.2011. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32011R0691>
- EU (2023). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/2413, annettu 18 päivänä lokakuuta 2023, direktiivin (EU) 2018/2001, asetuksen (EU) 2018/1999 ja direktiivin 98/70/EY muuttamisesta uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisen osalta sekä neuvoston direktiivin (EU) 2015/652 kumoamisesta. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=OJ:L_202302413
- Euroopan komissio (2020). Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Uusi kierto-talouden toimintasuunnitelma. Puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta. COM(2020) 98 final. Bryssel 11.3.2020
- Euroopan unionin neuvosto (2023). Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. Päivitetty 20.12.2023. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/> Vierailtu 19.2.2024.
- Euroopan komissio (2011). Roadmap to a Resource Efficient Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions No. COM(2011) 571 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0571>
- Euroopan komissio (2022). Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2023. https://www.eionet.europa.eu/reportnet/docs/govreg/projections/govregart18_ec_parameters_projections_2021.zip/view
- Euroopan komissio (2024a) Critical Raw Materials Act. Päivittyvä internet-sivusto. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en Vierailtu 7.2.2024.
- Euroopan komissio (2024b). Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Securing our future Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society. COM/2024/63 final
- Eurostat. (2018a). Economy-Wide Material Flow Accounts Handbook: 2018 Edition. European Commission. Statistical Office of the European Union. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2785/158567>
- Eurostat (2018b) Circular material use rate – calculation method – 2018 edition. European Commission. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2785/132630>

- Eurostat (2023). Resource productivity statistics. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Resource_productivity_statistics#Resource_productivity_of_the_EU_and_across_Member_States_over_time
- Eurostat (2024a). Documentation on the EU RME model. February 2024. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Documentation+of+the+EU+RME+model/>
- Eurostat (2024b). Handbook for estimating raw material equivalents of imports and exports and RME based indicators on the country level – based on Eurostat's EU RME model. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Handbook-country-RME-tool>
- Federal Environment Agency (2016). The Use of Natural Resources – Report for Germany 2016. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/the-use-of-natural-resources>
- Fingrid (2023). Fingridin sähköjärjestelmävisio 2023. https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/sahkomarkkinat/2023/fingrid_sahkojarjestelma-visio_2023.pdf
- Forecon Oy (2020). Betonirakenteiden määrä – Loppuraportti. Esitysaineisto 2.9.2020.
- Forslund, T., Gorst, A., Briggs, C., Azevedo, D., & Smale, R. (2022). Tackling root causes, Halting biodiversity loss through the circular economy. Sitra Studies 205. <https://www.sitra.fi/en/publications/tackling-root-causes/>
- 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>
- German Environment Agency (2022). The Use of Natural Resources – Resources Report for Germany 2022. Special: Raw Material Use in the Future. <http://www.umweltbundesamt.de/resourcesreport2022>
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Mark Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. & van Zelm, R. (2013). ReCiPe 2008.
- Haila, K., Salminen, V., Kiiskinen, J., Roiha, U., Leppänen, R., Kiemunki, J. (2023). Kiertotalouden strategisen ohjelman arviointi. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:32. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-558-0>
- Hildén M., Berg, A., Salo, H., Alhola, K., Horn, S., Jokinen, A., Jokinen, P., Junnilla, S., Karppinen, T., Kivikytö-Reponen, P., Korhonen-Kurki, K., Lammi, M., Lehtimäki, G., Leino, H., Lintunen, J., Myllymaa, T., Ottelin, J., Ritschkoff, A.-C., Ruokamo, E., Salmenperä, H., Sankelo, P., Turunen, T. (2021) Kiertotalouden strategisen ohjelman arvio. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2021. <http://hdl.handle.net/10138/326688>

- 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. 76 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-919-4>
- Jyske, T., Rasa, K., Korkalo, P. ja Kohl, J. (2023). Kaskadivisio: Alueellisesti mukautuva biokiertoisuus – kaskadiprosessoinnilla biomassasta lisäarvoa, hyvinvointia ja resurssiviisautta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 28 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-608-5>
- Kaariaho, T. & Pirtonen, H. (2022). Kiertotalous edistyy Suomessa hitaasti – merkittävimmät askeleet kohti asetettuja tavoitteita ovat vielä ottamatta. Tieto & Trendit. Julkaistu 20.12.2022 <https://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2022/kiertotalous-edistyy-suomessa-hitaasti-merkittavimmat-askeleet-kohti-asetettuja-tavoitteita-ovat-viela-ottamatta/?listing=simple>
- Karhinen, S., Savolainen, H., Heikkinen, M., Ulvi, T. (2023). Alueellisten talous- ja ympäristövaikutusten arviointi maakuntien ENVIMAT-malleilla: Esimerkkejä Pohjois-Pohjanmaalta ja Kainuusta. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/563736>
- Koljonen, T., Honkatukia, J., Maanavilja, L., Ruuskanen, O.-P., Similä, L., Soimakallio, S. (2021). Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HISI). Synteesiraportti – Johtopäätökset ja suositukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:6. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-257-2>
- Kujanpää, L., Koponen, K., Linjala, O., Mäkikouri, S., Arasto, A. (2023). Teknologisten hiilinielujen mahdollisuudet ja niiden edistäminen Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 5/2023. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2023/12/ilmastopaneelin-raportti-5-2023-teknologisten-hiilinielujen-mahdollisuudet-ja-niiden-edistaminen-suomessa.pdf>
- Kärkkäinen, L. & Koljonen, S. (toim.). (2023). Arvio EU:n biodiversiteettistrategian 2030 vaikutuksista Suomessa (2. painos). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 359 s. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/553259>
- Kässi, P., Lehtonen, H., Rintamäki, H., Oostra, H., Sindhöj, E. (2013). Economics of manure logistics, separation and land application. Knowledge report, Baltic Manure WP 3 Innovative technologies for manure handling: 33 p. http://www.balticmanure.eu/download/Reports/batman_economics_291013_pellervo_web.pdf
- Lehtonen, H. (2022). Ruoantuotannon hiili-euro-ohjelma (HERO). Luonnonvarakeskuksen tekemä työ Maa- ja metsätalousministeriölle. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 2022. 67 s. <https://mmm.fi/-/hiili-euro-ohjelma-linjaa-toimet-maatalouden-paastovahennystavoitteen-saavuttamiseksi>

- Lehtonen, H. & Niskanen, O. (2016). Promoting clover-grass: Implications for agricultural land use in Finland. *Land Use Policy* 59: 310-319. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.005>
- Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Räty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinnie, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. (2021). Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 65/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 121 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-275-9>
- Lemola, R., Uusitalo, R., Luostarinen, S., Tampio, E., Laakso, J., Lehtonen, E., Skyttä, A. & Turtola, E. (2023). Fosforin kierrätyksen tarve ja potentiaali kasvintuotannossa: Synteesiraportti. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 10/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 56 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-612-2>
- Lång, K., Aro, L., Assmuth, A., Haltia, E., Hellsten, S., Larmola, T., Lempinen, H., Lindfors, L., Lohila, A., Miettinen, A., Minkkinen, K., Nieminen, M., Ollikainen, M., Ojanen, P., Sarkkola, S., Sorvali, J., Seppälä, J., Tolvanen, A., Vainio, A., Wall, A. & Vesala T. (2022). Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa. *Suomen ilmastopaneelin raportti* 2/2022. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/04/ilmastopaneelin-raportti-2-2022-turvemaiden-kayton-vaihtoehdot-hiilineutraalissa-suomessa.pdf>
- Maa- ja metsätalousministeriö. (2022). Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta. *Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja* 2022:15. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-388-6>
- Manni, K., Högel, H., Saastamoinen, M., Frondelius, L. & Huuskonen, A. (2023). Kuivikeselvitys: Kuiviketilan tilanteen nykytilan tarkastelu ja lähitulevaisuuden kehitysnäkymien arviointi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 85/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 97 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-778-5>
- Material Economics. (2018). The circular economy – A powerful force for climate mitigation (p. 176). *Material Economics Sverige AB*. <https://materialeconomics.com/publications/publication/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation>
- Material Economics. (2019). Industrial transformation 2050: pathways to net-zero emissions from EU heavy industry. *Material Economics Sverige AB*. <https://materialeconomics.com/publications/publication/industrial-transformation-2050>
- Metsäteollisuus ry (2020). Vihreä ja vireä talous. *Metsäteollisuuden ilmastotiekartta*. https://assets-global.website-fi-les.com/5f44f62ce4d302179b465b3a/5fae9c-3de86a240e06b76565_Metsa_Esite_Email.pdf

- Miettinen, A., Aakkula, J., Koikkalainen, K., Lehtonen, H., Luostarinen, S., Myllykangas, J.-P., Sairanen, A. & Silfver, T. (2022). Hiilineutraali Suomi 2035. Maatalouden lisätoimenpiteiden ja ruokavaliomuutoksen päästövähennysvaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 69 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-500-2>
- Mäenpää, I., Heikkinen, M., Piñero, P., Mattila, T., Koskela, S. & Kivinen, M. (2017a). MFAfin – Finnish material flow accounts. Main results. Oulun yliopisto, Suomen ympäristökeskus & Geologian tutkimuskeskus, Oulu.
- Mäenpää, I., Heikkinen, M., Piñero, P., Mattila, T., Koskela, S. & Kivinen, M. (2017b). MFAfin – Finnish material flow accounts. Method description. Oulun yliopisto, Suomen ympäristökeskus & Geologian tutkimuskeskus.
- Nissinen, A., & Savolainen, H. (2019). Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia (Nro 15/2019; Suomen ympäristökeskuksen raportteja, s. 63). Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/300737>
- Pitkänen, K., Karppinen, T.K.M., Kylmänen, N., Kyynäräinen, A., Myllymaa, T. (2024). Kiertotalousbarometrit 2023: Kiertotalous suomalaisten arjessa ja yritysten toiminnassa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 38/2023. <http://hdl.handle.net/10138/569826>
- Posch, M., Seppälä, J., Hettelingh, J., Johansson, M., Margni, M. & Jolliet, O. (2008). The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. *Int J Life Cycle Assess* (2008) 13:477–486. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0025-9>
- Päivittäistavarakauppa ry (2022). Hävikinhallinta kotona hillitsee ruokamenojen kasvua merkittävästi. Blogi 22.11.2022. <https://www.pty.fi/blog/2022/11/22/havikinhallinta-kotona-hillitsee-ruokamenojen-kasvua-merkittavasti/>
- Rakennusteollisuus (2020). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 2. Vähähiilisyiden mahdollisuuksien tarkastelu. <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/rt-2-vahahiilisyiden-mahdollisuudet.pdf>
- RESCUE. (2019). Resource-Efficient Pathways towards Greenhouse-Gas Neutrality – RESCUE. Summary Report. Saatavilla: https://www.umweltbundesamt.de/en/rescue/summary_report
- Riipi, I., Hartikainen, H., Silvennoinen, K., Joensuu, K., Vahvaselkä, M., Kuisma, M. & Katajajuuri, J.-M. (2021). Elintarvikejätteen ja ruokahävikin seurantajärjestelmän rakentaminen ja ruokahävikkitiekartta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 49/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 72 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-241-4>
- Ruokamo, E., Savolainen, H., Seppälä, J., Sironen, S., Räisänen, M., Auvinen, A.-P., & Antikainen, R. (2021). Kiertotalous vähähiilisyiden edistäjänä ja luonnon monimuotoisuuden turvaajana. Ympäristöministeriön julkaisuja 6/2021. Ympäristöministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-205-1>

- Ruokamo, E., Savolainen, H., Seppälä, J., Sironen, S., Räisänen, M., & Auvinen, A.-P. (2023). Exploring the potential of circular economy to mitigate pressures on biodiversity. *Global Environmental Change*, 78, 102625. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102625>
- Räsänen, A., Kekkonen, H., Lehtonen, H., Miettinen, A., Wejberg, H., Kareksela, S., Tzemi, D., Aro, L., Kuningas, S., Louhi, P. & Ruuhijärvi, J. (2023). Euroopan unionin ennallistamisasetusehdotuksen luontotyyppi- ja turvemaatavoitteiden vaikutukset Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 1/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 76 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-586-6>
- Salo M., Heiskanen E., Heikkinen M., Heinonen T, Jylhä H., Kaljonen M., Kautto P., Lähteenmäki-Uutela, A., Matschoss, K., Meriläinen, T., Nissinen, A., Pyrhönen, T., Saarinen, M., Salminen, J., Salmivaara L., Savolainen, H., Seppälä, J., Springare, S., Turunen T., Vainio, A., Virkkunen, H. (2023). Ohjauskeinoja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjäljen pienentämiseen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:47. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-424-8>
- Schucht S., Real E., Létinois L., Colette A., Holland M., V. Spadaro J., Opie L., Brook R., Garland L., Gibbs M., Calero J., Zeiger B., Rouil L., Brignon J-M. & German R. (2021). Costs of air pollution from European industrial facilities 2008–2017. Eionet Report – ETC/ATNI 2020/4.
- Seppälä, J. (toim.), Grönroos, J., Heinonen, T., Häkkinen, T., Koljonen, T. Kurnitski, J., Latvala, T., Lehtilä, A., Liimatainen, H., Markkanen, J., Niemistö, J., Nissinen, A., Niva, M., Rehunen, A., Saarinen, M., Savolainen, H., Vainio, A., Venho, K. & Viri, R. (2022). Kuluttajien mahdollisuudet Suomen päästövähennysten vauhdittamiseksi – Taustaraportti ruokaan, asumiseen, liikkumiseen ja muuhun kulutukseen liittyvistä toimista. Suomen ilmastopaneelin raportti 6/2022. <http://hdl.handle.net/10138/359214>
- Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winqvist, E., Luostarinen, S. & Paavola, T. (2014). Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. Bionurmi-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 151: 97 p.
- Seppälä, J., Mäenpää, I., Koskela, S., Mattila, T., Nissinen, A., Katajajuuri, J.-M., Härmä, T., Korhonen, M.-R., Saarinen, M., & Virtanen, Y. (2009). Suomen kansantalouden materiaalivirtojen ympäristövaikutusten arviointi ENVIMAT-mallilla (Nro 20/2009; Suomen ympäristökeskuksen raportteja). <http://hdl.handle.net/10138/38010>
- Seppälä, J., Mäenpää, I., Koskela, S., Mattila, T., Nissinen, A., Katajajuuri, J.-M., Härmä, T., Korhonen, M.-R., Saarinen, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.021>

- 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 kanslia Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-260-9>
- Sironen, S., Mäenpää, I., Myllyviita, T., Leskinen, P., Seppälä, J. (2015). Pohjois-Karjalan materiaalivirrat ja resurssitehokkuus. Pohjois-Karjalan materiaalivirrat ja resurssitehokkuus -hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30/2015. <http://hdl.handle.net/10138/155661>
- Sitra (2016) Kiertotalouden tiekartta Suomelle 2016–2025. <https://www.sitra.fi/hankkeet/kierrolla-karkean-suomen-tiekartta-kiertotalouteen-2016-2025/>
- Stadler, K., Wood, R., Bulavskaya, T., Södersten, C.-J., Simas, M., Schmidt, S., Usubiaga, A., Acosta-Fernández, J., Kuenen, J., Bruckner, M., Giljum, S., Lutter, S., Merciai, S., Schmidt, J. H., Theurl, M. C., Plutzer, C., Kastner, T., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Tukker, A. (2018). EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables: EXIOBASE 3. *Journal of Industrial Ecology*, 22(3), 502–515. <https://doi.org/10.1111/jiec.12715>
- Suomen virallinen tilasto, SVT, (2023). Väestöennuste [verkkójulkaisu]. ISSN=1798-5137. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 16.2.2024]. Saantitapa: <https://stat.fi/tilasto/vaenn>
- Suomen virallinen tilasto, SVT. (2024a) Korjausrakentaminen [verkkójulkaisu]. ISSN=1799–2958. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 12.2.2024]. Saantitapa: <https://stat.fi/tilasto/kora>
- Suomen virallinen tilasto, SVT. (2024b). Rakennuskustannusindeksi [verkkójulkaisu]. ISSN=1795–4282. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 12.2.2024]. Saantitapa: <https://stat.fi/tilasto/rki>
- Tao, F., Palosuo, T., Lehtonen, A., Heikkinen, J. & Mäkipää, R. (2023). Soil organic carbon sequestration potential for croplands in Finland over 2021–2040 under the interactive impacts of climate change and agricultural management. *Agricultural Systems* 209: 103671. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103671>
- Teknologiateollisuus ry (2020) Teknologiateollisuuden vähähiilitiekartta 2035. Tulokset. https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden-va%CC%88ha%CC%88hiilitiekartta-tiivistelm%C3%A4_2020-06-08_FINAL_0.pdf
- Teknologiateollisuus ry (2021). Teknologiateollisuuden kiertotalousohjelma 2035. Tiivistelmä. https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden%20kiertotalousohjelma%202035_tiivistelm%C3%A4.pdf
- Teknologiateollisuus & Pöyry (2021). Teknologiateollisuuden vähähiilitiekartta raportti – vaihe 2. 1.6.2020. Saatavissa: teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden_tiekartta2_Skenaariot_ja_kadenjalkitarkastelu_Poyry_0.pdf

- Tilastokeskus (2023a). Materiaalitilinpito 2022, täydennysjulkistus. Tietokantajulkistus 29.11.2023. Materiaalitilinpito 2022, täydennysjulkistus. <https://www.stat.fi/julkaisu/cloo1mv1538zy0bulmi8tppv2> Viitattu 9.2.2024
- Tilastokeskus (2023b). Kiertotaloustoiminnan indikaattorit. <https://www.stat.fi/tup/kiertotalous/kiertotalousliiketoiminnan-indikaattorit.html> Vierailtu 19.2.2024
- UNEP, United Nations Environment Programme (2024). Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes. International Resource Panel. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>
- Vainio, E. (toim.). (2022). Maatalouden tyyppihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 68 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-458-6>
- Valtioneuvosto (2023). Vahva ja välittävä Suomi – Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:58. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-763-8>
- Valtiovarainministeriö (2022). Taloudellinen katsaus, kevät 2022. Valtiovarainministeriön julkaisuja 2022:31. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-367-223-9>
- Valtiovarainministeriö (2023). Taloudellinen katsaus, kevät 2023. Valtiovarainministeriön julkaisuja 2023:24. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-367-210-9>
- Veiga Simão, F., Chambart, H., Vandemeulebroeke, L., Cappuyns, V. (2021). Turning mine waste into a ceramic resource: Plombières tailing case. Journal of Sustainable Metallurgy. DOI: [10.1007/s40831-021-00442-3](https://doi.org/10.1007/s40831-021-00442-3)
- YM/2021/17. Valtioneuvoston periaatepäätös kiertotalouden strategisesta ohjelmasta. <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f8071a6e1>
- Ympäristöministeriö (2022). Suomen muovitiekartta. Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa. Muovitiekartta 2.0. <https://ym.fi/documents/1410903/42733297/V%C3%A4henn%C3%A4+ja+v%C3%A4lt%C3%A4,+kierr%C3%A4t%C3%A4+ja+korvaa.+Muovitiekartta+2.0.pdf/4336039b-f222-dc07-6ae5-f193ad418e60/V%C3%A4henn%C3%A4+ja+v%C3%A4lt%C3%A4,+kierr%C3%A4t%C3%A4+ja+korvaa.+Muovitiekartta+2.0.pdf?t=1681804745974>
- Ympäristöministeriö (2023) Kiertotalouden green deal- ja skenaariotyöhön ilmoittautuneet tahot. <https://ym.fi/documents/1410903/42733297/Kiertotalouden+green+deal+-+prosessin+osallistujat+22092022.pdf/db49011c-70ae-0344-df8a-a3665be9ed74/Kiertotalouden+green+deal+-+prosessin+osallistujat+22092022.pdf?t=1673243116381> Viitattu 9.1.2024.
- Ympäristöministeriö (2024). Kiertotalouden green deal. <https://ym.fi/kiertotalouden-green-deal> Viitattu 9.1.2024.

Liitteet

Liite 1. ENVIMAT-mallin toimialaluokituksia

Taulukko 1. ENVIMAT-mallin toimialaluokitus, 26 toimialaa.

ETOL26	Toimialanimike
1	Maatalous ja kalatalous
2	Metsätalous
3	Kaivostoiminta ja louhinta
4	Elintarviketeollisuus
5	Tekstiili- ja vaatetusteollisuus
6	Puuteollisuus
7	Massa- ja paperiteollisuus
8	Öljynjalostus
9	Kemianteollisuus
10	Rakennusaineteollisuus
11	Metallien jalostus
12	Konepaja- & metallituoteteollisuus
13	Elektroniikka- ja sähköteollisuus
14	Muu valmistus
15	Energiahuolto
16	Vesi- ja jätehuolto
17	Rakentaminen
18	Kauppa
19	Kuljetus ja varastointi
20	Majoitus- ja ravitsemistoiminta
21	Informaatio ja viestintä
22	Asuntojen vuokraus ja hallinta
23	Liike-elämän palvelut

ETOL26 Toimialanimike

24	Julkinen hallinto
25	Koulutus, terveys- ja sos.palvelut
26	Muut palvelut

Taulukko 2. ENVIMAT-mallin toimialaluokitus, 148 toimialaa.**ETOL ETOL26 Toimialanimike**

011a	1	Kasvinviljely
011b	1	Puutarhatuotanto
014a	1	Varsinainen kotieläintalous
014b	1	Turkistarhaus, poronhoito ym.
016	1	Maataloutta palveleva toiminta
017	1	Metsästys
021	2	Metsänhoito
022	2	Puunkorjuu
023	2	Luonnon tuotteiden keruu
024	2	Metsätaloutta palveleva toiminta
025	2	Metsien nettokasvu
03	1	Kalatalous
05	3	Energiamineraalien kaivu
07	3	Metallimalmien louhinta
08a	3	Muu mineraalien kaivu
08b	3	Soran, hiekan ja saven otto
09	3	Kaivostoimintaa ja louhintaa palveleva toiminta
101	4	Teurastus, lihan säilyvyyskäsittely ja lihatuotteiden valmistus
102	4	Kalan, äyriäisten ja nilviäisten jalostus ja säilöntä
103	4	Hedelmien ja kasvien jalostus ja säilöntä
104	4	Kasvi- ja eläinöljyjen ja -rasvojen valmistus

ETOL	ETOL26	Toimialanimike
105	4	Maitotaloustuotteiden valmistus
106	4	Mylly- ja tärkkelystuotteiden valmistus
107	4	Leipomotuotteiden, makaronien yms. valmistus
108	4	Muiden elintarvikkeiden valmistus
109	4	Eläinten ruokien valmistus
11	4	Juomien valmistus, tupakkatuotteiden valmistus
13	5	Tekstiilien valmistus
14	5	Vaatteiden valmistus
15	5	Nahan ja nahkatuotteiden valmistus
161	6	Puun sahaus, höyläys ja kyllästys
162	6	Puutuotteiden valmistus
171	7	Massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistus
172	7	Paperi-, kartonki- ja pahvituotteiden valmistus
18	7	Painaminen ja tallenteiden jäljentäminen
192	8	Jalostettujen öljytuotteiden valmistus
201	9	Peruskemikaalien valmistus
2015	9	Lannoitteiden ja tyyppiyhdisteiden valmistus
203	9	Maalien, lakan, painovärien yms. valmistus
204	9	Saippuan, pesu-, puhdistus- ja kiillotusaineiden; hajuvesien ja hygieniatuotteiden valmistus
205	9	Muiden kemiallisten tuotteiden valmistus
210	9	Lääkeaineiden ja lääkkeiden valmistus
221	9	Kumituotteiden valmistus
222	9	Muovituotteiden valmistus
231	10	Lasin ja lasituotteiden valmistus
233	10	Keraamisten rakennusaineiden valmistus
234	10	Muiden posliini- ja keramiikkatuotteiden valmistus
235	10	Sementin, kalkin ja kipsin valmistus
236	10	Betoni-, kipsi- ja sementtituotteiden valmistus
237	10	Kiven leikkaaminen, muotoilu ja viimeistely

ETOL	ETOL26	Toimialanimike
239	10	Hiontatuotteiden ja muualla luokittelemattomien ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus
241	11	Raudan, teräksen ja rautaseosten valmistus
242	11	Putkien valmistus, muu teräksen jalostus
244	11	Jalometallien ja muiden värimetallien valmistus
245	11	Metallien valu
251	12	Metallirakenteiden valmistus
252	12	Metallisäiliöiden ja -altaiden yms. valmistus
253	12	Höyrykattiloiden valmistus (pl. keskuslämmityslaitteet)
254	12	Aseiden ja ammusten valmistus
256	12	Metallien takominen, käsittely, päällystäminen ja työstö
257	12	Ruokailu- ja leikkuuvälineiden yms. sekä työkalujen ja rautatavaran valmistus
259	12	Muu metallituotteiden valmistus
261	13	Elektronisten komponenttien ja piirilevyjen valmistus
263	13	Viestintälaitteiden ja viihde-elektronikan valmistus
265	13	Mittaus-, testaus- ja navigointivälineiden ja -laitteiden valmistus; kellot
266	13	Säteilylaitteiden sekä elektronisten lääkintä- ja terapialaitteiden valmistus
271	13	Sähkämöottorien, generaattorien, muuntajien sekä sähköjakelu- ja valvontalaitteiden valmistus
273	13	Sähköjohtojen ja kytkentälaitteiden valmistus
274	13	Sähkölamppujen ja valaisimien valmistus
275	13	Kodinkoneiden valmistus
279	13	Muiden sähkölaitteiden valmistus
281	12	Yleiskäyttöön tarkoitettujen voimakoneiden valmistus
282	12	Muiden yleiskäyttöön tarkoitettujen koneiden valmistus
283	12	Maa- ja metsätalouskoneiden valmistus
284	12	Metallin työstökoneiden ja konetyökalujen valmistus
289	12	Muiden erikoiskoneiden valmistus

ETOL	ETOL26	Toimialanimike
291	12	Moottoriajoneuvojen valmistus
292	12	Moottoriajoneuvojen korien valmistus; perävaunujen ja puoliperävaunujen valmistus
293	12	Osien ja tarvikkeiden valmistus moottoriajoneuvoihin
301	12	Laivojen ja veneiden rakentaminen
302	12	Muiden kulkuneuvojen valmistus
310	14	Huonekalujen valmistus
321	14	Muu valmistus
331	12	Metallituotteiden, teollisuuden koneiden ja laitteiden korjaus ja huolto
332	12	Teollisuuden koneiden ja laitteiden ym. asennus
35a	15	Sähkön tuotanto
35b	15	Kaukolämmön ja kylmän tuotanto
35c	15	Teollisuushöyryn tuotanto
35d	15	Kaasun tuotanto ja jakelu putkiverkossa
360	16	Veden otto, puhdistus ja jakelu
370	16	Viemäri- ja jätevesihuolto
381	16	Jätteen keruu
382	16	Jätteen käsittely ja loppusijoitus
383	16	Materiaalien kierrätys
390	16	Maaperän ja vesistöjen kunnostus ja muut ympäristöhuoltopalvelut
41	17	Talonrakentaminen ym.
42	17	Maa- ja vesirakentaminen ym.
45	18	Moottoriajoneuvojen kauppa, huolto ja korjaus
46a	18	Elintarvikkeiden kauppa
46b	18	Jätteiden tukkukauppa
46c	18	Muu kauppa
491	19	Rautatieliikenne
4931	19	Linja-auto- ja paikallisliikenne
4932	19	Taksiliikenne
494	19	Tieliikenteen tavarankuljetus, putkijohtokuljetus

ETOL	ETOL26	Toimialanimike
50	19	Vesiliikenne
51	19	Ilmaliikenne
52	19	Varastointi ja liikennettä palveleva toiminta
53	19	Posti- ja kuriiritoiminta
55	20	Majoitus
56	20	Ravitsemistoiminta
58	21	Kustannustoiminta
59	21	Audiovisuaalinen toiminta
61	21	Televiestintä
62	21	Tietojenkäsittelypalvelu
64	23	Rahoitustoiminta
65	23	Vakuutustoiminta ym.
66	23	Rahoitusta ja vakuuttamista palveleva toiminta
682	22	Asuntojen vuokraus ja hallinta
689	23	Muu kiinteistötoiminta
69	23	Lakiasiain- ja laskentatoimen palvelut
70	23	Liikkeenjohdon konsultointi
71	23	Tekniset palvelut
72	23	Tieteellinen tutkimus ja kehittäminen
73	23	Mainostoiminta ja markkinatutkimus
74	23	Muut erikoistuneet palvelut liike-elämälle
75	23	Eläinlääkintäpalvelut
77	23	Vuokraus- ja leasingtoiminta
78	23	Työllistämistoiminta
79	23	Matkatoimistot ym.
80	23	Turvallisuus-, vartiointi- ja etsiväpalvelut
81	23	Kiinteistön- ja maisemanhoito
82	23	Hallinto- ja tukipalvelut liike-elämälle
841	24	Julkinen hallinto ym.
843	24	Pakollinen sosiaalivakuutus

ETOL	ETOL26	Toimialanimike
844	24	Maanpuolustuskalusto ja varusmiehet
845	24	Radanpito
846	24	Tienpito
85	25	Koulutus
86	25	Terveyspalvelut
87	25	Sosiaalipalvelut
90	26	Kulttuuri- ja viihdetoiminta ym.
92	26	Rahapeli- ja vedonlyöntipalvelut
93	26	Urheilutoiminta sekä huvi- ja virkistyspalvelut
94	26	Järjestöjen toiminta
95	26	Kotitaloustavaroiden korjaus
96	26	Muut henkilökohtaiset palvelut
97	26	Kotitalouspalvelut

Liite 2. Kiertotalouden green deal- ja skenaariotyöhön ilmoittautuneet tahot. Lähde: Ympäristöministeriö (Valtioneuvosto), 2023.



4.1.2023

Kiertotalouden green deal- ja skenaariotyöhön ilmoittautuneet tahot

Toimialat

- Elinkeinoelämän keskusliitto ry (EK)
- Elintarviketeollisuusliitto ry
- Energiateollisuus ry
- Fashion Finland ry
- Kaivosteollisuus ry
- Kaupan liitto ry
- Kemianteollisuus ry
- Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto MTK ry
- Metsäteollisuus ry
- Ornamo ry
- Palvelualojen työnantajat Palta ry
- Puutuoteteollisuus ry
- Päivittäistavarakauppa PTY ry
- Suomen Kiertovoima ry KIVO
- Suomen Tekstiili & Muoti ry
- Teknologiateollisuus ry
- Ympäristöteollisuus ja -palvelut YTP ry
- Älykkään liikenteen verkosto – ITS Finland ry

Yritykset

- Ekokumppanit Oy
- Fortum Waste Solutions Oy
- Hyötykeräys Oy & Hyötypaalaus Oy
- Lassila & Tikanoja Oyj
- Lounais-Suomen Jätehuolto Oy
- Metsä Group / Metsäliitto Osuuskunta
- Owaterc Group Oy
- Pirkanmaan Jätehuolto Oy
- Pääkaupunkiseudun kierrätyskeskus Oy
- Stora Enso Oyj
- Tella Oy
- UPM-Kymmene Oyj
- Verte Oy

Kiinteistö- ja rakennusalan järjestöt, yritykset ja virastot

- A-Insinöörit Oy / AINS Group
- A-Kruunu Oy
- Arkkitehtitoimistojen Liitto ATL ry
- GRK Infra Oyj
- Kiinteistö Oy Orimattilan Vuokratalot
- Kiinteistönomistajat ja rakennuttajat Rakli ry
- KOVA ry
- Rakennusteollisuus RT ry
- Rudus Oy
- Saint-Gobain Finland Oy
- Senaatti-konserni
- Skanska Oy
- Suunnittelutoimisto Fyra Oy
- Teräsrakenneyhdistys ry
- Viherympäristöliitto ry
- VTS-Kodit / Tampereen vuokratalosäätiö sr
- Väylävirasto

Maakunnat

- Etelä-Karjalan liitto
- Etelä-Pohjanmaan liitto
- Keski-Suomen liitto
- Kymenlaakson liitto
- Lapin liitto
- Pirkanmaan liitto
- Pohjanmaan liitto
- Pohjois-Savon liitto
- Päijät-Hämeen liitto
- Satakuntaliitto
- Uudenmaan liitto
- Varsinais-Suomen liitto

Kunnat ja kuntajärjestöt

- Espoon kaupunki
- Helsingin kaupunki
- Hämeenlinnan kaupunki
- Joensuun kaupunki
- Jyväskylän kaupunki
- Kaustisen seutukunta
- Kotkan kaupunki
- Kouvolan kaupunki ja Kouvola Innovation Oy
- Kuopion kaupunki
- Lahden kaupunki
- Lappeenrannan kaupunki

- Mikkelin kaupunki
- Oulun kaupunki
- Porin kaupunki
- Porvoon kaupunki
- Rovaniemen kaupunki
- Salon kaupunki ja Elinkeinoyhtiö Yrityssalo
- Suomen Kuntaliitto ry
- Tampereen kaupunkiseutu
- Tampereen kaupunki ja Business Tampere Oy
- Turun kaupunki
- Utajärven kunta
- Vaasan kaupunki
- Vantaan kaupunki

Yliopistot

- Oulun yliopisto
- Tampereen yliopisto

Liite 3. Lisätietoa resurssiviisas rakennettu ympäristö -muutosalueesta

Terttu Vainio ja Tiina Vainio-Kaila, VTT Oy; Hannu Savolainen, Syke

Talonrakentaminen

Talonrakentamisen investointeihin sitoutuu vuosittain merkittävä määrä luonnonvaroja. ENVIMAT-mallin mukaan talonrakentamiseen käytettiin välituotteita perusvuonna 2015 yhteensä 14 200 miljoonaa kiloa (taulukko 1). Rakentamisen sektorikohtaisen liikevaihtotilaston ja rakennuskustannusindeksin perusteella arvioituna välituotteista 75 % (845 tonnia/milj.€) käytettiin uudisrakennuksiin ja 25 % (390 tonnia/milj.€) olemassa olevien rakennusten korjauksiin.

Taulukko 1. Talonrakentamisen välituotepanokset vuonna 2015.

	TOL	milj.kg	osuus
Betoni-, kipsi- ja sementtituotteet	236	5600	39 %
Sora, hiekka, murske	08121	2700	19 %
Maa- ja vesirakentaminen	420	1770	12 %
Puutavara, sahattu ja höylätty	161a	1180	8 %
Puutuotteet	162a	960	7 %
Muut ei-metalliset mineraalituotteet*	239	280	2 %
Metallirakenteet	251	280	2 %
Savesta valmistetut rakennusmateriaalit**	233	210	1 %
Maalit ja lakat	203	170	1 %
Muovituotteet***	222	120	1 %
Sementti, kalkki ja kipsi	235	80	1 %
Edelliset yhteensä		13350	94 %
Muut 45 toimialaa yhteensä		850	6 %
Yhteensä		14 200	100 %

*kivivilla, kevytsora, kevytsoraharkot, kattohuopa

**tiilet, kattotiilet

***eristeet, muoviputket, lattia- ja seinäpäällysteet

Rakennustuoteteollisuuden nykyistä kierrätysmateriaalien käyttöä on arvioitu vähähiilisyystiekartassa seuraavasti:

- Sementin valmistuksen mineraaliset jätteet ja sivutuotteet hyödynnetään omassa tuotannossa. Raaka-aineena olisi mahdollista käyttää betonin kierrätyksessä (murskauksessa) saatavia raekooltaan hienoimpia osia.
- Betoniteollisuus käyttää lentotuhkaa ja masuunikuonaa yli 300 000 tonnia vuosittain. Purkubetonilla korvataan kiviaineksiä infrarakentamisessa. Betonin valmistuksessa voidaan käyttää kierrätettyä betonia.
- Teräksen kierrätysaste on Suomessa 100 %, joten osa teräsrakenteista on tehty kierrätetystä teräksestä. Puuta ei kierrätetä uusiksi tuotteiksi vaan se poltetaan energiaksi.
- Tiilien valmistuksessa voidaan käyttää tiilimurskaa ja savipohjaisten tuotteiden jätevirtoja.
- Kipsilevyjen raaka-aineesta 5–10 % on kipsilevyjätettä. Jätekipsin osuutta on mahdollista kasvattaa.
- Lasivillan raaka-aineesta 70 % on kierrätyslasia. Selluvilla valmistetaan kierrätysmateriaaleista.
- Muovieristeiden valmistuksessa on mahdollista korvata 5–70 % kierrätetyllä raaka-aineella.
- Maa- ja kiviaineksiä voidaan käyttää uudelleen hankkeen sisäisesti tai lähellä sijaitsevilla hankkeissa.

Monien rakennustuotteiden valmistuksessa käytetään jo nyt paljon kierrätettyjä raaka-aineita ja näiden ansiosta kierrätettyjen raaka-aineiden osuus on noin 5 % talonrakentamisen materiaalikäytöstä (taulukko 2).

Taulukko 2. Arvio kiviainesten uudelleen käytön ja välituotteiden valmistuksen kierrätysraaka-aineiden käytön potentiaalista talonrakentamisessa.

Skenaariot 2035	Nykytila	Perus	Kiertotalous	Hiili-neutraalisuus
Maa- ja vesirakentaminen; sora, hiekka, murske	5 %	10 %	13 %	22 %
Betonituotteet, ei-metalliset mineraalituotteet	4 %	9 %	18 %	18 %
Metallituotteet	50 %	50 %	50 %	55 %
Puutuotteet	2 %	6 %	6 %	12 %
Muovi ja muut tuotteet	1 %	2 %	3 %	5 %
Yhteensä	5 %	10 %	15 %	20 %

Talonrakentamisen toimiala on infrarakentamisen jälkeen toiseksi eniten luonnonvaroja kuluttava toimiala. Historiassa rakennuskantaan sitoutuneet luonnonvarat muodostavat varannon, jota hyödyntämällä on mahdollista vähentää neitseellisten luonnonvarojen ottoa.

Uudisrakentamisen lisäksi talonrakennusinvestointeja tehdään olemassa olevaan rakennuskantaan. Talonrakennusalan yritysten liikevaihdosta 40–44 % on viime vuosina ollut korjausrakentamista. Suhteessa investoinnin arvoon, olemassa olevien rakennusten korjauksiin käytetään välituotteita alle puolet uudisrakentamisen välituotekäytön määrästä. Mikäli olemassa oleva rakennuskanta pidettäisiin kunnossa ja sitä muokattaisiin tilatarpeita vastaavaksi, olisi mahdollista vähentää uudisrakentamisen investointeja ja samalla luonnonvarojen käyttöä. Investoinnit olemassa olevaan rakennuskantaan jatkavat rakennusten pitoaikoja.

Monien rakennustuotteiden valmistuksessa käytetään jo nyt kierrätysraaka-aineita, joita saadaan pääasiassa toisilta toimialoilta. Toistaiseksi kierrätys talonrakennus-toimialan sisällä on ollut vähäistä, esimerkiksi purkumateriaaleja päätyy infrarakentaisiin. Talonrakentamisessa ja sen käyttämien välituotteiden valmistuksessa on kuitenkin potentiaalia kierrätyksen kasvattamisessa erityisesti kiviainesten osalta sekä betoni-, kipsi- ja sementtituotteiden, metallirakenteiden, puutuotteiden, muovituotteiden ja lasituotteiden valmistuksessa.

Uudisrakentamisen ja korjausrakentamisen suhteen, rakennusten pitoaikojen sekä kierrätysmateriaalien hyödyntämisen oletukset ovat mallinnettu taulukoiden 3 ja 4 mukaisesti.

Taulukko 3. Skenaariotyössä talonrakentamiseen liittyvät mallinnetut toimenpidealueet.

Toimenpidealue	Mallinnettu kyllä/ei	Miten mallinnettu
Edistetään rakennusten ja rakennusosien pitkäikäisyyttä uudisrakentamisessa.	Kyllä	Rakennusten pitoaikojen pidentäminen
Pidetään rakennukset käytössä nykyistä pidempään. Tehostetaan olemassa olevan rakennuskannan käyttöä.	Kyllä	Talonrakennusinvestointien kohdistaminen olemassa olevaan rakennuskantaan ja näihin liittyvät välituotekäytön muutokset.
Lisätään rakennusosien uudelleenkäyttöä sekä kierrätysmateriaalien ja sivutuotteiden käyttöä uudis- ja korjausrakentamisessa.	Kyllä ja ei	Talonrakennushankkeissa käytettävien kierrätysmateriaalien osuutta lisätään eri skenaarioissa. Rakennusosien uudelleenkäyttöä ei mallinnettu, sillä vaikutus ajoittuu vuoden 2035 jälkeen tapahtuvaksi.
Lisääntyvä osa uusista rakennuksista on materiaalipankkeja.	Ei	Ei mallinnettu, sillä vaikutus ajoittuu vuoden 2035 jälkeen tapahtuvaksi.

Taulukko 4. Skenaariotyössä talonrakentamisen osalta eri toimialoille kohdistuvat muuttujat ja mallinnuksessa käytetyt arvot eri skenaarioissa.

Toimiala	Muuttuja	Perus 2035	Kiertotalous 2035	Hiili-neutraalisuus 2035
Talonrakentaminen	Asuinrakennusten pitoaika	50 vuotta	60 vuotta	70 vuotta
Talonrakentaminen	Muiden talorakennusten pitoaika	40 vuotta	45 vuotta	50 vuotta
Talonrakentaminen	Korjausrakentamisen osuus ja vastaavat välituotekäytön muutokset	45 %	55 %	65 %
Talonrakentaminen, rakennustuote-teollisuus, maa- ja vesirakentaminen	Rakennushankkeiden kierrätys/uusio-materiaalien osuus ja vastaavat muutokset välituotekäytössä	10 %	15 %	20 %

Maa- ja vesirakentaminen

Rakennusosien uudelleenkäyttö

Mallinnuksen lähtötietoja varten arvioitiin, kuinka paljon purettavista infrarakenteista olisi saatavissa vuonna 2035 rakennusosia, joita voitaisiin hyödyntää samassa tai toisessa käyttötarkoituksessa infrarakentamisessa. Tarkasteltavat tuoteryhmät olivat betoni-, kipsi- ja sementtituotteet, metallirakenteet, metallisäiliöt, -altaat ja -astiat sekä muut metallituotteet. Ensin arvioitiin euromääräisesti, kuinka paljon vuoden 2015 hintatasossa puretaan vuonna 2035 pääomaluokkaa ”Muut rakennelmat”. Koska kyseisen pääomaluokan tuoterakenne koostuu miltei 100 % maa- ja vesirakentamisesta, arvioitiin vuoden 2015 maa- ja vesirakentamisen panoskäytön avulla, kuinka paljon purettavat rakennelmat sisältäisivät keskimäärin erilaisia rakennusosia. Arvio tehtiin ensin euromääräisesti ja muutettiin massaksi vuoden 2015 kilohinnoin. Tämän jälkeen arvioitiin, paljonko uusien rakennusosien ostot pienenisivät maa- ja vesirakentamisen (MVR) toimialalla. Tarkastelussa oletettiin, että uudelleenkäytön prosentit kaikissa tuoteryhmissä olisivat samat. Uudelleenkäytettävät tuoteryhmät ja prosenttiosuudet arvioitiin yhdessä sidosryhmien kanssa.

Taulukko 5. Rakennusosien uudelleenkäytön avainluvut.

Muuttuja	Perus	Kiertotalous	Hiili-neutraalisuus
Purettujen rakennusosien uudelleenkäytön osuus	5 %	10 %	15 %
MVR:n ostojen muutos tarkasteltavissa tuoteryhmissä	-2 %	-3 %	-5 %

Neitseellisten maa- ja kiviainesten korvaaminen maa- ja vesirakentamisessa

Maa- ja vesirakentamisen toiminnanharjoittajat käyttävät suuria määriä maa- ja kiviaineksia. Kokonaisuus käytännössä kolmesta osatekijästä: maa-ainesten ottoluvalla tapahtuvasta otosta; soran, murskeen ja hiekan ostamisesta markkinoilta ja rakennustyömailta (ennen kaikkea väylähankkeet) leikatuista (maa- ja) kiviaineksista. ENVIMATscen-mallinnusta varten arvioitiin, mistä lähteistä ja missä määrin neitseellisten maa- ja kiviainesten ottoa voitaisiin korvata ylijäämämassoilla ja erilaisilla sivuvirroilla.

Sidosryhmien kanssa arvioitiin, että maa- ja kiviaineksia voitaisiin korvata eri skenaarioissa 5 % / 15 % / 20 %. Oletuksena oli, että korvaavat virrat olisivat ennen kaikkea purkubetonia, mutta myös erilaisia polton tuhkia ja kuonia. Maa- ja vesirakentamisen yritysten oletettiin korvaavan markkinoilta ostettuja massoja ja vähentävän omaa maa-ainesten ottoa. Taulukossa 6 on esitetty toimenpiteen keskeiset taustaluvut. Korvaavien purkubetonimäärien riittävyyttä (huomioiden myös rakennusaineteollisuudessa oletettu purkubetonin käyttö) arvioitiin talonrakennusten osalta VTT:n toimesta ja infrarakenteiden osalta perustuen Forecon Oy:n raporttiin betonirakenteiden määrästä (Forecon Oy, 2020). Purkubetonin kokonais-tarjonnaksi vuonna 2035 arvioitiin noin 9 Mt. Kyseisen määrän arvioitiin riittävän sekä MVR:n että rakennusaineteollisuuden tarpeisiin sillä oletuksella, että hiilineutraalisuusskenaariossa MVR:n toiminnanharjoittajat käyttäisivät purkubetonin lisäksi myös polton tuhkia ja kuonia sekä ylijäämämassoja korvaamaan neitseellisiä maa- ja kiviaineksia. Lisäksi oletettiin, MVR:n syvästabiloinnissa hyödynnettäisiin entistä enemmän lentotuhkaa korvaamaan sementtiä ja muita sidosaineita.

Taulukko 6. Maa- ja kiviainesten korvaamisen avainluvut.

	Perus	Kiertotalous	Hiili-neutraalisuus
Korvaavat massat, %	5 %	15 %	20 %
Korvaavat massat yhteensä, Mt	-2,3	-6,8	-9,0
Ostetut maa- ja kiviainekset, Mt	-1,3	-3,8	-5,1
Oma otto, Mt	-1,0	-2,9	-3,9
Sementin ym. korvaaminen lentotuhkalla, %	5 %	15 %	30 %

Lähteet

Forecon Oy (2020). Betonirakenteiden määrä – Loppuraportti. Esitysaineisto 2.9.2020.

Rakennusteollisuus (2020). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 2. Vähähiilisyiden mahdollisuuksien tarkastelu. <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/rt-2-vahahiilisyiden-mahdollisuudet.pdf>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2024a). Korjausrakentaminen [verkkajulkaisu]. ISSN=1799–2958. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 12.2.2024]. Saantitapa: <https://stat.fi/tilasto/kora>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2024b). Rakennuskustannusindeksi [verkkajulkaisu]. ISSN=1795–4282. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 12.2.2024]. Saantitapa: <https://stat.fi/tilasto/rki>

Liite 4. Lisätietoa kiertotalouteen perustuva teollisuus -muutosalueesta

Kaivosteollisuus

Mari Kivinen, Toni Eerola ja Neea Heino, GTK

Suomessa toimii tällä hetkellä 43 kaivosta, joiden koot sekä hyödynnettävän kiven ominaisuudet vaihtelevat paljon. Lähtökohtaisesti kiven ominaisuudet määrittävät siitä saatavat tuotteet sekä syntyvien kaivannaisjätteiden määrän ja laadun, sekä edelleen hyödyntämismahdollisuudet.

Kaivostoiminnassa kestävyys- ja kiertotalousteemat ovat nousseet viime vuosina keskiöön ja useat kaivosyrietykset panostavat tuotannon sähköistämiseen sekä sivu- ja jätevirtojen hyödyntämiseen. Osalla yrityksistä on myös kunnianhimoisia tavoitteita toteuttaa 'jätteetön kaivos' -ajattelua, joka on omiaan vauhdittamaan kiertotalouden edistämistä kaivostoiminnassa. Monet kiertotalousratkaisusta ovat vasta tulossa käyttöön, joten voidaan sanoa, että kiertotalous tulee tulevaisuudessa toteutumaan kaivoksilla enenevässä määrin. Lisäksi kaivostoiminnassa on lisätty tuotannon arvoa erityisesti akkuarvoketjun tuotteissa (nikkeli, koboltti, litium). Metallien ja mineraalien kysynnän kasvaessa tarve materiaalitehokkaille ratkaisuille kasvaa entisestään, ja kiertotalouden ratkaisut voivat toimia sekä erottautumistekijänä että tuoda kustannussäästöjä ja uutta liiketoimintaa. Euroopan Unionin kriittisiä raaka-aineita koskeva lakialoite (CRM act) voi tuoda kaivostoiminnan raportointi- ja lupakäytäntöihin muutoksia.

Toimivien kaivosten lisäksi Suomessa on jonkin verran suljettujen kaivosten yhteydessä sijaitsevia kaivannaisjätealueita, joiden hyötykäytön selvittäminen on aloitettu. On mahdollista, että näiden alueiden hyödyntäminen käynnistyy tulevaisuudessa.

Kaivostoiminnan kehittyminen vuoteen 2035 riippuu käynnissä olevien kaivosten eliniästä ja mahdollisten uusien kaivosten tuotannon käynnistämisestä. Kaivosten perustamiseen vaikuttavat monet tekijät ja niiden valmisteluvaiheet ovat useiden vuosien, jopa vuosikymmenien, mittaisia. Näin ollen vuoden 2035 kaivostoiminnan volyymin arvioiminen on epätarkkaa. Tällä hetkellä Suomessa on useita kaivoshankkeita ja maailmantilanne kaivostoiminnan kasvua ennustava. Kaivostoiminnan kasvu arvio skenaariotyön mallinnusta varten tehtiin näiden kaivoshankkeiden ja käynnissä olevien kaivosten pohjalta: laskennassa on huomioitu tämänhetkiset pitkälle edenneet kaivoshankkeet ja arvioitu niiden toteutuminen 50 % todennäköisyydellä. Skenaariossa huomioidut loushintamäärät, rikastetutanto, välituotekäyttö

sekä polttoaineiden ja sähkönkäytön määrät ovat siis puolet siitä mitä maksimisaan kaikkien suunniteltujen hankkeiden toteutuessa. Laskennassa huomioituiden kaivoshankkeiden ovat: Laiva, Suhanko, Sakatti, Hannukainen, Ikkari, Sokli, Hautalampi ja Otanmäki tailings. Käytetyt tietoaaineistot ovat pääasiassa YVA-dokumentteja ja yritysten viestintädokumentteja valmistelun alla olevasta teollisesta toiminnasta. Niitä osin kuin kaivoshankekohtaista tietoa ei ollut saatavilla, käytettiin keskiarvoja tai vastaavien kaivosten/kaivoshankkeiden tietoaaineistoja. Tässä tutkimuksessa käytettyä kaivostoiminnan kehitysarviota tulee siten arvioida nykytiedon pohjalta tehtynä suuntaa antavana alan mahdollisesta kehittymisestä.

Tavoitteet vuodelle 2035: Tehostetaan arvoaineiden talteenottoa ja vähennetään jätteen syntyä. Kehitetään aktiivisesti kaivannaisjätteen hyötykäyttöratkaisuja. Arvioidaan vanhojen kaivannaisjätealueiden raaka-ainepotentiaali ja edistetään jätealueiden hyödyntämistä. Edistetään digitalisaation ja automaation menetelmien käyttöä kaivostoiminnassa. Kiritetään kaivostoiminnan sähköistämistä.

Perusskenaariossa Sivukiven ja rikastushiekkojen hyötykäytössä on hienoista nousua. Toimintojen sähköistäminen Teknologiateollisuuden vähähiilisyystiekartan (Teknologiateollisuus & Pöyry, 2021) *perusskenaarion* mukaan.

- **Kiertotalousskenaariossa** Arvoaineiden talteenotto tehostuu jonkin verran. Sivukiven ja rikastushiekkojen hyödyntämisen määrässä edetään perusskenaariota nopeammin. Toimintojen sähköistäminen Teknologiateollisuuden vähähiilisyystiekartan *Nopeutettu teknologinen kehitys* -skenaarion mukaan (kaivostoiminnan luvut).
- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** Arvoaineiden talteenotto tehostuu selkeästi. Sivukiven ja rikastushiekkojen hyödyntämisen esteitä puretaan tehokkaasti. Toimintojen sähköistäminen Teknologiateollisuuden vähähiilisyystiekartan *Pakotettu päästövähenys* -skenaarion mukaan (kaivostoiminnan luvut).

Kaivostoiminnan tärkeimmistä kiertotaloutta edistävästä teemoista luotiin ymmärrys kirjallisuuden pohjalta ja laadittiin esiselvitys. Esiselvityksen tuloksista keskusteltiin sidosryhmien kanssa järjestetyissä kokouksissa ja työpajoissa. Näiden pohjalta sisältö muokkautuikin jonkin verran. Tämän jälkeen toimenpidekokonaisuuksien sisältä valittiin konkreettiset toimenpiteet mallinnusta varten. Konkreettisille toimenpiteille esitettiin alustavat, numeeriset muutosarvot kolmessa skenaariorissa vuoteen 2035. Nämä arvot keskustelutettiin sidosryhmien kanssa KGD työpajatyöskentelyssä 14.4.2023. Tässä työpajassa sidosryhmiltä saatiin palautetta, että

kaivostoiminnan osalta luvut ovat alakanttiin. Tältä pohjalta tehtiin lisää arvioita mahdollisesta kiertotalouskapasiteetista ja käytiin lisää keskustelua sidosryhmien kanssa (TEM:n järjestämä työpaja 20.6.2023).

Tutkijoiden ja kiertotalouden green deal -prosessin sidosryhmien kanssa tunnistettuja keskeisiä toimenpidekokonaisuuksia:

Arvoaineiden kattava talteenotto ja kaivannaisjätteiden vähentäminen rikastusprosesseja ja louhintaa optimoimalla

Kaivosteollisuuden tärkein kiertotaloustoimi on hyödyntää tehokkaasti louhittava malmi ja muut kivi- ja maamassat. Tämä edistää materiaali- ja energiatehokkuutta, sekä vähentää syntyvän jätteen määrää. Esimerkiksi monilla teollisuusmineraalikaivoksilla hyödyntäminen on mahdollista toteuttaa laajamittaisesti (esim. kalkkituotteet, wollastoniitti, kiilletuotteet). Useat Suomessa toimivista metallimalmikaivoksista ovat lähtökohtaisesti useita metalleja tuottavia, ja prosessista riippuen pieniäkin metallipitoisuuksia on mahdollista hyödyntää (esim. uraanin talteenotto). Kullakin kaivoksella rikastusprosessi optimoidaan hyödynnettävän malmin mukaisesti siten, että arvoaineiden saantoprosentit ovat taloudellisesti optimaaliset. Osa arvoaineista joutuu tällä hetkellä hukkaan rikastus- ja jalostusprosesseissa, joten kiertotalouden näkökulmasta arvoaineiden talteenottoa olisi edelleen mahdollista tehostaa sen kannattavuutta edellyttäen.

Skenaariot: Teollisuusmineraalien osalta kyseeseen tulevat mahdolliset uudet tuotteet ja metallikaivosten osalta tuotantoprosessien tehostaminen. Toimenpidettä ei mallinnettu, koska tietoa on huonosti saatavilla.

Kaivannaisjätteiden hyötykäyttö

Kaivosten merkittävimmät jätejakeet ovat erilaiset sivukivet ja rikastushiekat. Kaivoksilla ja louhoksilla syntyy infrarakentamiseen sopivaa, ympäristökelpoista sivukiveä sekä rakentamiseen sopimatonta sivukiveä. Ympäristökelpoisesta sivukivestä kaivokset käyttävät suuren osan kaivosalueen sisäiseen infrarakentamiseen, kaivostäyttöihin sekä kaivoksen sulkemiseen liittyviin rakenteisiin. Osalla kaivoksista kaikki käyttökelpoinen sivukivi ja muu kaivosalueella louhittu kivi käytetään jo nyt kaivosalueen sisällä. Mallinnusta varten tehtiin tältä pohjalta karkea arvio kaivoksilla ja louhoksilla läjitettävästä (eli käyttämättömästä) ympäristökelpoisesta sivukivestä. Perustuen hankkeen työpajoihin, keskusteluihin kaivosyritysten edustajien kanssa, kaivosten jätehuoltosuunnitelmiin, Vuoriteollisuustilastoon 2021, YVA-dokumentteihin, kaivosten ympäristöraportointiin ja viestintään (kuten kaivosvastuu.fi), arvioitiin karkeaksi käyttökelpoisen kiven vuosittaiseksi määräksi 15

Mt. TUKES:n kaivosten hyötykäyttöaineiston mukaan vuonna 2015 tästä arvioidusta kapasiteetista käytettiin kaivosalueiden ulkopuolella noin 1,9 % ja vuonna 2021 noin 2,3 %.

Kaivosten sivukiven hyötykäytöllä on paremmat edellytykset Etelä-Suomessa, missä rakennetaan enemmän ja välimatkat ovat lyhyempiä, eli kaivostoiminta tapahtuu lähellä mahdollista käyttäjäkuntaa. Vaikka kaivoksia on Pohjois-Suomessa enemmän, alue on harvaan asuttua, siellä rakennetaan vähemmän ja välimatkat ovat pitkiä. Lisäksi Pohjois-Suomen kaivokset ovat etupäässä metallikaivoksia, joista monet ovat sulfidipitoisia ja siten niiden ympäristökelpoisuus on alhainen. Esimerkiksi volyymitään merkittävimpien sivukiven tuottajien Kevitsan ja Talvivaaran kaivosten sivukivien hyötykäyttö on rajoitettua, koska sulfidien reagoiessa ilman ja veden kanssa ne tuottavat hapanta valumaa. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka kaivosten sivukiviä olisi tarjolla suuria määriä, niiden sijainti tai ominaisuudet voivat rajoittaa niiden ulkopuolista hyötykäyttöä kannattavuutensa tai ympäristövaikutustensa vuoksi. Lapin kaivoksissa ympäristöominaisuuksiltaan hyödyntämiskelpoiset sivukivet käytetään pääasiassa kokonaisuudessaan kaivosalueen sisällä infrastruktuuriin ja kaivostäyttönä (Kuva 1).

Rikastusprosessin jätteenä syntyvän rikastushiekan käytettävyys riippuu niin ikään hiekan ominaisuuksista. Hiekkaa voidaan joissain tapauksissa tuotteistaa (esim. kvartsi, maasälpä, magnesiittihiekat sekä betonin raaka-aineet) sekä hyödyntää kaivosalueen infrarakentamisessa (esim. patorakenteet ja kovettuvat kaivostäytöt). Tässäkin rajoitteensa aiheuttavat sijainti ja sulfidipitoisuus. Sulfideja ja muita haitallisia ympäristövaikutuksia aiheuttavia mineraaleja on kuitenkin mahdollista poistaa rikastushiekoista ja näin käsitellyistä rikastushiekoista voidaan tehdä rakennusmateriaaleja (Veiga Simão ym., 2021).

Tavoitteita kaivannaisjätteiden hyötykäytölle:

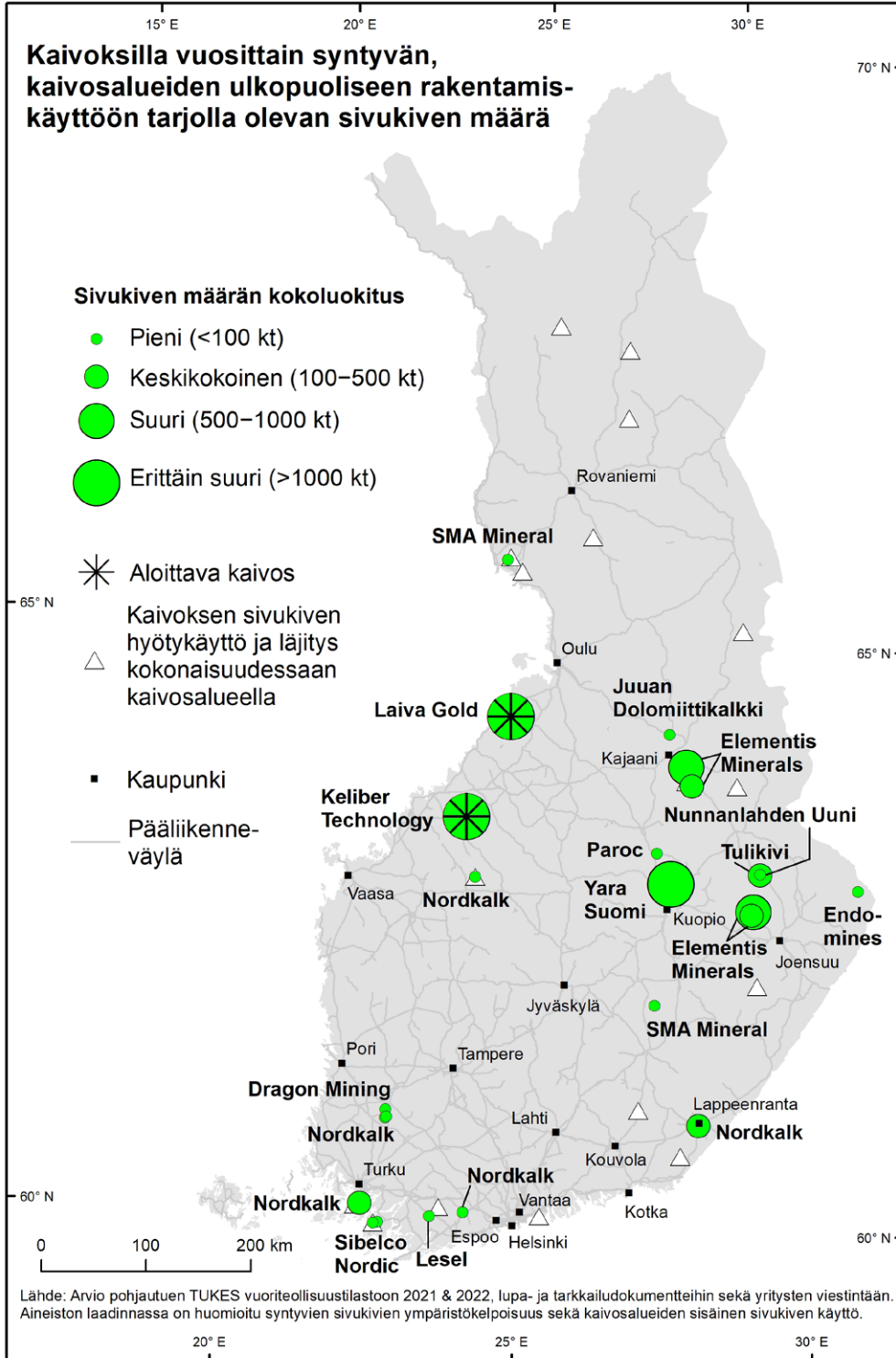
Sivukiven käyttö maa- ja vesirakentamisessa ja tuotteina kaivosalueiden ulkopuolella nousee (0,3 Mt vuonna 2015) perusskenaariossa 0,5 Mt:iin, kiertotalousskenaariossa 1 Mt:iin ja hiilineutraalisuusskenaariossa 2 Mt:iin.

- **ENVIMATscen-mallinnus:** Sivukivien käytön lisääminen korvaa neitseellisen raaka-aineen eli käytännössä hiekka, sora, murske-tuoteryhmän (08121) suoraa ottoa maa- ja vesirakentamisen toimialalla.

Kaivannaisteollisuuden sivuvirtojen (mm. rikastushiekat) käyttö sementin ja betonin side- ja täyteraaka-aineena nousee (0 Mt vuonna 2015) perusskenaariossa 0,25 Mt:iin, kiertotalousskenaariossa 0,5 Mt:iin ja hiilineutraalisuusskenaariossa 1 Mt:iin.

- **ENVIMATscen-mallinnus:** Sivuvirtojen käytön lisääminen korvaa neitseellisen raaka-aineen eli käytännössä hiekka, sora, murske -tuoteryhmän (08121) ostoja rakennustuoteteollisuudessa, betoni-, kipsi- ja sementtituotteiden valmistuksen toimialalla.

Kuva 1. Kaivosten vuosittaiset, ympäristöominaisuuksiltaan kaivosalueiden ulkopuoliseen käyttöön soveltuvat, sivukivivolyymit Suomessa.



Kuva: Jussi Pokki, GTK

Toimintojen sähköistäminen

Tyypillisesti sähköistäminen on kaivoksissa jo edennyt monilla osa-alueilla: malmihissit, ilmastointi ja kuljetukset voivat olla joko täysin tai osin sähköistettyjä. Murskaus ja rikastus on jo sähköistetty. Energia- ja päästöintensiivisimmät prosessit ovat murskaus ja jauhatus (hyvin energiaintensiivisiä). Uusien koneiden ja laitteiden hankintatarpeet sekä sähköistämistä edistävät investoinnit toimeenpanevat kaivostoiminnan sähköistämistä. Myös sähköä säästävät prosessit, esimerkkinä jauhatusratkaisut, ovat haluttuja ratkaisuja. Perinteisesti materiaalin kuljetus ja sisäinen logistiikka kuluttavat fossiilisia polttoaineita. Kaivosten logistiikan sähköistäminen on jo aktiivisen kehityksen alla, ja oletettavasti laajemmassa käytössä kymmenen vuoden sisällä akkuteknologian kehittyessä. Käytetty teknologia vaihtuu heti, kun se on teknis-taloudellisesti kannattavaa.

Perusskenaariossa energiatehokkuustoimet, jotka parantavat energiatehokkuutta 0,2 % per vuosi (tavoitteen taustalla Teknologiateollisuuden vähähiilisyystiekartta)

- **Kiertotalousskenaariossa** työkoneiden täysi sähköistyminen vuosina 2025–2040 (öljystä sähköön) (tavoitteen taustalla Teknologiateollisuuden vähähiilisyystiekartta, *Nopeutettu teknologinen kehitys* -skenaario)
- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** työkoneiden täysi sähköistyminen vuosina 2020–2030 (öljystä sähköön) (tavoitteen taustalla Teknologiateollisuuden vähähiilisyystiekartta, *Pakotettu päästövähennys* -skenaario)

ENVIMATscen-mallinnus: Muutokset huomioitiin mallinnuksessa kaivosteollisuuden toimialakohtaisessa energian käytössä ja energiatehostumisessa.

Vanhojen kaivannaisjätealueiden materiaalipotentialin tunnistaminen ja hyödyntäminen

Toimivien kaivosten lisäksi Suomessa on suljettujen tai hylättyjen kaivosten ja rikastamoiden yhteydessä sijaitsevia kaivannaisjätealueita, joiden hyötykäytön selvittäminen on aloitettu. On mahdollista, että näiden alueiden hyödyntäminen käynnistyy tulevaisuudessa.

Rikastushiekkoja voidaan uudelleen rikastaa ja ottaa talteen niiden taloudellisesti hyödynnettävissä olevat metallit tai mineraalit (remining), joiden rikastaminen ei ollut kannattavaa tai teknisesti mahdollista aikaisemman toiminnan aikana.

Teknologian kehityksen myötä aikaisemmin tarpeettomaksi nähdyt alkuaineet voivat olla nykyään tarpeellisia, jonka seurauksena tutkimukset uudelleen rikastamisesta ovat myös tulleet ajankohtaisiksi. Tällaista kaavaillaan Otanmäessä ja Aijalassa.

Skenaariot: Ei sisällytetty mallinnukseen saatavilla olevan tiedon vähäisyyden vuoksi.

Digitalisaatio ja automaatio kiertotaloustoimien mahdollistajana

Automaattiset ja kauko-ohjatut toiminnot kaivoksella ja rikastamossa. Robotiikka, tekoäly, IoT, digitaaliset kaksoset ja lohkoketju-tekniologiat prosessien hallintaan ja tehostamiseen. Digitaaliset kaupankäynnin menetelmät, kuten alustatekniologioiden hyödyntäminen. Materiaalien jäljitettävyyden ja tuotepassien käyttöönotto.

Skenaariot: Ei sisällytetty mallinnukseen saatavilla olevan tiedon vähäisyyden vuoksi.

Metallien jalostus

Marjaana Karhu, Päivi Kivikytö-Reponen, VTT Oy

Visio toimialan kehityksestä vuoteen 2035: Metallien jalostuksessa on käynnissä yksi isoimmista teknologiamurroksista aikoihin. Masuuniteräksen valmistuksessa siirrytään vetypelkistykseen, jolloin vetyä käytetään pelkistykseen fossiilisen hiilen sijaan. Vety tuotetaan päästöttömästä sähköstä ja lisäksi fossiilista hiiltä korvataan myös biohiilellä. Nämä teknologiamurrokset vaikuttavat myös syntyvien sivuvirtojen laatuun. Fossiilivapaaseen teräksen valmistukseen siirtyminen tulee vaikuttamaan myös kierrätysteräksen tarpeeseen ja markkinoihin.

Tavoitteet vuodelle 2035: Kiertotalouden tavoitteena metallinjalostuksessa on sivuvirtojen hyödyntäminen ja materiaalitehokkuuden lisääminen, erityisesti uusien käyttökohteiden löytäminen syntyville sivuvirroille ja materiaalien ohjaaminen kiertoon läjityksen sijasta. Sivuvirrat muuttuvat prosessimuutosten yhteydessä, jolloin sivuvirtojen hyödyntäminen vaatii uudenlaista tarkastelua. Lisäksi metallinjalostuksen prosessien tehokkuuden lisäämisellä ja sähköistymisellä (uunit, koneiden käyttövoima) on suuri vaikutus vähähiilisyiden tavoitteiden saavuttamisessa, ja niillä on välillisesti vaikutusta myös materiaalivirtoihin. Digitalisaation lisääminen mahdollistaa energiatehokkuuden parantamisen, prosessien optimoinnin sekä talteen saannin parantamisen energian ja materiaalin osalta.

- **Perusskenaariossa** toimitaan Teknologiateollisuuden vähähiilitiekartan (Teknologiateollisuus, 2020) mukaisesti. Energiatehokkuus, materiaalitehokkuus, prosessin optimointi digitalisaation ja tekoälyn avulla, noudatetaan lainsäädäntöä päästöjen ja syntyvien jätteiden osalta. Fossiilisia polttoaineita korvataan suuressa määrin. Uudet, luvan saaneet tehtaat käynnistyvät. Ala kehittyy ja uusia prosesseja skaalataan teolliseen mittakaavaan tiukentuvan lainsäädännön puitteissa.
- **Kiertotalousskenaariossa** yritysten ilmoittamat investoinnit fossiilivapaaseen tuotantoon toteutuvat pääsääntöisesti, fossiilisesta energiasta on luovuttu. Prosessimuutokset vaikuttavat laajasti sekä raaka-aineisiin (ylävirtaan), prosessin sivuvirtoihin, että lopputuotteisiin. Sivuvirrat saadaan pääsääntöisesti hyödynnettyä välttymällä läjitykseltä. Ala kehittyy ja uusia kiertotalouden mukaisia prosesseja otetaan käyttöön.
- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** metallin jalostuksen prosessien ympärille syntyy ekosysteemejä, esimerkiksi vety metalliteollisuuden tarpeisiin tuotettaihin ja varastoitaisiin Suomessa. Metallinjalostuksen prosessit olisivat pääosin päästöttömiä ja sivuvirrat ja jäännösmateriaalit hyödynnettäisiin.

Tutkijoiden ja kiertotalouden green deal -prosessin sidosryhmien kanssa tunnistettuja keskeisiä toimenpidekokonaisuuksia:

Fossiilisten raaka-aineiden (koksi/kivihiili) korvaaminen pelkistimenä

Metallin jalostuksessa on käynnissä yksi isoimmista teknologiamurroksista aikoihin, jolla on myös merkittävä vaikutus kasvihuonekaasuemissioihin. Siirtyminen vety-pelkistykseen tarkoittaa, että vetyä käytetään pelkistykseen fossiilisen hiilen sijaan. Fossiilista hiiltä pyritään korvaamaan myös biohiilellä. Fossiilivapaaseen teräksen valmistukseen siirtyminen tulee vaikuttamaan myös kierrätysteräksen tarpeeseen ja markkinoihin. Lisäksi nämä teknologiamurrokset vaikuttavat myös syntyvien sivuvirtojen laatuun.

- **Perusskenaariossa** 0 % fossiilista koksia/kivihiiltä pelkistimenä poistuu ja 0 % vetyä tarvitaan pelkistykseen.
- **Kiertotalousskenaariossa** 80–90 % fossiilista koksia/kivihiiltä pelkistimenä poistuu ja 0 % vetyä ja 50 % biohiiltä käytetään pelkistykseen.

- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** 90 % fossiilista koksia/kivihiiltä pelkistimenä poistuu ja 100 % vetyä tai biohiiltä käytetään pelkistykseen.

Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen

Metalliteollisuuden tavoitteena on käyttää mahdollisimman paljon uusiutuvaa energiaa. Myös raaka-aineiden, kuten pelkistämiseen käytetyn ns. vihreän vedyn tuottamiseen tarvitaan uusiutuvista lähteistä tuotettua vähäpäästöistä sähköä.

Kierrätysmetallien hyödyntäminen

Kiertotalouden tavoitteena metallien jalostuksessa on kierrätysteräksen osuuden lisääminen. Fossiilivapaaseen teräksenvalmistukseen siirtyminen tulee vaikuttamaan kierrätysteräksen tarpeeseen ja markkinoihin. Kaikessa metallinjalostuksessa kierrätysraaka-aineen osuus kasvaa.

- Perusskenaariossa kierrätysmetallien hyödyntäminen jatkuu nykytrendin mukaisesti.
- Kiertotalousskenaariossa kierrätysteräksen tarve kasvaa metallin jalostuksessa kaksinkertaiseksi.
- Hiilineutraalisuusskenaariossa kierrätysmetallien osuus jalostuksen raaka-aineista edelleen kasvaa, lisäksi sekundääriraaka-aineita hyödynnetään metallin jalostuksessa tehokkaasti sivuvirroista ja jäännösmateriaaleista.

Sivuvirtojen hyödyntäminen, materiaalitehokkuuden lisääminen

E erityisesti uusien käyttökohteiden löytäminen syntyville sivuvirroille on tärkeää, jotta materiaalit saadaan kiertoon eikä läjitettävää materiaalia synny. Lisäksi huomattavaa on, että prosessimuutosten yhteydessä sivuvirrat ja/tai niiden ominaisuudet muuttuvat. Sivuvirtojen hyödyntäminen vaatii tutkimus- ja kehityspanostusta ja vaikuttaa myös sektoreihin, jotka hyödyntävät nykyisin metalliteollisuuden sivuvirtoja.

- **Perusskenaariossa** sivuvirtojen hyödyntäminen ja materiaalitehokkuuden lisääminen jatkuvat nykytrendin mukaisesti.

- **Kiertotalousskenaariossa** sivuvirtojen hyödyntäminen kasvaa rakennussektorilla isoissa volyymeissä ja sivuvirroille löydetään joitain uusia käyttökohteita.
- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** sivuvirroille löydetään uusia käyttökohteita, myös korkean arvon käyttökohteita useilta sektoreilta, kuten katalyyttina, sorbenttina tai teknisinä keraameina.

Prosessien tehokkuuden lisääminen ja sähköistyminen (uunit, koneiden käyttövoima)

Metallinjalostuksen prosessien tehokkuuden lisäämisellä ja sähköistymisellä (uunit, koneiden käyttövoima) on suuri vaikutus vähähiilisyden tavoitteiden saavuttamisessa volyymien ollessa suuria, ja prosessien tehokkuuden lisäämisellä ja sähköistymisellä on välillisesti vaikutusta myös materiaalivirtoihin. Prosessitehokkuuden lisääminen voi tarkoittaa prosessimuutoksia ja energian talteenottoa prosessissa. Prosessi-innovaatioista voi seurata emissioiden syntymisen vähentämistä, sivuvirtojen ja jäännösmateriaalin *vähentämistä jo tuotantovaiheessa* (ei siis ole kyse jo syntyneen materiaalin hyödyntämisestä, vrt. aiempi kohta)

Digitalisaation lisääminen

Digitalisaation lisääminen mahdollistaa energiatehokkuuden, prosessien optimoinnin sekä talteen saannin parantamisen energian ja materiaalin osalta. Materiaalin digitaalinen informaatio auttaa myös materiaalin seuraamisessa ja jäljityksessä, mahdollistaen ja tukien kiertotalouden mukaisia toimenpiteitä metallien käytön ja kiertojen aikana.

- **Perusskenaariossa** prosessien optimointi parantaa energia ja materiaalitehokkuutta.
- **Kiertotalousskenaariossa** prosessidataa hyödynnetään kiertotalouden edistämiseen ja datan vaihdantaa tapahtuu.
- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** data/tuotepassit seuraavat metalleja läpi elinkaaren, joten metalleja pystytään seuraamaan läpi elinkaaren ja kiertotalouden toimintamalleja pystytään toteuttamaan laajamittaisesti.

Akkukierrätys

Akuille on tulossa kierrätystavoitteet uudesta akkuasetuksesta, sähköautojen akkujen metalleja kierrätetään Suomessa.

ENVIMATscen-mallinnus: Edellä kuvattujen toimenpidekokonaisuuksien pohjalta hankkeen tutkijat laativat asiantuntija-arvion metallien jalostuksesta vuodelle 2035. Muutokset huomioitiin mallinnuksessa metallien jalostamisen (ja toimenpiteisiin kytköksissä olevien muiden toimialojen) tarjontataulussa ja välituotekäytössä. Mallinnuksessa ei huomioitu digitalisaatiota tai akkukierrätystä.

Metsäteollisuus

Ali Harlin, Janne Keränen ja Tiina Koljonen, VTT Oy

Visio toimialan kehityksestä vuoteen 2035: Kiertotalous on jo nykyisellään tärkeä ja integroitu osa metsäteollisuuden arvoketjuja. Uudet kiertotaloustoimet kohdistuvat raaka-aine- ja sivutuotevirtojen ohjaamiseen korkeamman arvonlisän tuotteiden valmistukseen, jolloin voidaan saavuttaa merkittävää lisäarvoa lisäämättä hakuja. Uusilla biotuotteilla voidaan korvata myös fossiilisiin raaka-aineisiin perustuvia tuotteita. Metsäteollisuuden sivuvirrat, kuten ligniini ja mäntyöljy, ovat myös kemianteollisuuden kiertotalouden mahdollistajia.

Tutkijoiden ja kiertotalouden green deal -prosessin sidosryhmien kanssa tunnistettuja keskeisiä toimenpidekokonaisuuksia:

Fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen puupohjaisilla ratkaisuilla – metsäteollisuus

- **Perusskenaario:** Toimitaan Metsäteollisuuden ilmastotiekartan (2020) mukaisesti, mutta päivitetään arviot metsäteollisuuden eri tuotteiden tuotantomäärien kehityksistä ja investoinneista. Fossiilisten polttoaineiden käyttö on jo hyvin vähäistä vuonna 2035. Fossiilisia metsälannoitteita korvataan tuhkalannoitteilla. Mäntyöljyn käyttö noudattaa nykytrendiä ml. mäntyöljyn tuonti.
- **Kiertotalousskenaario:** Talteenotetaan ligniiniä ja hemiselluloosaa ja jatkojalostetaan niitä tuotteiksi joko metsäteollisuudessa tai kemianteollisuudessa. Teoreettisesta maksimimäärästä saavutettu 40–50 %. Lisäksi hyödynnetään kuorta polttamisen sijaan 10–20 % teoreettisesta maksimista. Metsäteollisuus on irtautunut fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Lisäksi korvataan metsäteollisuuden kuiduilla puuvillaa ja fossiilisia tekstiiliraaka-aineita. Mäntyöljyn käyttö

suuntautuu myös muovien ja muiden kemianteollisuuden tuotteiden raaka-aineiksi.

- **Hiilineutraalisuuskenaario:** Talteenotetaan ligniiniä ja hemiselluloosaa ja jatkojalostetaan niitä tuotteiksi joko metsäteollisuudessa tai kemianteollisuudessa. Teoreettisesta maksimimäärästä saavutettu 50–70 %. Lisäksi hyödynnetään kuorta polttamisen sijaan 20–30 % teoreettisesta maksimista. Metsäteollisuuden prosessikaasuista voidaan myös talteenottaa hiilidioksidia synteettisten tuotteiden valmistukseen.

Materiaalitehokkuuden parantaminen ja sivuvirtojen hyödyntäminen tuotteiden valmistuksessa

Metsäteollisuuden tuotannossa on 8,7 miljoonaa tonnia raaka-ainevirtoja, joiden uudelleen ohjaamisella voidaan saavuttaa merkittävää lisäarvoa lisäämättä hakkuita. Näistä 1,4 miljoonaa tonnia on realistisesti käyttöön otettavissa lisä-ten liikevaihtoa 4,4–6,5 miljardia euroa. Teknisesti tuotantoprosessien muutokset parantavat materiaalitehokkuutta vähentäen puubiomassan polttoa 4,3 TWh verran. Käytännössä tämä tarkoittaa erityisesti ligniinin ja kuoren käyttöä lisäarvoisten materiaalien ja kemikaalien tuotantoon sekä muualta saatavan sähkö- ja lämpötehon kasvattamista vastaavasti.

Ligniini on kemiallisen puunjalostuksen tärkein sivuvirta

Lehtipuussa ligniiniä on 17–25 % ja havupuussa jopa 30 % kuivapainosta. Valmistettaessa selluloosaa puusta poistetaan suurin osa ligniinistä, jolloin tärkeimmällä käytössä olevalla prosessilla muodostuu mustalipeää. Mustalipeä poltetaan yleisesti sellun valmistuksessa tarvittavien kemikaalien kierrättämiseksi, jolloin saadaan lämpöä, höyryä ja sähköä. Sivutuotteena saadaan viherlipeäsakkaa, jota voidaan hyödyntää betonin valmistuksessa 20–30 % ja tuhkaa, joka kelpaa metsien kasvua edistävään tuhkalannoitukseen.

Jopa 20 % ligniiniä voidaan ottaa talteen ilman prosessien toimivuuden kärsimättä. Vuosittain erotettavasta yli 8 miljoonasta tonnista voidaan ottaa käyttöön 1–1,5 miljoonaa tonnia. Ligniiniä voidaan käyttää puuliimojen fenolisen komponentin korvaajana. Hapetettuna siitä saadaan myös betonin lujuutta ja valettavuutta parantavaa notkistinta.

Suurta huomiota on kiinnitetty viimeisten vuosien aikana ligniinin mahdollisuuksiin hiilituotteissa, kuten akkujen hiilenä, hiilipigmenttinä tai hiilikuituna. Erityisesti akkuhiilen etuna voidaan nähdä akkujen nopea latautuvuus.

Ligniinihiilipigmenttien haasteena on niiden rakenne, jolloin niitä voidaan käyttää lähinnä edullisiin sovelluksiin. Uusien valmistusprosessien avulla voidaan ligniinistä kuitenkin valmistaa hiilikuitua, jonka suorituskyky riittää esimerkiksi autojen valmistukseen.

Sellunkeiton ligniini sisältää rikkiä, joka rajoittaa sen käyttöä hajun ja värin vuoksi esimerkiksi muovien seosaineena. Vaihtoehtoisesti voidaan hyödyntää niin sanottua hydrolyysiligniiniä, joka on toisen sukupolven bioetanolin valmistuksen sivutuote. Hydrolyysiligniini soveltuu myös sovelluksiin, joissa rikkipitoinen ligniini ei ole mahdollinen valinta.

Kuori on suurin lisäarvoisesti käyttämätön puun osa

Runkopuussa on kuorta 10–20 % ja oksissa jopa 60 %. Koska käytännössä kaikki puu kuoritaan, Suomessa sitä syntyy vuodessa 9,5–12,5 miljoonaa tonnia. Se on suurin lisäarvoisesti käyttämätön puun osa. Sitä syntyy pääasiassa sekä sahojen että masatehtaiden kuorimoilla. Tyypillinen käyttö kuorelle ovat suora poltto energiaksi tai käyttö istutusten kateaineena.

Kuoresta voidaan uuttaa 10–15 % lisäarvoisia 1,5–3,5 €/kg komponentteja, kuten betuliinia, suberiinia ja pektiinejä, jotka ovat hienokemikaaleja. Loppuosasta voidaan valmistaa biohiiltä noin 200 kg/tonni. Huomattavaa kuorifraktiolle on sen korkea ravinnepitoisuus, joka voidaan sitoa hiiltämällä. Biohiiltä voidaan valmistaa perinteisen hiillon tai kuivatuslauksen lisäksi HTC-kuumavesiuutolla. Lisäksi kuorihiiltä voidaan käyttää esimerkiksi imeytysaineena ja eristeenä.

Kuorihiilellä voidaan korvata lannoitteita ja maanparannusaineita. Lisäarvoisesti kuorihiili on biopohjainen vaihtoehto teollisuudessa ja kotitalouksissa käytettäville polymeerisille imeytys- ja ioninvaihtomassoille. Biohiilen hinta alkaa tasosta 2 €/kg, mutta aktiivihiihen hinta on yli 200 €/kg.

- **Perusskenaariossa** huomioidaan ainoastaan ne investoinnit, jotka ovat jo valmiina ennen vuotta 2025–2026. Jätteiden ja sivuvirtojen hyödyntäminen etenee nykytrendillä.
- **Kiertotalousskenaariossa** lisätään kuoren hyödyntämistä 0,2 Mt ja ligniinin 0,05 Mt muiden tuotteiden raaka-aineena.
- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** lisätään kuoren hyödyntämistä 0,2 Mt, ligniinin 0,2 Mt ja hemiselluloosan 0,1 Mt muiden tuotteiden raaka-aineena. Suorat CO₂-tehdaspäästöt vähenevät 90 % vuoteen 2035 mennessä (-2.7 Mt CO₂).

Mäntyöljy ja muut uuteaineet

Uuteaineita on käytetty perinteisesti teknokemikaalien valmistukseen sekä muovien ja kumien lisäaineina. Näiden käyttö polttoaineiden komponentteina on lisääntynyt EU:n REDII-direktiivin myötä, kun ne on luokiteltu teollisen valmistuksen tähteiksi. Biopolttoaineluokituksen muuttuminen voi palauttaa osan näistä perinteisiin lisäarvoisiin käyttöihin.

Lisääntyvä käyttökohde ovat muovien valmistus, etenkin polyeteeni- ja propeenin. Käytettäessä vaikkapa mäntyöljyä, siitä poistetaan happea vedyllä, jonka jälkeen bionafta syötetään krakkeriin muovin rakennusainemonomeerien valmistamiseksi.

Biopohjaisten yleismuovien valmistuksessa mäntyöljyn rinnalla voidaan käyttää vaikkapa muovijätteestä valmistettua pyrolyysiöljyä.

- **Perusskenaariossa** huomioidaan investoinnit, jotka ovat valmiina ja tehdas käynnissä vuonna 2025–2026.
- **Kiertotalousskenaariossa ja hiilineutraalisuusskenaariossa** Ligniinin talteenotto sellunkeiton yhteydessä parantaa materiaalitehokkuutta. Ligniinin mahdollinen määrä on noin 20 % puun määrästä niillä tehtailla, joilla niitä hyödynnetään. Ligniinin markkinoiden kasvaessa myös uusille investoinneille syntyy tilaa. Kuoren hyödyntäminen raaka-aineena tuotteissa. Materiaalien hyödyntäminen tuotteissa energiakäytön sijaan lisää tarvetta korvata energia.

Metsäteollisuuden tuotannon muuttuminen sanoma- ja aikakauslehtipaperista kohti selluloosan ja siitä valmistettavien kartonkilaatujen suuntaan edellisen vuosikymmenen aikana on muuttanut tämän teollisuuden raaka-aineesta saatavien materiaalien- ja energiatuotteiden suhdetta. Biopainotteinen energiapolitiikka on tukenut kehitystä.

Yksinkertaisena vastauksena hiilinielun lisäämiseen on vähentää hakkuiden määrää. Vaikutukset ovat välittömiä, mutta seuraukset kansantalouden ja energiahuollon kannalta haastavia. Toisena vaihtoehtona voidaan esittää hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia. Vaikka hiilidioksidi on olemassa keskitetysti, sen teollinen toteutus vaatii vielä kehittämistä ja investointeja. Lisäksi tuotantokustannukset ovat korkeat, vaikka tuotantoa ei menetetäkään. Kolmantena mahdollisuutena on lisätä materiaalitehokkuutta, jolloin voitaisiin vähentää hakkuiden määrää ja saataisiin enemmän lisäarvoisia tuotteita. Tämä vaihtoehto merkitsee tarvetta lisätä päästötöntä perusvoiman tuotantoa.

Eriyisen mielenkiintoinen vaihtoehto on, ainakin teoreettisesti, kun pyritään nostamaan materiaalitehokkuutta ja lisäksi käytetään rajoitetusti hiilidioksidin talteenottoa. Haaste on siirtynyt uusien tuotteiden kaupallistamiseen, mutta taloudellisesti se on merkittävästi suositeltavin.

Kemianteollisuus

Tiina Koljonen, Ali Harlin ja Inka Orko, VTT Oy; Hannu Savolainen, Syke

Visio toimialan kehityksestä: Kiertotalous on jo nykyisellään tärkeä ja integroitu osa kemianteollisuuden arvoketjuja. Kemianteollisuudessa on käynnissä yksi suurimmista teknologiamurroksista, kun vuoteen 2035 mennessä irtaudutaan pitkälti fossiilisten raaka-aineiden käytöstä ja korvataan niitä biopohjaisilla, kierrätys- ja päästöttömään energiaan perustuvilla synteettisillä tuotteilla. Teollisuuden sivutuotteet ja erilaiset jätteet ovat enenemässä määrin kemianteollisuuden tuotteiden ja polttoaineiden raaka-aineita. Epäorgaanisten sivutuotteiden, kuten tuhkien sekä malmi- ja metallinjalostuksen sakkujen, hyödyntäminen kasvaa.

Tavoitteet/ visio kemianteollisuuden kehittämisestä vuoteen 2035:

- **Perusskenaariossa** toimitaan kemianteollisuuden vähähiilisyystiekartan mukaisesti, mutta päivitetään arviot kemianteollisuuden eri tuotteiden tuotantomäärien kehityksistä ja investoinneista.
- **Kiertotalousskenaariossa** Uusiutuvien biopolttoaineiden (HVO, bioetanol, biokaasu, biovety, lentopolttoaineet), biopohjaisten peruskemikaalien ja erikoiskemikaalien (ksylitoli, karboksimeetyyliselluloosa, tärkkelyksen johdannaiset, teolliset entsyymit, maalit, liimat, biohartsit jne.) tuotannot kasvavat 3–4 miljoonaan tonniin. Ligniini-, hemiselluloosa ja mäntyöljypohjaisten tuotteiden volyymit ovat sidoksissa metsäteollisuudessa talteenotettuihin sivuvirtoihin ja niiden volyymeihin (vrt. metsäteollisuuden skenaariokuvaukset). Lisäksi ensimmäiset investoinnit P2X-tuotteisiin ovat toteutuneet 2035 mennessä. Kipsin, flogopiitin ja tuhkien hyötykäytöt kasvavat jonkin verran nykyisestä (ml. arvokkaimpien aineiden erottelut). Mekaanisen kierrätyksen rinnalle tulee kemiallinen kierrätys ja lisäksi hyödynnetään muovi- ja muuta jätettä pyrolyysiöljyn tuotannossa. Tavoitteena on prosessoida yli miljoona tonnia muovijätettä vuosittain.

- **Hiilineutraalisuusskenaariossa** fossiilinen öljynjalostus Suomessa loppuu ennen vuotta 2035. Ligniinin ja hemiselluloosan hyödyntäminen kemianteollisuuden syötteenä kasvaa verrattuna kiertotalousskenaarioon. Lisäksi kuoren uuteaineista valmistetaan hienokemikaaleja ja kuoren loppuosasta biohiiltä (vrt. metsäteollisuuden hiilineutraalisuusskenaario). Fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen synteettisillä, puhtaasta vedystä (+CCU) prosessoiduilla tuotteilla kasvaa kiertotalousskenaarioon verrattuna ml. suuret teollisen mittaluokan laitokset ammoniakkin, polttoaineiden, muovien ja/tai muiden tuotteiden valmistuksessa. Markkinoille tulevat myös synteettisen biologian avulla tuotetut kemianteollisuuden tuotteet ja leväöljyt. Lisäksi hyödynnetään enenevässä määrin malmien ja metallien jalostuksen sakkvoja ja sivutuotteita (jarosiitti, flogopiitti, kipsi, jne.).

Fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen puupohjaisilla ratkaisulla; Metsäteollisuuden ligniinin hyödyntäminen kemianteollisuudessa

Ks. metsäteollisuuden osiosta ligniiniä, kuorta sekä mäntyöljyä ja muita uuteaineita koskevat tekstit (s. 192–195).

Muovien, jätteiden ja tähteiden hyödyntäminen

Muovien ja tekstiilien kierrätys

Polymeeristen materiaalien, eli muovien ja tekstiilien kierrätyksessä on yhteneviä piirteitä. Muovien kierrätysaste on saavuttanut 27 % ja tavoite on 50 % vuoteen 2025 mennessä. Pakkausten osuus muovijätteestä on jopa 40 % ja sen määräksi on arvioitu 130 000 tonnia vuodessa. Suomella on ratkaisukeskeinen Muovitiekartta 2.0 Vähennä, vältä, kierrätä ja korvaa (Ympäristöministeriö, 2022). Myös tuotteiden uudelleenkäyttöä edistetään poliittisin toimin.

Käytöstä poistettujen materiaalien mekaanisen kierrätyksen jalanjälki on pienin ja ensisijainen vaihtoehto. Sen mahdollisuuksia vähentävät materiaalien moninaisuus, vaikeasti purettavat rakenteet ja likaantuminen: muovilla neljännes, tekstiileilläkin noin puolet voidaan käsitellä mekaanisesti. Koska kierrätystavoitteet ovat korkeampia, tarvitaan myös kemiallista kierrätystä.

Kemialliseen kierrätykseen muoveja saadaan kierrätysmuovien laatuluokittelusta, mutta niitä voidaan erottaa myös sekajätteestä ja esimerkiksi kierrätyskartonkien siistauksesta. Polttoon joutuvan muovien määrä on vielä jopa 200 000 tonnia vuodessa. Muovien tärkein komponentti ovat polyeteeni ja polypropeeni, joiden lisäksi

muoveissa on merkittävästi myös polyesteriä, polystyreeniä ja polyamideja. Massa voidaan joko pyrolysoida öljynjalostuksen tai uusiomuovin valmistuksen raaka-aineeksi. Pyroöljyjä on kokeiltu syötteinä sekä öljynjalostuksessa että muovin tuotannossa myös Suomessa.

Poisto- ja jätetekstiilien määrä Suomessa on noin 100 000 tonnia vuodessa. Kuluttajien poistotekstiilien erilliskeräys on aloitettu 2023. Tekstiilien käsiteltävyys on muoveja haastavampaa. Niiden tärkein materiaali on polyesteri, jonka joukossa on 30–45 % puuvillaa ja lisäksi polyamideja, polyakrylaatteja sekä erilaisia luonnonkuituja. Tekstiilien fraktiointi on kehitysvaiheessa, mutta kummallekin pääkomponentille on olemassa kemiallinen kierrätys. Suomessa erityisesti puuvillan käytölle on kehitetty lukuisia prosesseja, joissa voidaan käyttää myös puuperäistä selluloosaa. Ensimmäinen kiertotekstiilien kemiallinen yksikkö tulee olemaan kooltaan noin 30 000 tonnia vuodessa.

Vaihtoehtoisesti sekä muovi- että tekstiilijätteestä voidaan valmistaa suoraan poltonestekomponentteja ja kemikaaleja kaasutusteknologioiden avulla. Kannattavien tuotantolaitosten koko olisi kuitenkin merkittävä yli 500 000 tonnia vuodessa.

Kosteat jätteet ja lietteet

Vesipitoisten massojen polttaminen ei ole energiatehokas ratkaisu, koska ne tarvitsevat merkittävästi apupolttoaineita. Näitä massoja syntyy maataloudessa, jätevesien käsittelyssä sekä teollisissa prosesseissa kuten kiertokuidun siistauksessa. Lietteistä voidaan saada haltuun niissä vielä olevaa hiiltä anaerobisen käyttöprosessin kautta, josta tuotteeksi saadaan metaania. Näitä prosesseja on lukuisia erilaisten jätteiden käsittelyyn ja tuotteena saadaan lähinnä maakaasua korvaavaa polttoainetta.

Vaihtoehtoisesti etenkin selluloosapitoisista lietteistä, kuten myös elintarviketuotannon sivuvirroista valmistetaan polttoaine komponentiksi etanolia. Se voisi soveltaa myös kemiallisten prosessien raaka-aineeksi, mutta kehitteillä on myös muita bioteknisiä reittejä lisäarvoisten tuotteiden valmistamiseksi.

Muovin mekaanisen kierrätyksen ENVIMATscen-mallinnuksen taustatiedot

ENVIMATscen-mallia varten arvioitiin muovin lisääntyvän mekaanisen kierrätyksen kautta syntyvän uusiomuovin määrää. Tarkastelussa erilliskerätyn muovin ja sekalaisen yhdyskuntajätteen seassa olevan muovin saannon oletettiin kasvavan kierrätystoimenpiteiden myötä. Uusiomuovi korvasi muoviteollisuudessa ensiömuovia

ja samalla jätteenpoltoon päätyvän muovin määrä vähenisi ja jätteenpolton päästökerroin pienenesi. Lisäksi oletettiin jätteidenkeruun kustannusten kasvavan toimialoilla. Kierrätysmuovin valmistuksen rejektin oletettiin olevan 20 %.

Taulukko 1. Muovin mekaanisen kierrätyksen avainlukuja.

	Perus- skenaario	Kierto- talous- skenaario	Hiili- neutraalisuus- skenaario
Muovipakkausten kierrätysaste	50 %	55 %	60 %
Yhdyskuntajätteen kierrätysaste	45 %	65 %	70 %
Kierrätysmuovia markkinoille, tonnia	157 188	181 808	197 814
Jätteiden keruun kustannusten kasvu vuoteen 2015	7 %	9 %	10 %

Lannoitteiden ja ravinteiden tuotanto hyödyntäen kierrätettyjä raaka-aineita ja synteettinen lannoitteiden valmistus

Kierrätyslannoitteita, mukaan lukien kierrätettyjen raaka-aineiden hyödyntäminen, valmistetaan jo nykyisellään. Esimerkiksi kipsin osalta haasteena on löytää uusia käyttökohteita, kun kasvupotentiaali fosforin sitojana maataloudessa on rajallinen. Toisaalta Venäjän tuontikiellot Ukrainan sodan syttymisen jälkeen ovat johtaneet esimerkiksi flogopiitin (teollisuuden sivuvirta) käyttöön lannoitteiden kaliumin ja magnesiumin raaka-aineina. Toisaalta myös flogopiitin osalta lannoitekäyttö on rajallinen ja senkin osalta tulisi löytää uusia käyttökohteita.

Tuhkien hyötykäytön lisääminen edellyttää toisaalta tuhkien käsittelyä ja toisaalta uusia käyttökohteita. Käsittelyn yhteydessä voidaan toisaalta erotella arvokkaampia aineita polttotuhkista ja mahdollisesti jätevesien käsittelyn tuhkista.

Uutena konseptina on synteettisen ammoniakkin valmistus päästöttömän sähkön ja vedyn avulla. Investoinnit ensimmäisiin pienemmän kokoluokan laitoksiin ovat jo käynnissä, mutta ammoniakkin tarve Suomessa on näihin nähden yli 20-kertainen.

Materiaali- ja energiatehokkuus sekä prosessien optimointi

Kemianteollisuuden prosesseissa sähköistyminen, päästöttömän sähkön käyttö, prosessien älykäs optimointi ja uudet materiaalityratkaisut edistävät paitsi irtautumista fossiilisista polttoaineista myös materiaali- ja energiatehokkuutta. Hukkalämpöjen hyödyntäminen ja sektori-integraatio ovat tärkeässä roolissa energiatehokkuuden parantamisessa (ks. kytkentä resurssiviisaaseen energiantuotantoon).

Materiaalien kierrätyksessä ml. "urban mining" on useita potentiaalisia konsepteja, jotka nykyisellään eivät ole teknistaloudellisesti kannattavia. Esimerkiksi metallien talteenotto erilaisista teollisuuden "kasoista" voisi käynnistyä, mikäli saataisiin riittävä ohjaus esimerkiksi sääntelystä. Flogopiitin hyötykäyttö on tästä hyvä esimerkki ja tämän lisäksi voidaan mainita jarsiitin hyödyntäminen, jonka prosessitoteutus on monimutkainen ja sen vuoksi investointi nykyisellään kallis.

ENVIMATscen-mallinnus: Edellä kuvattujen toimenpidekokonaisuuksien pohjalta hankkeessa laadittiin asiantuntija-arvion kemianteollisuuden toiminnasta vuodelle 2035. Saatavilla olevien tietojen ja mallin rajoitteiden vuoksi edellä mainituista toimenpiteistä pystyttiin mallintamaan fossiilisten raaka-aineiden korvaamista puupohjaisilla ratkaisuilla sekä muovien kierrätystä. Mallinnuksessa huomioitiin muutoksia kemianteollisuuden (ja toimenpiteisiin kytköksissä olevien muiden toimialojen) tarjontataulussa, väliuotekäytössä, sekä energiankäytössä, ml. sähköistyminen ja puhtaan vedyn käytön lisääntyminen. Hiilineutraalisuusskenaariossa visioitua fossiilisen öljynjalostuksen loppumista Suomessa ei pystytty sisällyttämään mallinnukseen. Biopolttoaineiden tuotannon osuus kuitenkin nousee hiilineutraalisuusskenaariossa jakeluvaiheen noustessa arvioissa 30 prosentista 34 prosenttiin.

Teknolohiateollisuus yleisesti

Teknolohiateollisuus ry laati oman vuoteen 2035 ulottuvan kiertotalousohjelmansa jo syksyllä 2021 (Teknolohiateollisuus ry, 2021). Kiertotalousohjelman tavoitteissa nousevat esille kiertotalousajattelu, kiertotalouden liiketoimintamallit, kestävä tuotesuunnittelu, digitaaliset ratkaisut sekä palvelu- ja datapohjaiset liiketoimintamallit resurssitehokkuutta edistämässä, tuotteiden uudelleenkäyttö ja -valmistus, tehdaskunnostukset sekä kierrätysraaka-aineiden ja sivuvirtojen käyttö valmistuksessa. Monet näistä tavoitteista soveltuvat eri teollisuustoimialoille ja niitä on huomioitu tämän muutosalueen laatimisessa yleisesti.

ENVIMATscen-mallinnus: Teknolohiateollisuuden lisämateriaalitehostumiseksi oletettiin vuonna 2035 kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa 10 % yhden vuoden takaisinmaksuajalla.

Tekstiiliteollisuus

Ali Harlin ja Janne Keränen, VTT Oy

Metsäteollisuuden tarjoaman tekstiili- ja kierrätyskuidun jalostaminen:

- *kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa oletetaan, että tekstiiliteollisuudessa jalostetaan 40 kt metsäteollisuuden tekstiilikuituja ja 150 kt kierrätyskuituja.*

Lähteet

Metsäteollisuus ry (2020). Vihreä ja vireä talous. Metsäteollisuuden ilmastotiekartta.

https://assets-global.website-files.com/5f44f62ce4d302179b465b3a/5fae9c-3de86a240e06b76565_Metsa_Esite_Email.pdf

Teknologiateollisuus ry (2021). Teknologiateollisuuden kiertotalousohjelma 2035.

Tiivistelmä. https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden%20kiertotalousohjelma%202035_tiivistelm%C3%A4.pdf

Teknologiateollisuus ry (2020) Teknologiateollisuuden vähähiilitiekartta

2035. Tulokset. https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden-va%CC%88ha%CC%88hiilitiekartta-tiivistelm%C3%A4_2020-06-08_FINAL_0.pdf

Teknologiateollisuus & Pöyry (2021) Teknologiateollisuuden vähähiilitiekartta

raportti – vaihe 2. 1.6.2020. Saatavissa: teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden_tiekartta2_Skenaariot_ja_kadenjalkitarkastelu_Poyry_0.pdf

Veiga Simão, F., Chambart, H., Vandemeulebroeke, L., Cappuyns, V. (2021). Turning mine waste into a ceramic resource: Plombières tailing case. Journal of Sustainable Metallurgy DOI: [10.1007/s40831-021-00442-3](https://doi.org/10.1007/s40831-021-00442-3)

Ympäristöministeriö (2022). Suomen muovitiekartta. Vähennä ja vältä, kierrätä

ja korvaa. Muovitiekartta 2.0. <https://ym.fi/documents/1410903/42733297/V%C3%A4henn%C3%A4+ja+v%C3%A4lt%C3%A4,+kierr%C3%A4t%C3%A4+ja+korvaa.+Muovitiekartta+2.0.pdf/4336039b-f222-dc07-6ae5-f193ad418e60/V%C3%A4henn%C3%A4+ja+v%C3%A4lt%C3%A4,+kierr%C3%A4t%C3%A4+ja+korvaa.+Muovitiekartta+2.0.pdf?t=1681804745974>

Liite 5. Lisätietoa kestävä kulutus ja liiketoiminta -muutosalueesta

Johanna Niemistö, Hannu Savolainen, Mari Heikkinen ja Marja Salo, Syke

Tavaroiden tuotannossa ja kuluttamisessa tulisi pyrkiä luonnonvarojen käytön vähentämiseen ja resurssitehokkuuden edistämiseen. Tarpeenmukaisempi kuluttaminen ja jo kierrossa olevien luonnonvarojen ja materiaalien käytön tehostaminen sekä kiertoaikojen pidentäminen edistävät näitä tavoitteita. Kiertotalouden mukaiset liiketoimintamallit kuten jakamisalustat, tuote palveluna -konsepti ja tuote-elinkaarien pidentäminen mahdollistavat luonnonvarojen käytön ja resurssitehokkuuden tehostamista.

Luonnonvarojen kulutus sekä siitä aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt ja luonto-vaikutukset ovat kytköksissä kulutusmenoihin eli siihen kuinka paljon kotitaloudet käyttävät rahaa tavarihin tai palveluihin. Myös kulutusrakenne, eli mihin rahojen kulutus kohdistetaan, on merkityksellistä, koska tuotteisiin ja palveluihin tarvittavat luonnonvarat ja niiden tuotannossa aiheutettujen päästöjen määrä vaihtelevat. Tuotteen päästökerrointa voidaan alentaa teknologisilla muutoksilla tuotteiden ja palveluiden tuotannossa esimerkiksi materiaalitehokkuutta parantamalla. Kulutusmenojen ja päästöjen suhdelukuna voidaan käyttää päästöintensiteettiä, joka kuvaa kuinka paljon kasvihuonekaasupäästöjä tuotteeseen tai palveluun kulutettu euro aiheuttaa (yksikkönä kg CO₂-ekv./€).

Kulutuksesta aiheutuvia päästöjä voidaan pienentää joko vähentämällä kulutusta tai muuttamalla kulutuksen rakennetta eli valitsemalla vähemmän luonnonvaroja kuluttavia/vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja, saman tuoteryhmän sisällä tai tuoteryhmien välillä. Esimerkiksi kasvipohjaisten tuotteiden päästöintensiteetti on yleensä pienempi kuin lihatuotteilla, ja palveluiden päästöintensiteetti on pienempi kuin vastaavien tavaroiden valmistuksen.

Kuluttamisen muutos vaatii kulutustapojen, taitojen ja tottumusten muuttamista. Kulutuksen vähentämistä edistäviä toimia ovat muun muassa korjaus-, vuokraus- ja yhteiskäyttöpalveluiden tarjonnan lisääminen sekä tiedon lisääminen tuotteiden ilmastovaikutuksista, käyttöikä pidentävistä käyttötavoista, huollosta ja korjattavuudesta sekä kierrätysmahdollisuuksista käytön jälkeen. Muun muassa Suomen ilmastopaneeli (Seppälä ym., 2022) on pohtinut kuluttajien mahdollisuuksia Suomen päästövähennysten vauhdittamiseksi ja Salo ym. (2023) ovat tutkineet ohjauskeinoja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjäljen pienentämiseen.

ENVIMATscen-mallinnukseen viedyt muutokset on kuvattu taulukossa 1. Muutokset on kohdistettu kulutustutkimuksessa käytettävän yksilöllisen kulutuksen käyttötarkoituksen mukaisen COICOP-luokituksen ja ENVIMAT-mallin toimialoittaisen tuoteluokituksen (ETTL) mukaisesti.

Taulukko 1. Mallinnuksessa oletetut kotitalouksien kulutuksen muutokset ja niiden kohdistus kulutushyödykeryhmiin (COICOP) ja ENVIMAT-mallin toimialoittaiseen tuoteluokitukseen (ETTL).

Muutos	Kulutushyödykeryhmä (COICOP-luokitus)	Tuoteluokka (ETTL), jolle kulutusmuutos kohdistuu
Käyttöiän pidentäminen vähentää kulutushyödykkeiden ostoa 5 % (perusskenaario), 20 % (kiertotalousskenaario) tai 30 % (hiilineutraalisuusskenaario). Ostojen vähentymisestä säästyneistä euroista ohjautuu 70 % E TTL-sarakkeessa esitetyille toimialoille ja 30 % yleisten kulutusalttiuksien mukaisesti.	Vaatteet (C031), Jalkineet (C032), Kodin tekstiilit (C052), Kodinkoneet ja laitteet (C053), Muut kulttuuriin ja vapaa-aikaan liittyvä suuret kestopulutus tavarat, ml. soittimet ja harrastusvälineet (C092), Henkilökohtaiset esineet, ml. korut, kellot ja laukut (C123)	95 Tietokoneiden, henkilökohtaisten ja kotitaloustavaroiden korjauspalvelut; 96 Muut henkilökohtaiset palvelut; 46c Muut kaupan palvelut
Uudelleenkäyttö vähentää kulutushyödykkeiden ostoa 5 % (perusskenaario), 10 % (kiertotalousskenaario) tai 20 % (hiilineutraalisuusskenaario). Ostojen vähentymisestä säästyneet eurot ohjautuvat E TTL-sarakkeessa esitetyille toimialoille.	Viestintä ml. matkapuhelimet (C08) Kulttuuriin ja vapaa-aikaan liittyvät audiovisuaaliset laitteet, valokuvauslaitteet ja tietojen- käsittelylaitteet ml. tietokoneet (C091)	631 Tietojenkäsittely- ja internet-palvelin-palvelut ja niihin liittyvät palvelut, 95 Tietokoneiden, henkilökohtaisten ja kotitaloustavaroiden korjauspalvelut; 46c Muut kaupan palvelut

Muutos	Kulutushyödykeryhmä (COICOP-luokitus)	Tuoteluokka (ETTL), jolle kulutusmuutos kohdistuu
<p>Alustojen kautta tapahtuvan jakamistalouden lisääminen vähentää kulutushyödykkeiden ostoa 5 % (perusskenaario), 10 % (kiertotalousskenaario) tai 20 % (hiilineutraalisuusskenaario).</p> <p>Ostojen vähentymisestä säästyneet eurot ohjautuvat vuokraus- ja leasingtoimintaan.</p>	<p>Muut kulttuuriin ja vapaa-aikaan liittyvä suuret kestokulutustavarat, ml. soittimet ja harrastusvälineet (C092), Muut vapaa-aikaan liittyvät tarvikkeet ja laitteet, puutarhanhoito ja lemmikkieläimet (C093), Kodin ja puutarhan työkalut ja laitteet (C055)</p>	<p>77 Vuokraus- ja leasingtoiminta 46c Muut kaupan palvelut</p>

Tavoiteprosenttien pohdinnassa on hyödynnetty tutkimuskirjallisuutta, jonka mukaan korkean elintason maissa 30 % vaatekaapin sisällöstä ei ole käytössä, eikä vaatteiden vähentämisellä olisi vaikutusta pukeutumiseen (Coscieme ym., 2020). Saman tutkimuksen mukaan useimmilla ihmisillä on mahdollisuus pidentää vaatteiden käyttöikää yhdeksällä kuukaudella. Esimerkiksi kolmen vuoden keskimääräisellä käyttöajalla pidennys tarkoittaisi 3,75 vuoden käyttöaikaa ja voisi vastata 18 % prosenttia vaatteisiin kulutetuista euroista (Coscieme ym., 2020). Suomessa vaate säilyy kaapissa keskimäärin kolme vuotta ja on käytössä 44 päivänä (Aalto-yliopisto, 2019).

Salo ym. (2023) toteavat tuotekohtaisten elinkaariarvioiden tutkimusjulkaisuihin viitaten, että kaikkein energiaintensiivisimpiä tuotteita (autot, kylmälaitteet, uunit) lukuun ottamatta elinkaaren pidentäminen on useimmiten hyödyllistä, etenkin kulutussähkön päästökertoimen pienenemistrendi huomioiden.

Vastikään julkaistun kiertotalousbarometrin (Pitkänen ym., 2024) mukaan osa kuluttajista suosii jo tavaroiden käytettynä ostamista, osa haluaa hankkia tavaransa edelleen uutena. Vastaajista 71 % halusi mieluummin omistaa käyttämänsä tavarat itse. Tavaroiden pois antaminen on yleisempää käytetyn tavarankäytön hankkimiseen verrattuna. Tavaroiden suojaaminen ja korjaaminen oli vastaajien keskuudessa yleistä, mutta maksullisia korjauspalveluja sekä etenkin alustojen kautta tapahtuvaa uudelleenkäyttöä ja jakamistaloutta hyödynnetään vielä vähän. Kiertotalous on tullut kuluttajille tutummaksi, mutta tekoja tarvitaan lisää. (Pitkänen ym., 2024).

Lähteet

- Aalto-yliopisto (2019). Hidasta kiertoa. Uutinen. Julkaistu 8.4.2019. <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/hidasta-kiertoa> Vierailtu 9.2.2024
- Coscieme, L., Akenji, L., Latva-Hakuni, E., Vladimirova, K., Henninger, C., Joyner-Martinez, C., Nielsen, K., Iran, S., & D'Itria, E. (2022). Unfit, Unfair, Unfashionable: Resizing Fashion for a Fair Consumption Space. Hot or Cool Institute. https://hotorcool.org/wp-content/uploads/2022/12/Hot_or_Cool_1_5_fashion_report_.pdf
- Pitkänen, K., Karppinen, T.K.M., Kylmänen, N., Kynäräinen, A., Myllymaa, T. (2024). Kiertotalousbarometrit 2023: Kiertotalous suomalaisten arjessa ja yritysten toiminnassa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 38/2023. <http://hdl.handle.net/10138/569826>
- Salo M., Heiskanen E., Heikkinen M., Heinonen T., Jylhä H., Kaljonen M., Kautto P., Lähteenmäki-Uutela, A., Matschoss, K., Meriläinen, T., Nissinen, A., Pyrhönen, T., Saarinen, M., Salminen, J., Salmivaara L., Savolainen, H., Seppälä, J., Springare, S., Turunen T., Vainio, A., Virkkunen, H. (2023). Ohjauskeinoja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjäljen pienentämiseen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:47. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-424-8>
- Seppälä, J. (toim.), Grönroos, J., Heinonen, T., Häkkinen, T., Koljonen, T. Kurnitski, J., Latvala, T., Lehtilä, A., Liimatainen, H., Markkanen, J., Niemistö, J., Nissinen, A., Niva, M., Rehunen, A., Saarinen, M., Savolainen, H., Vainio, A., Venho, K. & Viri, R. (2022). Kuluttajien mahdollisuudet Suomen päästövähennysten vauhdittamiseksi – Taustaraportti ruokaan, asumiseen, liikkumiseen ja muuhun kulutukseen liittyvistä toimista. Suomen ilmastopaneelin raportti 6/2022. <http://hdl.handle.net/10138/359214>

Liite 6. Lisätietoa materiaalitehokas energiajärjestelmä -muutosalueesta

*Tiina Koljonen, Janne Keränen, Ali Harlin, Päivi Kivikytö-Reponen, VTT;
Mari Heikkinen, Syke*

Energiajärjestelmän kehitystä arvioitiin perustuen tuoreimpiin julkisiin lähteisiin, asiantuntija-arvioihin sekä sidosryhmäkeskusteluissa saatuun palautteeseen. Työn edetessä kuitenkin todettiin, että aiemmin laaditut skenaariolaskelmat olivat vanhentuneet johtuen Ukrainan sodan syttymisen jälkeen asetetuista Venäjän pakotteista ja sitä seuranneista markkina- ja toimintaympäristömuutoksista ja toisaalta voimakkaasta investointiallosta liittyen puhtaisiin energiaratkaisuihin. Toisaalta todettiin, että aiemmin laaditut energiajärjestelmätarkastelut ja skenaariomallinnukset eivät välttämättä ole kiertotalouden tavoitteiden mukaisia, vaikka pyrkivätkin tarkasteluissa hiilineutraalisuuteen vuoteen 2035 mennessä. Esimerkkinä voidaan mainita pääministeri Petteri Orpon hallitusohjelman linjaukset kaksinkertaistaa sähköntuotanto Suomessa ja linjaukset liittyen vetytalouden voimakkaaseen kasvuun, jolla Suomi tähtää 10 prosentin osuuteen EU:n puhtaan vedyn tuotannosta ja vähintään samaan osuuteen vedyn jatkokäytöstä. Vetytalous on kuitenkin huomioitu tässäkin työssä siten, että puhdas vety on teollisuuden kiertotalouden merkittävä mahdollistaja ja edellytys irtautua fossiilisista raaka-aineista ja polttoaineista.

Alla on esitetty resurssiviisaan energiajärjestelmään liittyvän muutosalueen pääkohdat:

Suunnitellaan yhdyskunnat osaksi säästävää ja älykästä energiajärjestelmää

Hyödynnetään hukkaenergiat ja energiavarastot energiantuotantarpeen vähentämiseksi: Hyödyntämällä enemmän hukkalämpöä ja lämpövarastoja vähennetään primääristen energialähteiden käyttöä vuoteen 2035 mennessä (suluissa mallinnuksessa käytetty luku).

- perusskenaariossa 5–8 TWh (8 TWh);
- kiertotalousskenaariossa 8–10 TWh (10 TWh);
- hiilineutraalisuusskenaariossa 10–20 TWh (15 TWh)

Hukkalämpöä syntyy erityisesti teollisuudessa sekä energiantuotantolaitoksissa, mutta myös palvelusektorilla, kuten konesaleissa ja kaupan alalla. Lisäksi jatkossa hukkalämpöä syntyy vedyntuotannon yhteydessä. Hukkalämpö voidaan hyödyntää kaukolämmön tuotannossa, jolloin keskeinen kysymys on lämmön kysynnän

maantieteellinen sijoittuminen suhteessa lämmön tuottajaan. Afry (2020b) arvioi, että hukkalämpöä syntyi selvityksen laadinnan aikoihin jopa 130 TWh, josta teknisesti hyödynnettävissä olisi noin 35 TWh. Mallinnukseen syötetyt luvut perus- ja kiertotalousskenaarion osalta pohjautuivat lopulta asiantuntija-arvioihin, joita käytiin sidosryhmien kesken. Hiilineutraalisuusskenaariossa lisäpotentiaaliarviossa on erityisesti huomioitu kasvavan vedyntuotannon hukkalämpöpotentiaali. On kuitenkin huomioitava, että edellä esitetyt arviot sisältävät merkittävää epävarmuutta.

Edistetään polttoon perustumatonta tuotantoa ja uusia energiaratkaisuja

Vähennetään materiaalikelpoisen puun käyttöä energiantuotannossa ja toisaalta lisätään biokaasun tuotantoa vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi investoidaan sähkökattiloihin sekä teollisuudessa että yhdyskuntien energiantuotannossa. Materiaalikelpoisen puunkäytön oletettiin vähenevän:

- perusskenaariossa yhteensä 3–5 TWh;
- kiertotalousskenaariossa yhteensä 6–9 TWh;
- hiilineutraalisuusskenaariossa yhteensä 10–20 TWh.

Luvuissa on huomioitu kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaariossa oletetut mustalipeän, ligniinin ja hemiselluloosan jalostukset kemianteollisuuden tuotteiksi sekä kuoren jalostus, jotka vähentävät bioenergian määrää. Toisaalta em. hukkalämpöjen hyödyntäminen ja sähkökattilat vähentävät poltettavan kiinteän biomassan määrää. Biokaasun osalta on huomioitu Luken laatimat arviot maatalouden biokaasutuotannon kasvusta.

Mallinnuksessa on oletettu: Tehostetaan energiantuotannossa bioenergian käyttöä ja vähennetään materiaalikelpoisen puun käyttöä: sähkökattiloiden osuus kaukolämpölaitoksissa lisääntyy

- perusskenaariossa 2 %;
- kiertotalousskenaariossa 5 %;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 10 %.

Tuuli- ja aurinkoenergian tuotannon kasvut ovat olleet hyvin korkeat viime vuosina ja kasvun oletetaan jatkuvan vuoteen 2035 asti. Hallitusohjelmaan on kirjattu sähköntuotannon kaksinkertaistaminen, joka perustuisi pitkälti tuuli- ja aurinkovoimaan. Tässä työssä perusskenaariossa tuuli- ja aurinkovoiman tuotanto on lähellä energia-alan vähähiilisyystiekartan vähähiiliskenaariota (AFRY 2020a), ja tuotantoa kasvatetaan kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa. Työssä ei kuitenkaan lähdetty siitä, että sähköntuotantoa olisi lisätty arvioitua kysyntää suuremmaksi, eli

lähtökohtaisesti vientiin. Uusiutuvan sähköntuotannon kasvu jää siten hallitusohjelman linjausta ja esimerkiksi Fingridin sähköjärjestelmävision (2023) skenaarioita selvästi maltillisemmaksi. Uusiutuvaan energian investointien kasvuun liittyy siten merkittävää epävarmuutta samoin kuin myös energian kysynnän kasvuun 2035 mennessä.

Mallinnuksessa on oletettu: Lisätään polttoon perustumatonta energiantuotantoa; aurinko- ja tuulivoiman tuotanto

- perusskenaariossa yhteensä 32 TWh;
- kiertotalousskenaariossa yhteensä 42 TWh;
- hiilineutraalisuusskenaariossa yhteensä 54 TWh.

Vedyn tuotantoon Suomessa liittyy suuria odotuksia ja parhaillaan on lukuisia joukko investointisuunnitelmia käynnissä, jotka liittyvät paitsi vedyn tuotantoon myös sen jatkojalostukseen sekä hyödyntämiseen teollisuudessa. Tässä skenaariotyössä vedyn tuotantoa arvioitiin kuitenkin verrattain varovaisesti, koska tämän työn puitteissa oli mahdotonta arvioida erityisesti teollisuuden vedyn kysyntää. Esimerkiksi mallinnuksessa ei huomioitu fossiilisen öljynjalostuksen loppumista ja vaiheittaista korvautumista Power to X eli PtX-polttoaineilla, saati liikenteen sähköpolttoaineiden tai ammoniakkin valmistusta vedyn avulla. Alla on oletukset liittyen vedyn tuotantoon:

- perusskenaariossa 1 TWh;
- kiertotalousskenaariossa 5 TWh;
- hiilineutraalisuusskenaariossa 10 TWh, josta 4 TWh metallien jalostuksen toimialalla.

Lähteet

AFRY (2020a). Finnish Energy – Low carbon roadmap. https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Taustaraportti_-_Finnish_Energy_Low_carbon_roadmap.pdf

AFRY (2020b). Energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämpöpotentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle 9/2020. https://tem.fi/documents/1410877/2897650/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf?t=1601627038073

Fingrid (2023). Fingridin sähköjärjestelmävisio 2023. https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/sahkomarkkinat/2023/fingrid_sahkojarjestelma-visio_2023.pdf

Liite 7. Arviointia mahdollisuuksista vähentää turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2035 hiilineutraalisuuskenaariossa

Heikki Lehtonen, Luke

Turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen aiemmissa suunnitelmissa ja selvityksissä

Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmassa Lehtonen ym, (2021) hahmotel- laan seuraavia keinoja turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjen (joista noin 80 % CO₂-päästöjä, vajaa 20 % N₂O-päästöjä ja pieni osuus metaani (CH₄)-päästöjä) vähentämiseksi:

Lisätään turvepeltojen viljelyä märkänä ja huonotuottoisten peltojen vettämistä kosteikoiksi:

- Lisätään kosteikkoviljelyä: tavoitepinta-ala 30 000 ha;
- Edistetään kosteikkoviljelykasvien toimintamalleja, markkinoita, erikoiskasvien tuotantoa;
- Palautetaan (ennallistetaan) huonotuottoisia paksuturpeisia turvepeltoja ilmastokosteikoksi (huom! EU:n sitovat ennallistamistavoitteet, uusi ennallistamisasetus erilaisine joustomahdollisuuksineen hyväksyttiin EU-parlamentissa marraskuussa 2023).

Muut toimet:

- Laaditaan turvepeltojen käytön tiekartta. Tämä tehdään Luonnonvarakeskuksessa Maa- ja metsätalousministeriön Hiilestä kiinni-rahoituksella 09/2023–09/2024.
- Turvepeltojen viljelyn kohdekohtaiset täsmäratkaisut. Tunnistetaan erilaiset turvepellot ja niiden ominaispiirteet. Lisätään kohdekohtaista tietoa ja neuvontaa, jotta viljelykäytänteitä voidaan kohdentaa siten, että säilytetään tuottavuus ja vähennetään viljelyn päästöjä.
- Otetaan käyttöön turvemaiden ilmastokestävää käyttöä tukevat työvälineitä:

- Säättösalaajituksen, altakastelun, patojen ja muiden vedenpinnan sääntelyä edistävien ratkaisujen kehittäminen ja vieminen käytäntöön turvemaidella. Tunnistetaan pullonkaulat ja haetaan ratkaisuja.
- Valuma-alueen suunnittelun työvälineet (kaikki maankäyttö) ja niiden käyttöönoton edistäminen. Kaikkien maankäyttömuotojen (maatalous, metsätalous, kosteikot) tarkastelu, osaaminen, ojitussyhteisöt/ojitusisännät.
- Vettämis- ja hoitotuki: kosteikkoviljely, re-establishing/ennallistaminen, suonpohjien vettäminen (suhde CAP-kosteikkoinvestointeihin?).

Ruoantuotannon hiili-euro-ohjelma (HERO)

Ruoantuotannon hiili-euro-ohjelmassa (HERO; Lehtonen 2022) oletettiin vettämis-kelpoista turvepeltoa olevan noin 65 000 ha. Tältä pohjalta, sekä eräiden muiden aiempien arvioiden pohjalta, turvepeltojen päästövähennystoimien kokonaisuus arvioitiin alla olevan (Taulukko 1) mukaiseksi. Päästövähennykset on laskettu hiilidioksidi (CO₂), typpidioksidi (N₂O) ja metaani (CH₄) huomioiden. Hiilidioksidin osuus on noin 80 % turvemaiden kaikista hiilidioksidiekvivalenteista kasvihuonekaasupäästöistä. Taulukon 1 neljä viimeistä riviä (typpilannoituksen tehostuminen, nautojen lisääneruokinta, uusiutuva energia, nautojen lukumäärän väheneminen) tuottavat päästövähennyksiä (N₂O, CH₄) maataloussektorille tai (maatalouden) energiasektorille (uusiutuva energia, CO₂). Nämä toimet ovat osa taakanjakosektoria, kun taas muut toimet johtavat pääosin CO₂-päästöjen vähentämiseen maankäyttösektorilla, Turvemaidella noin 20 % saavutettavasta päästövähennyksestä on N₂O-päästöjä, jotka raportoidaan maataloussektorilla.

Taulukko 1. Turvemaiden päästövähennykset osana laajempaa maatalouden päästövähennysten kokonaisuutta HERO-ohjelmassa. Lähde: Lehtonen (2022).

Turvemaat	Tavoiteala ha	Päästö- vähennys tCO₂e/ha	Vähennys vuoteen 2035, Mt CO₂e
- Säätosalaajitus	30 000	10	0,3
- Ilmastokosteikot	15 000	22	0,33
- Muut kosteikot	20 000	10	0,2
- Viljan vähentäminen	50 000	10	0,5
- Peltojen poistaminen tuotannosta	45 000	10	0,45
- Metsitys	15 000	7	0,11
Välisumma, turvemaat			1,89
Kivennäismaat, hiilen lähteestä nieluksi	1 500 000	1	1,5
Kivennäismaiden metsitys	40 000	1,2	0,05
Typpilannoituksen tehostuminen			0,3
Nautojen lisäaineruokinta			0,22
Uusiutuva energia			0,3
Nautojen lukumäärän vähentäminen			0,35
Yhteensä			4,60

Yhteensä turvepelloista menisi säätosalaajitukseen 30 000 ha ja lisäksi erilaisiksi kosteikoiksi 35 000 ha. Ilmastokosteikoissa (15 000 ha) vedenpinnan tavoitetaso on -5–10 cm maanpinnan alla, muissa kosteikoissa 30 cm, samoin kuin säätosalaajituksessa. Muut kosteikot (paju, ruokohelpi, osmankäämi, järviruoko ym.) olisivat maataloutta, energiantuotantoa tai lisäarvotuotteita tukevassa tuotantokäytössä. Tuotantotoiminnasta poistuisi noin 75 000 ha (ilmastokosteikot + käytöstä poistuvat pellot+ metsitys).

Uudemmat selvitykset ovat arvioineet kuitenkin vettämiskelpoista turvepeltoa olevan noin 100 000 ha (Räsänen ym., 2023). Tässä arvioissa on epävarmuutta, koska se vedenpinnan taso, jota pystytään kohtuullisin kustannuksin ja toimin ylläpitämään,

on riippuvainen mm. eri vuosien sääolosuhteista ja ympäröivästä topografiasta ja kasvillisuudesta. Ennallistamisasetusluonnoksen vaikutusarvion yhteydessä todettiin, että vettä kelpoisten turvepeltojen poistuminen maataloustuotannosta kokonaan aiheuttaisi yli 4 %:n vähennyksen kotieläintuotantoon (olettaen että kotieläinten lukumäärä olisi alennettava samassa suhteessa kuin viljelyala vähenee, jotta mm. ympäristölupien ehtona oleva eläintiheys ei nousisi) Suomessa keskimäärin, mutta maidontuotantoon ja naudanlihantuotantoon vaikutus olisi selvästi suurempi. Jos vettäminen estäisi maataloustuotannon, kotieläinten määrä vähenisi suhteellisesti eniten kunnissa, joissa on paljon turvemaita ja maatalous kotieläintalouteen painottuvaa, kuten Pohjois-Pohjanmaan eräissä kunnissa. Esimerkiksi Kuusamossa ja Ranualla eläinten lukumääriä olisi vähennettävä noin kolmanneksella.

Turvemaiden päästövähennystoimille on asetettu erilaisia, mutta kuitenkin samansuuntaisia tavoitetasoja vuoteen 2035 mennessä eri selvityksissä (Taulukko 2). Eräissä selvityksissä, kuten MTK:n ilmastotiekartassa (Lehtonen ym., 2020), jonka toimet ovat pitkälti samansuuntaisia kuin HERO-ohjelmassa, on eri toimille asetettu tavoitteellisia tasoja vuoteen 2050 asti. Myös Hiisi-projektin maataloutta koskevissa arvioissa (Miettinen ym., 2022) on asetettu samansuuntaisia laajuuksia turvepeltojen päästövähennystoimille kuin taulukossa 2.

Taulukko 2. Turvemaiden kasvihuonekaasujen vähennystoimien tavoitteellinen laajuus eri selvityksissä. Lähde: Lång ym., 2022 (pienin korjauksin liittyen HERO 2035 -suunnitelmaan).

	CAP 2027	MISU 2035	HERO 2035	KAISU 2040
Nurmiviljely, pohjavesi -30 cm		32 500	30 000 (säättösalaojitus)	42 500
Viljely, pohjavesi -30 cm	60 000*	10 000		13 333
Viljely, pohjavesi -5 – -10 cm		5 000		
Ilmastokosteikko	3 000**	7 500	15 000	10 000
Peltojen poistaminen tuotannosta			45 000	

*Valumavesien hoitotoimenpiteen tavoiteala, joka toteutuu joko säättösalaojituksena tai alta-kasteluna. Osa kokonaisalasta kohdentuu happamille sulfaattimaille.

**Kosteikkojen hoito -ympäristösopimuksen rahoituskauten 2023–2027 kokonaistavoitealasta rahoituskauten lopussa vain osa on ilmastokosteikkoa eli kosteikoksi tai suon kaltaiseksi alueeksi muutettua turvepeltoa.

Karkea arvio turvepeltojen päästövähennyspotentiaalista

Seuraavassa on arvioitu suurinta mahdollista turvepeltojen päästövähennyspotentiaalia, sekä laadittu realistisempaa arviota siitä kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisestä, mitä turvepelloilta voidaan eri keinoin saavuttaa. Päästövähennykset on laskettu hiilidioksidi (CO₂), typpidioksidi (N₂O) ja metaani (CH₄) huomioiden. Hiilidioksidin osuus on noin 80 % turvemaiden kaikista hiilidioksidiekvivalenteista kasvihuonekaasupäästöistä. Taulukossa 3 on hahmoteltu suurinta mahdollista päästövähennystä olettaen, että kaikki yksivuotisten kasvien viljely voidaan siirtää turvemailta kivennäismaille, ja että kaikki vettämiskelpoisen 100 000 ha alalla voidaan nostaa vedenpinta tasolle 5–10 cm maan pinnan alle. Nämä ovat ylioptimistisia oletuksia. Tältä pohjalta on tehty myös realistisempaa arviota, jossa otetaan huomioon vaikeudet veden pinnan nostamisessa ja viljan ja muiden yksivuotisten kasvien viljelyn siirtämisessä pois turvepelloilta.

Taulukko 3. Arvio turvepeltojen kasvihuonekaasujen päästövähennysmahdollisuuksista. Päästövähennykset on laskettu hiilidioksidi (CO₂), typpidioksidi (N₂O) ja metaani (CH₄) huomioiden. Hiilidioksidin osuus on noin 80 % turvemaiden kaikista hiilidioksidiekvivalenteista kasvihuonekaasupäästöistä.

Lähtötilanne	ha	t CO ₂ - ekv/ha	Mt CO ₂ - ekv.
Yksivuotiset kasvit	90 000	35	3,15
Monivuotiset kasvit	180 000	25	4,5
Yhteensä	270 000		7,65

Vähennispotentiaali enintään	veden pinta	ha	vähennys t CO ₂ - ekv./ha	Mt CO ₂ - ekv.
Vettämiskelpoinen ala, vedenpinta tasolle 5–10 cm alle maan pinnan	5 cm	100 000	22	2,2
Ei-vettämiskelpoinen ala	30 cm	170 000	10	1,7
viljalta nurmelle, säätosalaajitukseen tai nurmelta hylätyksi pelloksi (-10 tCO ₂ ekv.)*		Yhteensä		3,9

Lopputilanne, jos maksimaalinen päästövähennys	ha	t CO₂ ekv./ ha	Mt CO₂ ekv.
Yksivuotiset kasvit	0	35	0
Monivuotiset kasvit	90 000	25	2,25
Säätösalaojituksessa, monivuotisilla kasveilla	50 000	15	0,75
Hylättyinä peltona (tiloja lopettaa, etäisyydet kasvavat)	15 000	16	0,24
Metsänä	15 000	18	0,27
Vetetty, moniv. kasvit	100 000	3	0,3
Yhteensä	270 000		3,81
Alkutilanne miinus lopputilanne: Päästövähennys			3,84

* Esim. viljalta nurmelle 90 tha, säätösalaojitukseen 50 tha, hylätyksi pelloksi/ metsäksi 30 tha; yhteensä 170 000 ha.

Vähennemispotentiaali vähintään	ha	vähennys t CO₂ ekv./ ha	Mt CO₂ ekv.	
- jos vedenpinnan nosto 5–10 cm alle maan pinnan ei onnistu				
Vettämiskelpoinen ala: säätösalaojitus, tai yksiv. Monivuotisille kasveille	30 cm	100 000	10	1
Ei-vettämiskelpoinen ala: säätösalaojitus, tai yksiv. Monivuotisille kasveille		170 000	10	1,7
Yhteensä		270 000		2,7

Lopputilanne, jos realistisempi päästövähennys	ha	t CO₂ ekv./ha	Mt CO₂ ekv.
Yksivuotiset kasvit, jos niitä on vaikea siirtää pois turvemailta	40 000	35	1,4
Monivuotiset kasvit	90 000	25	2,25
Säättösalaajituksessa, monivuotisilla kasveilla	50 000	15	0,75
Hylättynä peltona (tiloja lopettaa, etäisyydet kasvavat)	15 000	16	0,24
Metsänä	15 000	18	0,27
Vetetty, monivuotiset kasvit	60 000	3	0,18
Yhteensä	27 0000		5,09
Alkutilanne miinus lopputilanne: Päästövähennys			2,56
Päästövähennys suhteessa alkutilanteen päästöihin			0,33
Jos 33 % turvepeltojen päästöistä vähennetään, päästövähennys Mt CO ₂ -ekv.			2,52
Päästövähennys-%, jos 2 Mt CO ₂ -ekv. päästövähennys			26,1 %

Tulokseksi saadaan, että turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjä voidaan alentaa enintään noin 3,8–3,9 Mt CO₂-ekv. Arvioitu realistisempi tavoitetaso voisi laskelman mukaan olla noin 2–2,5 Mt CO₂-ekv. päästövähennys. Tätä voi kuitenkin olla vaikea saavuttaa 2035 mennessä, koska esim. maksamattomat velat voivat tehdä vaikeaksi esim. viljan viljelyn lopettamisen tai siirtämisen kivennäismaille kaikilla maatalan turvepelloilla, tai maatalojen pellonhankinnan kivennäismaa-alueilta. Joka tapauksessa uudempi arvio vettämiskelpoisten turvemaiden alasta (100 000 ha; Räsänen ym. 2023), jota ei ollut tässä suuruudessa tiedossa esim. HERO-suunnitelmassa, johtaa aiempia arvioita suurempaan päästövähennyspotentiaaliin. Vettämisellä saavutettava vedenpinnan taso on kuitenkin epävarma. Siksi olisi tärkeää luoda viljelijöille kannustimet ja todentamismahdollisuudet veden pinnan ylläpitämiseen pellolla, sekä kasvukauden aikana että sen ulkopuolella, jolloin korkea vedenpinta ei haittaa peltotöitä. Lähivuosien tutkimus tuonee uutta tietoa näistä mahdollisuuksista.

Lähteet

- Lehtonen, H. (2022). Ruoantuotannon hiili-euro-ohjelma (HERO). Luonnonvarakeskuksen tekemä työ Maa- ja metsätalousministeriölle. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2022. 67 s. <https://mmm.fi/-/hiili-euro-ohjelma-linjaa-toimet-maatalouden-paastovahennystavoitteen-saavuttamiseksi>
- Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Räty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. (2021). Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 65/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 121 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-275-9>
- Lång, K., Aro, L., Assmuth, A., Haltia, E., Hellsten, S., Larmola, T., Lempinen, H., Lindfors, L., Lohila, A., Miettinen, A., Minkkinen, K., Nieminen, M., Ollikainen, M., Ojanen, P., Sarkkola, S., Sorvali, J., Seppälä, J., Tolvanen, A., Vainio, A., Wall, A. & Vesala, T. (2022). Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2022. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/04/ilmastopaneelin-raportti-2-2022-turvemaiden-kayton-vaihtoehdot-hiilineutraalissa-suomessa.pdf>
- Miettinen, A., Aakkula, J., Koikkalainen, K., Lehtonen, H., Luostarinen, S., Myllykangas, J.-P., Sairanen, A. & Silfver, T. (2022). Hiilineutraali Suomi 2035. Maatalouden lisätoimenpiteiden ja ruokavaliomuutoksen päästövähennysvaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 69 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-500-2>
- Räsänen, A., Kekkonen, H., Lehtonen, H., Miettinen, A., Wejberg, H., Kareksela, S., Tzemi, D., Aro, L., Kuningas, S., Louhi, P. & Ruuhijärvi, J. (2023). Euroopan unionin ennallistamisasetusehdotuksen luontotyyppi- ja turvemaatavoitteiden vaikutukset Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 1/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 76 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-586-6>

Liite 8. Lisätietoa uudistuvan ruokajärjestelmän toimenpidealueen ”Lisätään ravinteiden kierrätystä ja sivuvirtojen hyödyntämistä” arvioinnista.

Neitseellisten mineraalityypen ja fosforilannoitteiden käytön vähentämismahdollisuuksista maataloudessa typensitojakasvien, biokaasutuotannon ja ruokavalio-
muutosten keinoin

Heikki Lehtonen, Oiva Niemeläinen, Vesa Joutsjoki; Luonnonvarakeskus

Johdanto

Seuraavassa yritetään hahmottaa kierrätysravinteiden osuuden kasvua typpi- ja fosforiravinteiden käytössä erityisesti huomioiden kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioiden mukaiset muutokset maataloustuotannossa ja tuotantotavoissa. Ravinnekierron tehostaminen tarkoittaisi vähennystä nykyiseen väkilannoitetypen ja fosforin käyttöön. Fosforin osalta kierrätysfosforia, pääasiassa lantafosforia, on lähtötilanteessa 50–65 prosenttia fosforilannoitteen kokonaiskäytöstä. Typen osalta arviointi on hankalampi, kun hävikkikohtia on maataloustuotannossa enemmän. Väkilannoitetyypeä käytetään jotakuinkin saman verran kuin mitä sadon mukana pelloilta poistuu. Biologisen typensidonnan kautta typpeä voidaan lisätä peltoon. Biokaasun tuotannon lisääntymisellä on mahdollisuus kohentaa niin fosforin kuin typen kiertoa. Kun isoja lantaa hyödyntäviä biokaasulaitoksia syntyy, niin mahdollisuudet tuottaa niiden tuottamia N- ja P lannoitetuotteita kasvinviljelytiloilla käytettäväksi paranevat. Ruokavalioiden muuttuessa kasvispainotteiseen suuntaan kiertotalous- ja ruokavaliomuutoskenaarioissa, jossa rehuviljan ja -nurmen tarve ja viljely vähenevät, myös lannoituksen tarve ja lannan määrä muuttuvat. Nämä muutokset otetaan huomioon Luken DREMFA-sektorimallinnuksessa, joskin arvioihin sisältyy epävarmuuksia mm siltä osin, pysyvätkö ravinnehävikit entisellään. Tavoitteena on kuitenkin laskea arvio siitä, miten ravinnekierron tehostaminen eri tavoin vähentää neitseellisen (kaivoksista louhitun fosforin ja fossiilisten polttoaineiden energian avulla tuotetun typpilannoitteen), typen ja fosforin käyttöä maataloudessa ja kuvata ao. muutos prosentteina ja tonneina.

Aineistot ja typen ja fosforikierron alkutilanne

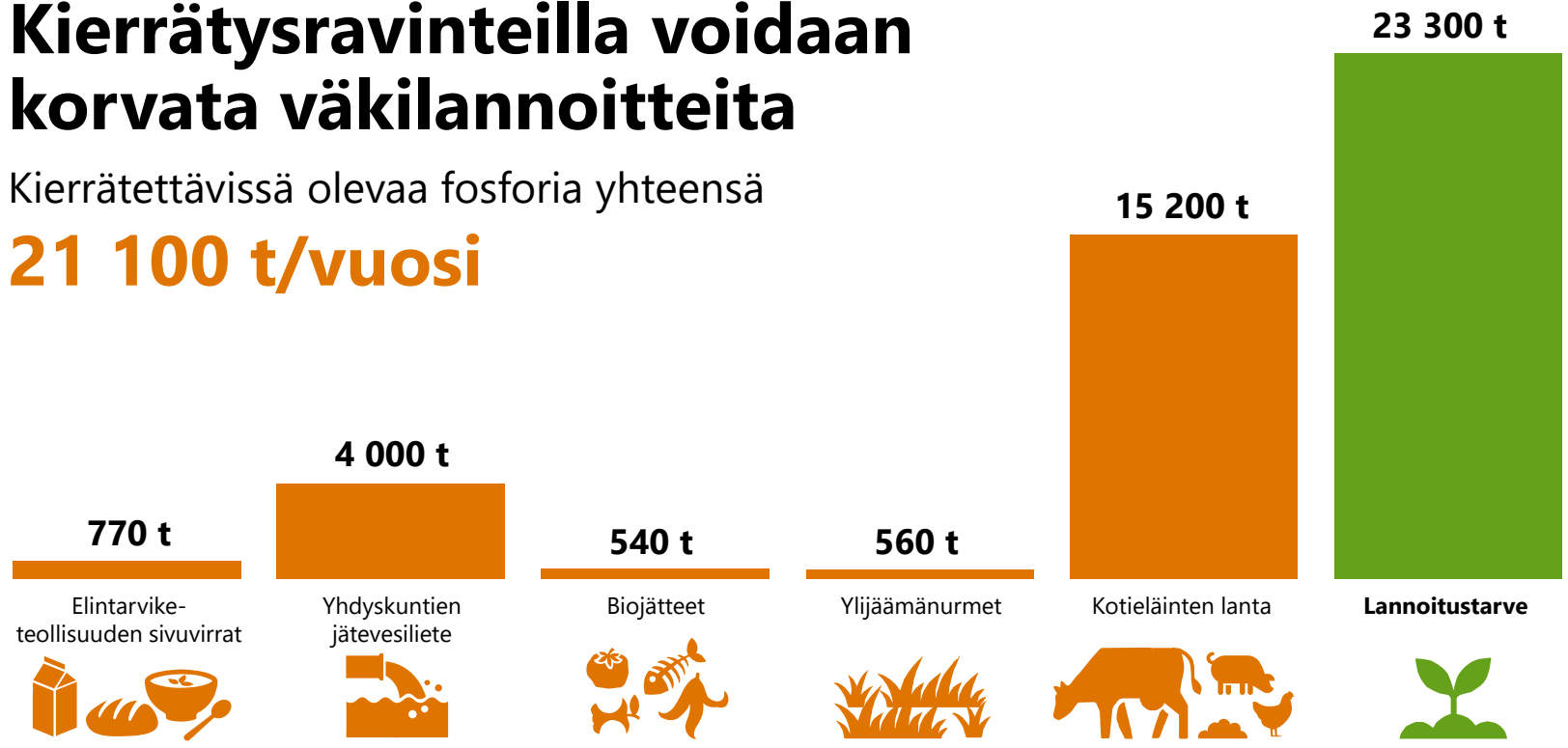
Luken NP- kaskadi aineistoista (Jyske ym., 2023) on saatavilla oheiset lähtötiedot fosforin ja typen osalta:

Kuvio 1. Fosforin kierto ja neitseellisen (uusiutumattoman) fosforin tarve Suomen maataloudessa. Lähde: Lemola ym., (2023, fosforinkiertokuva sivulla 48.)

Kierrätysravinteilla voidaan korvata väkilannoitteita

Kierrätettävissä olevaa fosforia yhteensä

21 100 t/vuosi



Kierrätettäväksi sopivan fosforin osuus kattaisi Suomen vuosittaisesta kasvintuotannon tarvitsemasta määrästä noin

90 %

Väkilannoitteiden mukana peltoon v. 2020



11 500 t fosforia

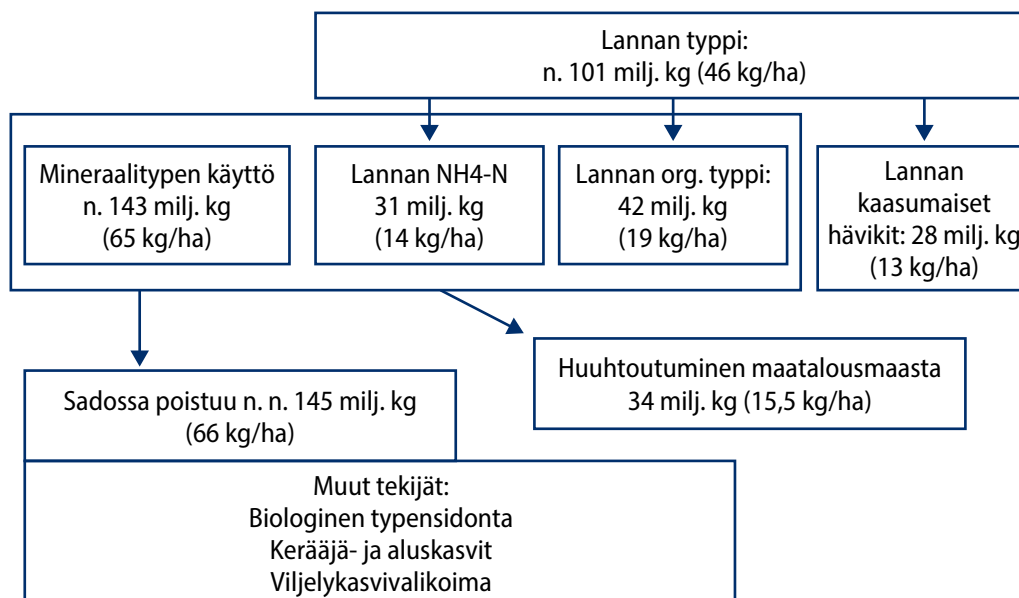
Fosforin tarve on vuosittain 23 300 tonnia. Koska lannassa on 15 200 tonnia fosforia, niin periaatteessa noin 65 % fosforilannoituksen tarpeesta olisi lannasta saatavilla (ilman hävikkejä ja paikoin positiivista peltotasetta eli lantafosforin epätasaista jakautumista Suomen pelloille). Väkilannoitteissa käytetty fosforikäyttö on 11 500 tonnia. Sen perusteella neitseellistä fosforia käytetään nykyisin noin 50 prosenttia lannoitustarpeesta ja noin 50 prosenttia on kierrätysfosforia. Niistä voidaan laskea väkilannoitekäytön vähennyksiä ja prosenttimuutoksia.

Jätevesilietteistä olisi saatavilla 4000 tonnia, elintarviketeollisuuden sivuvirrat 770 t, biojätteet 540 t, ylijäämänurmet 560 t, ja lanta 15 200 t eli yhteensä 21 100 t. Koska väkilannoite (11500 t) ja lannan fosforin (15200 t) yhteismäärä on 26 700 eli suurempi kuin lannoitustarve (23 300 t) niin nykyisten kierrätyskelpoisten fosforivarojen käyttöä tehostamalla on mahdollisuus vähentää neitseellisen mineraalifosforin käyttöä. Keskeistä on saada lannan fosfori enenevässä määrin kasvinviljelytilojen käyttöön.

Lannoitustarpeesta 23 300 tonnia eli kierrätysfosfori voisi periaatteessa kattaa noin 90 prosenttia.

Typen osalta kuvio on avoimempi, kun on hävikkejä mutta toisaalta biologisen typensidonnan mahdollisuus ja toisaalta mahdollisuus jossain määrin pienentää hävikkejä (Kuva 2). Suomen maatalouden typen kierron haasteita ovat selvittäneet Vainio ym., 2022.

Kuvio 2. Typen kierto ja sen tehostamismahdollisuuksia. Lähde: Ravinlaskuri-työkalu, Luonnonvarakeskus, 2023 (Lähde: Kärkkäinen, L. & Koljonen, S. (toim.) 2023, kuva sivulla 226).



Fossiilisen mineraalityypen käyttö on vuodessa n. 143 milj. kg (65 kg/ha) ja sadossa poistuu n. 145 milj. kg (66 kg/ha).

Lannassa on typpeä yhteensä 101 milj kg (46 kg/ha), josta liukoista typpeä 31 milj kg (14 kg/ha). Lannan orgaanista typpeä 42 milj. kg (19 kg/ha) ja kaasumaisia hävikkejä 28 milj. kg (13 kg/ha). Huuhtoutuminen maatalousmaasta on 34 milj. kg (15,5 kg/ha).

Liukoista typpeä on mineraalilannoitteista (143 milj.kg) ja lannasta (31 milj. kg) saadaan typpilannoitusta yhteensä 174 milj kg. Sadossa poistuu 145 milj. kg. Liukoisen typen ylijäämä on 9–49 milj. kg.

Typen ja fosforin vähennysprosenttien laskennassa perusluku väkilannoitetyypin ja fosforin tulevalle vähentämiselle on tällä päättelyllä aika selkeä ja varmaan jatkosakin tilastoista saatavissa: Fosforilla 11 500 tonnia ja typellä 143 000 tonnia. Niistä voidaan haarukoida muutoksia, minkä verran vähemmän käytettäisiin neitseellistä fosforia ja typpeä muuttuisipa niiden kokonaiskäyttö suuntaan tai toiseen. (Prosenttiluvun laskeminen sille, kuinka paljon kokonaiskäytöstä on kierrätysfosforia ja -typpeä, on hankalampaa).

Lähteinä edellisille mainittakoon Jyske ym. 2023, jossa on arvioitu kuinka paljon nykyisestä fosforia ja typen käytöstä on kierrätysfosforia ja kierrätys + biologisesti sidottua typpeä kokonaislannoitustarpeesta/käytöstä. Tässä käsillä olevassa työssä haasteena on arvioida, kuinka paljon kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa sadon mukana poistuvasta tuestä voidaan tuottaa systeemiin biologisella typen sidonnalla. Koska typen haihtumis- ja huuhtoutumishävikkiä ja sekä immobilisatiota aina syntyy, niin kokonaistarve on typelle vaikeasti arvioitavissa muille kuin mineraalilannoitteille.

Mahdollisuudet vähentää neitseellisen fosforin käyttöä:

- kotieläintilojen lannan fosforista enemmän kasvinviljelytiloille
- (yhdyskuntalietteiden fosfori on vaikeasti hyväksikäytettävässä muodossa, ja peltokäyttö rajoittaisi sadonkäyttöä (elintarviketeollisuus ei hyväksy)
- hyödyntämällä biokaasutusprosessissa laajaperäisesti viljeltyjä reservinurmialueita (maaperän fosforivarat ovat suuret, vaikka helposti käyttökelpoisen fosforin pitoisuus voi olla pieni. Sopii erityisesti alueille, joilla fosforin huuhtoutumisriskiä vesistöihin).

Mahdollisuudet vähentää fossiilisesti tuotetun typen käyttöä:

- typpeä bakteerien avulla sitovilla palkokasveilla voidaan korvata väkilannoitetypen ja lannan typen käyttöä erityisesti nurmirehun tuotannossa, koska rehunurmien pinta-alat ovat isoja ja lannoitusmäärät/ha samoin isoja. Palkokasvinurmilla on N-lannoitusta vähentävä jälkikasvuvaikutus seuraavalle kasville sekä virtsan typpipitoisuutta lisäävä vaikutus.
- viljojen palkokasvialus- ja kerääjäkasveja käyttämällä voidaan sitoa typpeä vähentämään seuraavan kasvukauden viljan typpilannoitusta (20–30 kg N/ha).
- Palkoviljojen esikasvivaikutus vähentää seuraavan kasvin N-lannoitusta n. 25 kg/ha (jota voisi mahdollisesti lisätä käyttämällä palkokasvialuskasvia palkoviljoillakin).
- Arvio neutseellisten N ja P-ravinteiden tarpeen vähenemisestä eri skenaarioissa

Haarukointia typpilannoituksen muutoksesta on tehty taulukoiden 1–3 laskelmien perusteella erilaisilla hehtaarialoilla ja N-määrillä hehtaaria kohti. Typpilannoituksen tarpeen muutos riippuu vahvasti siitä, miten typensitojakasvit voivat sitoa ilmakehän typpeä peltoon siten, että typpi on kasvien käytettävissä, ja siitä, kuinka suurilla pinta-aloilla typensitojakasveja voidaan käyttää aluskasveina viljan ja muiden yksivuotisten kasvien sekä nurmikasvien viljelyssä.

Typensidonnain lisääminen yksivuotisilla kasveilla

Erilaisten viljan ja muiden yksivuotisten kasvien yhteydessä viljeltävien aluskasvien ala on ollut Suomessa viime vuosina 100 000–150 000 ha. Käytettävissä ei ole aineistoja siitä, kuinka suuri on ollut palkokasvien osuus aluskasvialasta. Palkokasvien käyttö aluskasveina, ml. palkokasvien oleminen osana aluskasvien siemenseosta, on yleistä. Tällöin voidaan olettaa, että esim. noin kolmannes aluskasvialasta olisi lähtötilanteessa palkokasvia.

Taulukko 1. Arvioita typpilannoituksen tarpeen muutoksesta erilaisilla peltoon tyypeä sitovien aluskasvien viljelypinta-aloilla.

Typpilannoitusta vähentävä vaikutus (milj. kg N)			
Aluskasviala yhteensä, ja ala, jolla palkokasveja	Vähentävä vaikutus 20 kg N/ha	Vähentävä vaikutus 30 kg N/ha	Vähentävä vaikutus 50 kg N/ha
144 000 ha*, 50 000 ha	1	1,5	2,5
200 000 ha, 100 000 ha	2	3	5
250 000 ha, 125 000 ha	2,5	3,75	6,25
300 000 ha, 150 000 ha	3	4,5	7,5
400 000 ha, 200 000 ha	4	6	10
600 000 ha, 300 000 ha	5	9	15

*Vuoden 2022 aluskasviala, jolla 50 000 hehtaarilla oletetaan olevan palkokasvialuskasveja.

Herneen ja härkäpavun lisääminen vähentää niitä seuraavan viljelykasvien typpilannoitustarvetta noin 25 kg N/ha. Jos tyypeä sitovaa aluskasvia käytettäisiin näillä palkoviljoilla niin sen vaikutus vähentäisi seuraavan kasvin typpilannoitustarvetta 20 kg N/ha lisää.

Taulukko 2. Palkoviljojen viljelyalan lisäämisen vaikutus fossiilisten typpilannoitteiden käyttöön niitä seuraavilla kasveilla. Sekä vaikutus jos palkoviljoilla käytettäisiin tyypeä sitovia aluskasveja.

Typpilannoitusta vähentävä vaikutus (milj. kg N)				
Palkoviljojen viljelyala (ha)	Palkokasvi-aluskasveja palkoviljoilla (ha)	Palkoviljan vähentävä vaikutus 25 kg N/ha	Aluskasvin vähentävä vaikutus 20 kg N/ha	Vähentävä vaikutus yhteensä
41 000 ha*	0	1	0	1
41 000 ha	20 000	1	0,4	1,4
60 000 ha	40 000	1,5	0,8	2,3
80 000 ha	60 000	2	1,2	3,2

*Palkoviljojen viljelyala v. 2022. Aluskasveja ei nykyisin juuri käytetä.

Typpeä sitovien palkokasvien lisääminen rehunurmiin vähentäisi kasvukauden aikaista liukoisen typen käyttöä rehunurmilla 50–100 kg N/ha. Huomattava osa liukoisesta tpeestä tulee karjatiloilta lannasta. Jos nurmien tarvitsema typpi tuotettaisiin enenevästi biologisella typensidonnalla niin lannan typpeä voitaisiin käyttää enenevästi muiden kuin nurmikasvien käyttöön kasvinviljelytiloilla. Luomuviljelyssä palkokasvinurmia jo käytetään, joten luomunurmialan osalta typensäätövaikutusta ei olisi odotettavissa.

Taulukko 3. Palkokasviseosnurmien arvioitu typpilannoitusta vähentävä vaikutus (milj. kg) erilaisilla typensidontaoletuksilla.

Säilörehunurmiala (ha) (tavanomainen tuotanto)	Palkokasviseosnurmia (ha)	Typpilannoitusta vähentävä vaikutus (milj. kg N)		
		Palkokasvinurmen lannoitusta vähentävä vaikutus 50 kg N/ha	Palkokasvinurmen lannoitusta vähentävä vaikutus 75 kg N/ha	Palkokasvinurmen lannoitusta vähentävä vaikutus 100 kg N/ha
401 800 ha*	20 000	1	1,5	2
401 800 ha	50 000	2,5	3,75	5
401 800 ha	100 000	5	7,5	10
401 800 ha	132 500	7	8	13
401 800 ha	200 000	10	15	20

*401 800 ha säilörehunurmiala tavanomaisessa viljelyssä v. 2022.

Mahdolliseksi palkokasvinurmien alaksi olimme laskeneet 1/3 tavanomaisen viljelyn nurmialasta eli 132 500 ha (toiseksi viimeinen rivi taulukossa 2).

Uudistettaessa nurmia palkokasviseosnurmen jälkivaikutus alentaisi seuraavan kasvin typpilannoitusta n. 30 kg N/ha verrattuna heinänurmen lopettamiseen. Nurmet uudistetaan noin kolmen vuoden jälkeen. Typen säästövaikutus 200 000 hehtaarin palkokasvinurmien viljelyalalta olisi noin 2 milj. kg N/v.

Kiertotalousskenaariossa sekä aluskasvien että palkokasvien osuus kasvaa merkittävästi typen ravinnekierroksen tehostamiseksi. Kiertotalousskenaariossa oletetaan, että aluskasviala kasvaa asteittain 400 000 hehtaarin verran eli 550 000 vuoteen 2035 mennessä, ja tämä kasvu olisi vahvasti palkokasvipainotteista. Tällöin palkokasvien

muiden kasvien käyttöön tuottama typpi olisi 20 kg/ha vuodessa, jolloin väkilannoitteena annettavaa typpilannoitusta voidaan vähentää yhteensä 8 milj. kg. Tällöin aluskasveilla olisi yli puolet vilja-alasta, koska rehuviljan ala vähenee ruokavaliomuutoksen (kiertotalousskenaario; punaisen lihan kulutus -33 % ja maitotuotteiden 20 % 2020–2035) vuoksi rehuntarpeen vähentyessä noin 20 %. Rehuviljan kysynnän lasku 2020–2035 korvautuu osin leipäviljan, kauran ja elintarvikkeeksi tuotettavien palkoviljojen alan kasvulla, mutta samanaikaisesti rehuksi tuotettavien palkoviljojen ala vähenee eläinmäärien vähentyessä. Tällöin vilja-ala vähenisi alkutilanteen runsaasta miljoonasta hehtaarista runsaaseen 900 000 hehtaariin.

Samansuuruinen aluskasvialan muutos (150 000 hehtaarin tasolta 550 000 hehtaarin tasolle vuoteen 2035 mennessä) voidaan olettaa myös hiilineutraalisuusskenaariossa. Siinä ruokavaliomuutos johtaa myös siipikarjanlihan kulutuksen vähenemisen 33 % vuoteen 2035 mennessä, jolloin vilja-ala vähenee yhteensä runsaaseen 800 000 hehtaarin tasolle. Tämän suuruisen pellonkäyttömuutos laskettiin samankaltaisilla ruokavaliomuutoksilla aiemmin Miettinen ym. (2022). Koska kaikelle viljanviljelylle typpipitoiset aluskasvit eivät eri syistä sovellu (esim. mallasohran noin 60 000 ha laajuinen tuotanto, jossa kasvien typen saannin täytyy olla rajattua ja säännösteltyä, vahva aluskasvikasvusto voi aiheuttaa ongelmia myös puinnille), ei ole realistista olettaa typensitoja-aluskasvien käyttöä koko viljan tai muiden yksivuotisten viljelyn alalla. Maaperän ominaisuudet ja kasvukunto määrittävät pitkälti myös pellolle soveltuvat viljelytekniikat ja käytettävät viljelypanokset (Vainio ym., 2022). Viljelijöille aiheutuu aluskasvien käytöstä paitsi hyötyjä maan rakenteelle ja veden ja ravinteiden pidätyskyvylle, myös kustannuksia kylvösiementen ja kylvötyön osalta. Hiilineutraalisuusskenaariossa tavoiteltu 550 000 ha palkokasviala aluskasveina yksivuotisille kasveille olisi noin 2/3 viljan kokonaisalasta, jota voidaan pitää haastavana tavoitteena em. syistä. Siksi näin suuren vahvasti palkokasvipainotteisen aluskasvialan saavuttaminen vaatii lisäkannustimia.

Typensidonnann lisääminen nurmikasvien viljelyssä

Nurmikasvien viljelyssä käytetään jo ennestään erilaisia typensitojakasveja joko puhtaina kasvustoina tai osana nurmisiemenseosta, ja apilanurmiseosten viljelyalaksi on aiemmissa tutkimuksissa arvioitu runsaat 100 000 ha (Lehtonen & Niskanen, 2016). On myös todettu, että kaikki rehunurmi ei sovellu apilapitoisten kasvien alaksi mm. lannanlevitykseen liittyvien syiden vuoksi (Lehtonen & Niskanen, 2016). Typensitojakasvit eivät pärjää kilpailussa elintilasta muiden kasvien kanssa, jos typpilannoitustaso on korkea. Siksi vahvasti apilapitoisille nurmille käytetään ja suositellaan alhaista noin 50 kg N/ha (liukoista typpeä) lannoitustasoa. Koska lannan typpi on joka tapauksessa pelloille levitettävä, se rajaa vahvasti apilapitoisten ja muiden typensitojakasvien käyttöä rehunurmilla.

Näiden syiden vuoksi oletetaan, että kiertotalousskenaariossa niiden rehunurmiseosten, joissa on runsaasti typensitojakasveja, jotka tuottaisivat muiden kasvien käyttöön liukoista kasveille hyödynnettävää typpeä noin 100 kg N/ha, viljelyala olisi noin 300 000 ha vuonna 2035 (kasvua 200 000 ha lähtötilanteesta). Tällöin väkilannoitetyypen käytön tarve vähenisi 20 milj. kg.

Hiilineutraalisuusskenaariossa niiden rehunurmiseosten, joissa on runsaasti typensitojakasveja, jotka tuottaisivat muiden kasvien käyttöön liukoista kasveille hyödynnettävää typpeä noin 100 kg N/ha, viljelyala olisi noin 360 000 ha vuonna 2035 (kasvua 260 000 ha lähtötilanteesta). Tällöin väkilannoitetyypen käytön tarve vähenisi 26 milj. kg. hiilineutraalisuusskenaariossa väkilannoitetta nurmialaa olisi siis 60 000 ha vähemmän kuin kiertotalousskenaariossa, ja tämän muutoksen aikaansaamiseen tarvitaan myös lisäkannustimia, esim. lisätuki alhaisen lannoitustason nurmille, tai lannoitevero, joka kannustaa lisäämään apilapitoisia nurmia entisestään.

Erytisesti on huomattava, että molemmissa skenaarioissa kolminkertaiseksi kasvavan vahvasti typensitojakasveja sisältävien nurmiseosten viljelyalan kasvattaminen ei onnistu aivan helposti, vaan se edellyttää mm. lietelannan tai biokaasun mädäytysjäännöksen sijoituslevitystä peltoon niin, että nurmikasvusto (erit. apilan kasvupiste, ns. juuren niska) ei vaurioidu. Suurempi apilanurmiseosten ala on kuitenkin mahdollista saavuttaa, koska nautakarjan väheneminen runsaat 20 % perusuran tasoa alemmaksi todennäköisesti johtaa laajaperäisempään nurmiviljelyyn. Tämä tarkoittaa pienempää lannoitteiden käyttöä ja rehusatoa hehtaaria kohden, mikä on taloudellisesti järkevää, koska maataloustuen ehdot saa täytettyä melko pienillä kustannuksilla rehunurmista. Pellon tarpeen vähentyessä osa pelloista siirtyy kesannoiksi (Miettinen ym., 2022).

Nurmen viljely voi laajaperäistyä molemmissa skenaarioissa, etenkin jos peltoalatuot eivät olennaisesti vähene, ja lisäksi laiduntamiseen ja laajaperäisiin matalan lannoitustason nurmiin kannustetaan. Jos luomutuotannon osuus märehittäjätuotannossa kasvaa (tälle ei ole asetettu erillistä tavoitetta kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioissa), typensitojakasvien käytön saavuttaminen helpottuu, koska luomutuotannossa typensitojakasvit nurmilla (rehunurmet, viherlannoitusnurmet ja kesannot) ovat hyvin keskeinen typpilannoituksen muoto, ja myös lannanlevitys on suunniteltu niin, että typensitojakasvit menestyvät.

Edellä mainitut tavoitetasot typensitojakasvien käytössä nurmilla voidaan saavuttaa osin myös viherlannoitusnurmien ja apilaa ja muita typensitojakasveja sisältävillä kesannoilla. Näitä voidaan viljellä kaikilla maatiloilla, ei vain niillä maatiloilla, joilla on nurmea käytäviä eläimiä. Suomen CAP-suunnitelmassa vuosille 2023–2027

on kannustimia viherlannoitusnurmille, saneerauskasveille (joissa voi olla mukana typensitojakasveja) ja erilaisille kesannoille. Tämä helpottaa ym. tavoitetasojen saavuttamista typensidonnassa.

Yhteenveto biologisesta typensidonnasta

Yhteensä aluskasveista yksivuotisilla kasveilla ja rehunurmilla koituisi kiertotalousskenaariossa 28 milj. kg vähennys keinolannoitetyypen käyttöön, ja hiilineutraalisuusskenaariossa noin 34 milj. kg vähennys vuoteen 2035.

Biokaasutuotannon kautta tehostuva ravinnekierto

Julkaisussa Miettinen ym. (2022) tarkasteltiin ja mallinnettiin biokaasutuotannon laajenemista osana maatalouden kokonaisuutosta, johon myös ruokavaliomuutokset vaikuttavat. Oletuksena oli ensisijaisesti kotieläintilojen yhteydessä toimiva biokaasun tuotanto, jossa käytetään syötteenä lantaa ja sitä täydennetään nurmi-biomassalla, jota tuotetaan apilasekoitteisilla nurmilla ilman fossiilisin panoksin tuotettua väkilannoitetyyppeä. Typpi kiertää biokaasujärjestelmän sisällä niin, että apilaopitoisia nurmia osin lannoitetaan mädätysjäännöksillä biokaasuprosessista.

Vuotuiset kotieläintuotannon lannan ja sen ravinteiden määrät laskettiin Suomen normi-lantajärjestelmän tuottaman lantatiedon ja DREMFA-mallin tuottamien eläinmäärien tuloksena tarkasteluvuosittain Taulukko 4) (Miettinen ym., 2035).

Taulukko 4. Vuotuiset kotieläintuotannon lannan ja sen ravinteiden määrät Suomen normi-lantajärjestelmän tuottaman lantatiedon ja DREMFA-mallin tuottamien eläinmäärien tuloksena tarkasteluvuosittain HIISI-WAM-ruokavaliomuutoskenaariossa (vastaa hiilineutraalisuusskenaariota). Lähde: Miettinen ym., 2022.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Lantamäärä (1 000 tonnia)	13 682	12 469	11 660	11 149	10 087	9 812	9 262
Kokonaistyyppi (tonnia)	75 319	72 909	70 415	68 327	64 381	62 733	59 642
Kokonaisfosfori (tonnia)	15 902	16 009	15 406	14 872	13 966	13 658	13 030

Eri lantojen osuudet biokaasutuotantoon toteutettiin asiantuntija-arviona tarkasteluvuosille (ibid). Nurmen oletettiin olevan heinäapilaseosta, jotta sen tuotannossa tarvittava typpilannoitus on maltillinen (78 kg N/ha). Vuotuiseksi satotasoksi arvioitiin 5 550 kg kuiva-ainetta (ka 26 %) ja sadon typen pitoisuudeksi 11,02 g/kg ja fosforin pitoisuudeksi 0,693 g/kg. Metaanintuottopotentialina käytettiin arvoa 290 m³ CH₄/t orgaanista ainetta (VS) (Miettinen ym. 2022). Laskenta vastaa maatalouden ilmastotiekartan menetelmää (Lehtonen ym. 2020).

Biokaasun tuotannossa lantaa täydentävän nurmirehun tuottaminen biokaasuprosessin syötteenä vaatii apilapitoista nurmialaa noin 40 000 ha kiertotalousskenaariossa ja 45 000 ha hiilineutraalisuusskenaariossa vuoteen 2035 mennessä ja noin 50 000 ha vuoteen 2035 mennessä. Erikseen on tarkistettu, että peltoala riittää tähän, koska nautaeläinten kokonais määrä vähenee vähitellen lehmien keskituotoksen kasvaessa, ja voimakkaammin jos ruokavaliot muuttuvat kasvispainotteisempaan suuntaan (Miettinen ym., 2022). Apilanurmista biokaasuprosessiin saatava typpi ei ole mukana edellä esitetyissä typensidontalaskelmissa, vaan näiden 40 000 ha ja 45 000 ha alalta saatava typpi kierrätetään ja muuttuu biokaasujärjestelmässä, jossa typpitoinen neste osin levitetään sijoituslevityksenä nurmille ja osin käytetään uusiutuviin lannoitusvalmisteisiin, joita riittää myös kasvitiloille myytäväksi. Samoin biokaasujärjestelmässä biokaasuprosesseineen ja viljelysmaineen kierrättää fosforia osin biokaasujärjestelmän sisällä ja osin sitä liikenee myytäväksi kasvitiloille.

Kiertotalousskenaariossa biokaasutoiminta kaikkineen tuottaa kasvitiloille myytäväksi typpilannoitteita noin 5,6 milj. kg N vuodessa, ja hiilineutraalisuusskenaariossa, jossa lantamäärä jää kiertotalousskenaariota vähäisemmäksi, noin 5,1 milj. kg vuodessa vuoteen 2035 mennessä. Fosforia voidaan myydä ulos biokaasujärjestelmästä kiertotalousskenaariossa noin 1,2 milj. kg ja hiilineutraalisuusskenaariossa noin 1,1 milj. kg vuoteen 2035 mennessä.

Typen ja fosforin kierron lisäämisen lisäksi maatalouden biokaasutuotanto tuottaa luonnollisesti myös energiaa, joka on esitetty oletuksineen taulukossa 5. Vuoteen 2035 mennessä päästään hiilineutraalisuusskenaariossa (jossa hyvin pitkälle samat oletukset mm. ruokavaliomuutoksesta kuin taulukon 5 taustalla olevissa Miettinen ym. 2022 tekemissä laskelmissa) noin 1,5 TWh tasolle hyödynnettävän kokonaisenergian tuotannossa. Kiertotalousskenaariossa, jossa ruokavaliomuutos ja siten lantaa korvaavan nurmisyötteen määrä biokaasuksi on hieman vähäisempi, päästään likimain samaan.

Taulukko 5. Lannasta ja nurmesta tuotetun energian jakautuminen eri energiamuotoihin tarkasteluvuosittain hiilineutraalisuusskenaariossa. Lähde: Miettinen ym., 2022.

TWh	2020	2025	2030	2035	2 040	2045	2050
Yhteensä	0,252	0,531	1,077	1,546	1,802	2,008	2,225
Sähkö*	0,053	0,112	0,226	0,325	0,378	0,422	0,467
Lämpö**	0,076	0,159	0,323	0,464	0,541	0,602	0,668
Biometaani***	0,099	0,208	0,422	0,606	0,707	0,787	0,872

* 60 % energiasäällöstä CHP-tuotantoon, hyötysuhde sähkölle 35 %.

** 60 % energiasäällöstä CHP-tuotantoon, hyötysuhde lämmölle 50 %.

*** 40 % energiasäällöstä liikenne- tai teolliseksi kaasuksi, hyötysuhde 98 %.

Ruokavaliomuutoksen kautta toteutuva lannoitustarpeen väheneminen

Kiertotalous- ja hiilineutraalisuusskenaarioiden ruokavaliomuutokset johtavat rehu- kasvien viljelyn ja siten lannoituksen tarpeen vähenemiseen seuraavasti. Kiertotalous- skenaariossa väkilannoitetyypin tarve vähenee noin 5,5 % eli noin 7,9 milj. kg ja hiilineutraalisuusskenaariossa noin 7 % eli 10 milj. kg vuoteen 2035. Nämä arviot perustuvat tutkimuksen Miettinen ym. (2022) yhteydessä tuotettuihin tuloksiin.

Fosforilannoitukseen ruokavaliomuutoksilla on korkeintaan suhteellisesti saman- suuruinen vaikutus kuin typpilannoitukseen. Etenkin sian- ja siipikarjanlihaa tuotta- villa tiloilla lisäfosforia ei yleensä tarvita, koska rehujen ja varsinkin usein ostettujen valkuaisrehujen (joita tuodaan maahan erityisesti broilerin alkukasvatuksessa tar- vittavana soijana, kun taas sikataloudessa tuontisoijaa on korvattu ja tullaan korvaa- maan kotimaisilla palkoviljoilla) mukana lantaan kertyy fosforia jopa enemmän kuin peltojen lannoitukseen tilalla olisi tarpeen. Merkittävä osa rehuviljasta tuotetaan kuitenkin kasvitiloilla, jotka käyttävät pääosin yhdistelmälannoitteita, joissa fosforia samoin kuin muita ravinteita (usein kalium) on kiinteässä suhteessa tyypeen. Ruo- kavaliomuutos ja rehutarpeen väheneminen vaikuttaisi ensi sijassa tuotantoon ja lannoitukseen kasvitiloilla. Jos oletetaan, että fosforilannoitus niillä alenee samassa suhteessa kuin tyyppien tarve, voidaan arvioida, että fosforilannoitus alenee ruokava- liomuutoksen vuoksi kiertotalousskenaariossa enintään 5,5 % (0,62 milj. kg) ja hiili- neutraalisuusskenaariossa enintään 7 % (0,79 milj. kg).

Yhteenveto lannoitustarpeen muutoksista

Kiertotalousskenaariossa edellä mainituilla toimilla, biologinen typensidonta, biokaasutuotanto ja ruokavaliomuutokset, päästään yhteensä noin 41 milj. kg (-29 %) vähennykseen väkilannoitetyypen käytössä ja 1,8 milj. kg (-16 %) vähennykseen neitseellisen fosforilannoitteen käytössä vuoteen 2035 (Taulukko 4). Hiilineutraalisuusskenaariossa vastaavat vähenemät ovat 49 milj. kg (-34 %) ja 1,89 milj. kg (-17 %).

Fosforin osalta päästään suhteellisesti pienempään neitseellisten ravinteiden käytön vähenemiseen, koska suurin osa fosforista on maatalouden sisällä kiertävää fosforia, eikä biokaasutuotannon mittakaavaa ole helppo kasvattaa esitettyä suuremmaksi nopealla aikataululla vuoteen 2035 mennessä mm. kannattavuushasteiden vuoksi. Osin fosforikiertoa voidaan tehostaa myös lietalannan jakeistamisella, jossa fosfori saadaan erilleen ja voidaan kohdentaa lannoitteeksi vastaamaan tarkemmin kasvien ravinnetarpeita (Kässi ym., 2013; Seppälä ym., 2014). Pelkkä lietalannan jakeistaminen ei kuitenkaan johda lantatypen käytön tehostamiseen. Lietalannan jakeistaminen voi kuitenkin olla kannattava neitseellisen fosforin hintojen noustessa. Se voi tuottaa kohtuukustannuksella myös kuivikemateriaalia, jolle on tarvetta kuiviketurpeen käytön vähentyessä (Manni ym., 2023). Jos melko nopea biokaasun tuotannon kasvu jää vähäisemmäksi kuin edelle on oletettu, fosforin kiertoa voi tehostaa myös lietalannan jakeistamista lisäämällä niin, että päästään arvioituun fosforikierron tehostamiseen.

Edellä esitettyjen tyyppien ja fosforin käytön ja kierrätyksen ansiosta maatalouden ostamien teollisten (tyypen valmistus fossiilisella energialla ja) lannoitteiden kokonaisarvo vähenee (taulukko 6). Vähenemiseen suuruuden arvioinnissa on kuitenkin epävarmuutta, koska ei ole olemassa tarkkoja tilastoja siitä, kuinka paljon kutakin kasviraavinnettä (esim. N, P, K, S, B) myydään teollisissa lannoitevalmisteissa viljelijöille, ja millä keskimääräisellä hinnalla kutakin ravinnettä myydään. Suomessa myydään useita kymmeniä erilaisia teollisia lannoitteita. Tilastokeskuksen Maatalouden tuotantovälineiden ostohintaindeksissä (<https://www.stat.fi/tilasto/ttohi>) viljelijöille myydyt lannoitteet jaetaan seuraaviin alaryhmiin: Sekoittamattomat lannoitteet, typpilannoitteet, yhdistelmälannoitteet, NPK-lannoitteet, ja muut lannoitteet ja maanparannusaineet. Näistä tyyppiä sisältävät erityisesti typpilannoitteet, yhdistelmälannoitteet, NPK-lannoitteet, joissa typi on keskeisin ravinne.

Taulukko 6. Väkilannoitustarpeen (alkutilanteessa N: 143 milj. kg, P: 11,3 milj. kg) väheneminen eri skenaarioissa eri toimenpidekokonaisuuksien vaikutuksesta ja yhteensä eri skenaarioissa.

Kiertotalousskenaario	1 000 tonnia	
	typpi	fosfori
Biologinen typensidonta	28	
Biokaasu	5,6	1,2
Ruokavaliomuutos	7,9	0,62
Yhteensä	41,5	1,82
%-vähennys keinolannoitteiden tarpeessa	29,0 %	16,1 %

Hiilineutraalisuusskenaario		
Biologinen typensidonta	34	
Biokaasu	5,1	1,1
Ruokavaliomuutos	10	0,79
Yhteensä	49,1	1,89
%-vähennys keinolannoitteiden tarpeessa	34,3 %	16,7 %

Tässä selvityksessä laskettiin edellä arviot typen ja fosforin myynnin kokonaisarvosta viljelijöille eri skenaarioissa. Muiden ravinteiden käytön muutoksia ei arvioitu. Typen ja fosforin käytön kokonaisarvon muutoksista voidaan kuitenkin karkeasti arvioida lannoitemyynnin kokonaisarvon muutosta eri skenaarioissa asettamalla arviot, painokertoimet typen ja fosforin kokonaisarvolle. Toisin sanoen koko lannoitemyynnin arvo voidaan jakaa typen ja fosforin kesken eri painokertoimilla, ja olettamalla, että ne säilyvät samoina. Laskemalla Taulukossa 7 esitetyllä tavalla lannoitteiden kokonaisarvon muutokset eri painokertoimilla, voidaan havaita, että jos kaikki lannoitemyynnin arvo jaetaan typen ja fosfori kesken, saadaan erilaisia arvoja lannoitteiden kokonaismyynnille eri skenaarioissa.

Taulukko 7. Lannoitteiden kokonaismyynnin arvon arvioitu suhteellinen muutos 2035/2015, kun typen arvo-osuus lannoitteiden hinnoissa vaihtelee välillä 0,6–0,9 ja fosforin 0,1–0,4. On syytä olettaa, että typen osuus lannoitemyynnin kokonaisarvosta on selvästi yli 50 %.

N painokerroin	P painokerroin	kiertotalous- skenaario	hiilineutraalisuus- skenaario
0,6	0,4	1,08	1,03
0,7	0,3	1,06	1,01
0,8	0,2	1,05	0,99
0,9	0,1	1,03	0,96

Esimerkiksi typen arvo-osuudella 0,7 ja fosforin arvo-osuudella 0,3 saadaan tulokseksi, että kiertotalousskenaariossa lannoitemyynnin kokonaisarvo kasvaa 6 %, ja 1 % hiilineutraalisuusskenaariossa vuodesta 2015 vuoteen 2035. Taulukosta 7 havaitaan, että epävarmuus typen ja fosforin arvo-osuuksissa lannoitteissa ei aiheuta erityisen suurta epävarmuutta koko lannoitemyynnin arvon muutoksessa vuodesta 2015 vuoteen 2035.

Lähteet

- Jyske, T., Rasa, K., Korkalo, P. ja Kohl, J. (2023). Kaskadivisio: Alueellisesti mukautuva biokiertoalustus – kaskadiprosessoinnilla biomassoista lisäarvoa, hyvinvointia ja resurssiviisautta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 28 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-608-5>
- Kärkkäinen, L. & Koljonen, S. (toim.) (2023). Arvio EU:n biodiversiteettistrategian 2030 vaikutuksista Suomessa (2. painos). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 359 s. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/553259>
- Kässi, P., Lehtonen, H., Rintamäki, H., Oosträ, H., Sindhöj, E. (2013). Economics of manure logistics, separation and land application. Knowledge report, Baltic Manure WP 3 Innovative technologies for manure handling: 33 p. <https://core.ac.uk/download/pdf/52249098.pdf>
- Lehtonen, H. & Niskanen, O. (2016). Promoting clover-grass: Implications for agricultural land use in Finland. Land Use Policy 59: 310–319. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.005>

- Lemola, R., Uusitalo, R., Luostarinen, S., Tampio, E., Laakso, J., Lehtonen, E., Skyttä, A. & Turtola, E. (2023). Fosforin kierrätyksen tarve ja potentiaali kasvintuotannossa: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 10/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 56 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-612-2>
- Manni, K., Högel, H., Saastamoinen, M., Frondelius, L. & Huuskonen, A. (2023). Kuivikeselvitys: Kuiviketilanteen nykytilan tarkastelu ja lähitulevaisuuden kehitysnäkymien arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 85/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 97 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-778-5>
- Miettinen, A., Aakkula, J., Koikkalainen, K., Lehtonen, H., Luostarinen, S., Myllykangas, J-P., Sairanen, A. & Silfver, T. (2022). Hiilineutraali Suomi 2035. Maatalouden lisätoimenpiteiden ja ruokavaliomuutoksen päästövähennysvaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 69 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-500-2>
- Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winqvist, E., Luostarinen, S. & Paavola, T. (2014). Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. Bionurmi-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 151: 97 p.
- Vainio, E. (toim.). (2022). Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 68 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-458-6>

Liite 9. Avaintoimialojen tunnusluvut

Taulukko 1. Suomen kansantalouden avaintoimialojen elinkaariset vaikutukset valittujen indikaattoreiden osalta vuonna 2019.

Toimiala	ETOL	Raaka-aineiden käyttö Mkg	KHK-päästöt Mkg CO ₂ -ekv.	Maan- käyttö km ²	Luontokato (PDF) indeksi	Arvon- lisäys M€
Massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistus	171	50 359	10 384	101 210	10,7	9 292
Talonrakentaminen ym.	41	74 983	9 525	39 330	4,3	22 369
Asuntojen vuokraus ja hallinta	682	19 318	10 203	32 470	4,5	28 935
Metsänhoito	021	38 127	402	177 481	19,0	2 933
Varsinainen kotieläintalous	014a	15 234	6 825	24 416	6,5	1 805
Jalostettujen öljytuotteiden valmistus	192	24 990	17 214	657	0,1	1 781
Maa- ja vesirakentaminen ym.	42	149 247	3 553	6 424	0,8	7 758
Raudan, teräksen ja rautaseosten valmistus	241	74 808	7 634	1 639	0,2	2 348
Muu kauppa	46c	5 775	3 264	17 864	2,1	18 317
Sähkön tuotanto	35a	16 883	9 498	7 840	0,9	5 335
Puun sahaus, höyläys ja kyllästys	161	13 117	1 004	84 571	9,0	2 904
Kaukolämmön ja kylmän tuotanto	35b	12 045	8 697	13 399	1,5	1 738
Teurastus, lihan säilyvyyskäsittely ja lihatuotteiden valmistus	101	5 906	3 387	10 481	2,2	1 946
Tieliikenteen tavarankuljetus, putkijohtokuljetus	494	3 736	5 701	1 316	0,2	5 363
Ilmaliikenne	51	2 035	5 329	835	0,1	1 691
Kasvinviljely	011a	7 176	2 963	13 260	3,7	805
Puutuotteiden valmistus	162	5 380	944	26 325	2,7	2 064
Betoni-, kipsi- ja sementtituotteiden valmistus	236	37 265	1 260	672	0,1	1 145
Metsien nettokasvu	025	0	0	43 493	3,9	580
Metallimalmien louhinta	07	34 636	683	358	0,1	841
Soran, hiekan ja saven otto	08b	36 752	176	435	0,1	448

Liite 10. Maakuntien raaka-aineiden käyttö ja kulutus vuonna 2015.

Ahvenanmaa

- BKT 1 400 M€
- Väestö 28 950
- Pinta-ala 13 324 km²

Taulukko 1. Ahvenanmaan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	67	286	353	21,8	0,48	0,54
Julkinen kulutus	37	49	86	5,3	0,37	0,60
Investoinnit	60	223	283	17,5	0,92	2,49
Alueen loppukäyttö	164	558	722	44,7	0,57	0,96
Vienti	374	520	894	55,3	0,81	2,04
Yhteensä	538	1 078	1 616	100,0	0,68	1,25

Taulukko 2. Ahvenanmaan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	92	165	79	67	13	98
Raakapuu	137	134	102	64	35	70
Fossiiliset polttoaineet	0	259	0	156	0	102

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Metallimalmit	0	112	0	48	0	64
Teollisuusmineraalit	0	40	0	21	0	18
Rakennusmineraalit	0	35	0	19	0	16
Maa- ja kiviainekset	309	334	193	145	116	189
Yhteensä	538	1 078	374	520	164	558

Etelä-Karjala

- BKT 4 742 M€
- Väestö 131 460
- Pinta-ala 6 872 km²

Taulukko 1. Etelä-Karjalan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	273	1 237	1 510	9,8	0,57	0,54
Julkinen kulutus	301	407	708	4,6	0,61	0,60
Investoinnit	1 830	1 411	3 241	21,1	3,43	2,49
Alueen loppukäyttö	2 404	3 056	5 459	35,5	1,15	0,96
Vienti	3 122	6 783	9 904	64,5	2,94	2,04
Yhteensä	5 526	9 838	15 363	100,0	1,89	1,25

Taulukko 2. Etelä-Karjalan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnon- kasvit ja -eläimet	200	566	159	168	40	398
Raakapuu	1 468	3 299	1 298	3 007	170	292
Fossiiliset polttoaineet	51	1 624	50	1 264	1	359
Metallimalmit	0	829	0	604	0	225
Teollisuusmineraalit	19	193	18	117	0	76
Rakennusmineraalit	1 166	247	1 165	199	1	48
Maa- ja kiviainekset	2 623	3 081	431	1 423	2 191	1 657
Yhteensä	5 526	9 838	3 122	6 783	2 404	3 056

Etelä-Pohjanmaa

- BKT 5 858 M€
- Väestö 197 807
- Pinta-ala 13 998 km²

Taulukko 1. Etelä-Pohjanmaan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	723	1 741	2 464	15,5	0,66	0,54
Julkinen kulutus	594	449	1 043	6,6	0,57	0,60
Investoinnit	2 391	850	3 241	20,4	2,48	2,49
Alueen loppukäyttö	3 709	3 040	6 749	42,5	0,98	0,96
Vienti	5 543	3 580	9 123	57,5	2,78	2,04
Yhteensä	9 252	6 620	15 871	100,0	1,56	1,25

Taulukko 2. Etelä-Pohjanmaan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnon- kasvit ja-eläimet	1 011	1 362	812	775	199	587
Raakapuu	1 439	841	1 089	407	350	434
Fossiiliset polttoaineet	567	1 205	673	614	-105*	591
Metallimalmit	0	1 268	0	939	0	328
Teollisuusmineraalit	0	288	0	157	0	131
Rakennusmineraalit	81	179	79	88	1	91
Maa- ja kiviainekset	6 153	1 477	2 890	599	3 263	878
Yhteensä	9 252	6 620	5 543	3 580	3 709	3 040

*Negatiiviset arvot liittyvät varastojen muutoksiin (luku 2.2.1)

Etelä-Savo

- BKT 4 234 M€
- Väestö 142 184
- Pinta-ala 19 130 km²

Taulukko 1. Etelä-Savon talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	706	1 265	1 972	19,1	0,65	0,54
Julkinen kulutus	549	330	879	8,5	0,62	0,60
Investoinnit	1 970	369	2 338	22,6	3,42	2,49
Alueen loppukäyttö	3 225	1 964	5 189	50,2	1,01	0,96
Vienti	4 235	914	5 148	49,8	3,11	2,04
Yhteensä	7 460	2 878	10 338	100,0	1,53	1,25

Taulukko 2. Etelä-Savon raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	276	510	194	91	82	419
Raakapuu	3 434	430	2 971	172	463	258
Fossiiliset polttoaineet	90	531	91	173	-1*	358
Metallimalmit	0	318	0	132	0	185
Teollisuusmineraalit	43	141	39	54	4	87
Rakennusmineraalit	184	112	154	53	30	59
Maa- ja kiviainekset	3 432	835	785	238	2 647	597
Yhteensä	7 460	2 878	4 235	914	3 225	1 964

*Negatiiviset arvot liittyvät varastojen muutoksiin (luku 2.2.1)

Kainuu

- BKT 2 085 M€
- Väestö 75 722
- Pinta-ala 24 451 km²

Taulukko 1. Kainuun talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	286	712	999	8,8	0,68	0,54
Julkinen kulutus	265	199	464	4,1	0,58	0,60
Investoinnit	1 145	254	1 400	12,4	2,82	2,49
Alueen loppukäyttö	1 696	1 166	2 862	25,4	1,03	0,96
Vienti	7 813	614	8 426	74,6	9,20	2,04
Yhteensä	9 509	1 779	11 288	100,0	3,06	1,25

Taulukko 2. Kainuun raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnon- kasvit ja -eläimet	85	306	73	60	12	246
Raakapuu	1 663	303	1 441	103	222	199
Fossiiliset polttoaineet	66	314	64	111	2	202
Metallimalmit	4 119	177	4 186	75	-67*	101
Teollisuusmineraalit	476	74	479	31	-3	43
Rakennusmineraalit	155	99	142	66	14	34
Maa- ja kiviainekset	2 945	508	1 429	167	1 516	340
Yhteensä	9 509	1 779	7 813	614	1 696	1 166

*Negatiiviset arvot liittyvät varastojen muutoksiin (luku 2.2.1)

Kanta-Häme

- BKT 5 449 M€
- Väestö 175 030
- Pinta-ala 5 707 km²

Taulukko 1. Kanta-Hämeen talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	455	1 601	2 056	14,7	0,57	0,54
Julkinen kulutus	564	370	934	6,7	0,60	0,60
Investoinnit	2 145	516	2 661	19,0	3,01	2,49
Alueen loppukäyttö	3 163	2 488	5 651	40,3	0,93	0,96
Vienti	2 993	5 387	8 380	59,7	2,98	2,04
Yhteensä	6 156	7 875	14 031	100,0	1,58	1,25

Taulukko 2. Kanta-Hämeen raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	423	1 073	325	525	98	548
Raakapuu	1 109	441	834	234	275	207
Fossiiliset polttoaineet	26	1 892	14	1 322	13	570
Metallimalmit	0	2 644	0	2 326	0	318
Teollisuusmineraalit	0	259	0	152	0	108
Rakennusmineraalit	1	298	1	212	0	86
Maa- ja kiviainekset	4 597	1 268	1 819	616	2 778	652
Yhteensä	6 156	7 875	2 993	5 387	3 163	2 488

Keski-Pohjanmaa

- BKT 2 239 M€
- Väestö 68 932
- Pinta-ala 6 462 km²

Taulukko 1. Keski-Pohjanmaan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	202	631	833	9,2	0,64	0,54
Julkinen kulutus	259	228	487	5,4	0,72	0,60
Investoinnit	1 278	513	1 791	19,9	3,66	2,49
Alueen loppukäyttö	1 739	1 372	3 111	34,5	1,27	0,96
Vienti	970	4 939	5 909	65,5	3,75	2,04
Yhteensä	2 709	6 312	9 021	100,0	2,24	1,25

Taulukko 2. Keski-Pohjanmaa raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	249	348	200	168	49	180
Raakapuu	490	201	416	96	74	105
Fossiiliset polttoaineet	94	488	87	293	7	195
Metallimalmit	0	2 941	0	2 821	0	120
Teollisuusmineraalit	0	805	0	712	0	93
Rakennusmineraalit	0	235	0	193	0	42
Maa- ja kiviainekset	1 875	1 294	267	657	1 609	638
Yhteensä	2 709	6 312	970	4 939	1 739	1 372

Keski-Suomi

- BKT 8 599 M€
- Väestö 273 216
- Pinta-ala 19 948 km²

Taulukko 1. Keski-Suomen talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	955	2 143	3 098	17,8	0,58	0,54
Julkinen kulutus	1 072	619	1 691	9,7	0,67	0,60
Investoinnit	3 527	1 066	4 593	26,4	2,70	2,49
Alueen loppukäyttö	5 554	3 829	9 382	53,8	0,98	0,96
Vienti	4 581	3 463	8 044	46,2	1,99	2,04
Yhteensä	10 135	7 292	17 427	100,0	1,28	1,25

Taulukko 2. Keski-Suomen raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	330	941	232	216	98	725
Raakapuu	3 293	913	2 746	635	547	278
Fossiiliset polttoaineet	183	1 418	127	643	56	775
Metallimalmit	0	999	0	605	0	394
Teollisuusmineraalit	0	410	0	232	0	178
Rakennusmineraalit	2	302	2	178	0	125
Maa- ja kiviainekset	6 327	2 309	1 474	955	4 853	1 354
Yhteensä	10 135	7 292	4 581	3 463	5 554	3 829

Kymenlaakso

- BKT 6 012 M€
- Väestö 172 343
- Pinta-ala 7 455 km²

Taulukko 1. Kymenlaakson talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	482	1 669	2 152	13,7	0,59	0,54
Julkinen kulutus	443	510	953	6,1	0,56	0,60
Investoinnit	2 446	1 246	3 692	23,5	3,07	2,49
Alueen loppukäyttö	3 371	3 426	6 797	43,2	1,04	0,96
Vienti	2 435	6 510	8 944	56,8	2,44	2,04
Yhteensä	5 806	9 936	15 741	100,0	1,54	1,25

Taulukko 2. Kymenlaakson raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	281	673	183	157	98	516
Raakapuu	1 151	3 118	894	2 747	258	372
Fossiiliset polttoaineet	44	1 968	38	1 336	5	632
Metallimalmit	0	757	0	451	0	306
Teollisuusmineraalit	0	470	0	337	0	133
Rakennusmineraalit	59	369	59	271	0	98
Maa- ja kiviainekset	4 272	2 579	1 261	1 211	3 011	1 368
Yhteensä	5 806	9 936	2 435	6 510	3 371	3 426

Lappi

- BKT 6 167 M€
- Väestö 181 303
- Pinta-ala 100 366 km²

Taulukko 1. Lapin talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	515	1 848	2 364	5,2	0,65	0,54
Julkinen kulutus	602	588	1 190	2,6	0,66	0,60
Investoinnit	3 341	1 280	4 622	10,1	3,18	2,49
Alueen loppukäyttö	4 459	3 717	8 176	17,9	1,19	0,96
Vienti	17 374	20 230	37 604	82,1	7,64	2,04
Yhteensä	21 833	23 947	45 780	100,0	3,88	1,25

Taulukko 2. Lapin raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	297	776	289	263	8	513
Raakapuu	2 282	1 060	1 926	765	355	295
Fossiiliset polttoaineet	190	6 258	157	5 537	32	720
Metallimalmit	10 246	11 293	10 608	10 851	-361*	442
Teollisuusmineraalit	2	475	2	362	0	113
Rakennusmineraalit	102	895	100	804	2	91
Maa- ja kiviainekset	8 715	3 190	4 291	1 648	4 423	1 543
Yhteensä	21 833	23 947	17 374	20 230	4 459	3 717

*Negatiiviset arvot liittyvät varastojen muutoksiin (luku 2.2.1)

Pirkanmaa

- BKT 17 794 M€
- Väestö 507 102
- Pinta-ala 14 613 km²

Taulukko 1. Pirkanmaan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	1 309	4 127	5 436	19,5	0,52	0,54
Julkinen kulutus	1 410	1 258	2 669	9,6	0,55	0,60
Investoinnit	5 976	3 177	9 153	32,9	2,47	2,49
Alueen loppukäyttö	8 696	8 563	17 258	62,0	0,91	0,96
Vienti	3 795	6 773	10 568	38,0	1,28	2,04
Yhteensä	12 491	15 335	27 826	100,0	1,03	1,25

Taulukko 2. Pirkanmaan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja-eläimet	583	1 902	367	420	216	1 482
Raakapuu	2 520	1 561	1 961	1 053	559	508
Fossiiliset polttoaineet	99	3 321	78	1 613	21	1 708
Metallimalmit	110	2 094	108	1 327	1	767
Teollisuusmineraalit	0	674	0	343	0	331
Rakennusmineraalit	61	555	60	297	1	258
Maa- ja kiviainekset	9 119	5 228	1 221	1 719	7 898	3 509
Yhteensä	12 491	15 335	3 795	6 773	8 696	8 563

Pohjanmaa

- BKT 6 772 M€
- Väestö 176 604
- Pinta-ala 18 190 km²

Taulukko 1. Pohjanmaan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	618	1 685	2 304	13,9	0,63	0,54
Julkinen kulutus	619	435	1 054	6,4	0,58	0,60
Investoinnit	3 161	1 202	4 363	26,4	2,61	2,49
Alueen loppukäyttö	4 399	3 322	7 721	46,7	1,08	0,96
Vienti	2 983	5 824	8 807	53,3	1,71	2,04
Yhteensä	7 382	9 146	16 528	100,0	1,34	1,25

Taulukko 2. Pohjanmaan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	648	1 118	516	537	132	581
Raakapuu	1 019	1 604	742	1 220	277	384
Fossiiliset polttoaineet	25	1 913	19	1 177	6	736
Metallimalmit	0	1 849	0	1 407	0	442
Teollisuusmineraalit	0	365	0	244	0	121
Rakennusmineraalit	0	307	0	202	0	106
Maa- ja kiviainekset	5 689	1 990	1 706	1 038	3 984	952
Yhteensä	7 382	9 146	2 983	5 824	4 399	3 322

Pohjois-Karjala

- BKT 4 969 M€
- Väestö 168 613
- Pinta-ala 21 583 km²

Taulukko 1. Pohjois-Karjalan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	667	1 296	1 963	13,6	0,62	0,54
Julkinen kulutus	683	446	1 129	7,8	0,69	0,60
Investoinnit	2 609	992	3 601	25,0	3,48	2,49
Alueen loppukäyttö	3 959	2 734	6 693	46,5	1,15	0,96
Vienti	5 670	2 036	7 706	53,5	3,11	2,04
Yhteensä	9 629	4 770	14 397	100,0	1,74	1,25

Taulukko 2. Pohjois-Karjalan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	315	575	226	139	89	435
Raakapuu	2 623	490	2 241	300	382	190
Fossiiliset polttoaineet	107	787	71	342	35	444
Metallimalmit	1 054	603	1 069	366	-16*	237
Teollisuusmineraalit	447	170	448	77	-2	93
Rakennusmineraalit	193	191	175	111	19	80
Maa- ja kiviainekset	4 892	1 955	1 440	700	3 452	1 254
Yhteensä	9 629	4 770	5 670	2 036	3 959	2 734

*Negatiiviset arvot liittyvät varastojen muutoksiin (luku 2.2.1)

Pohjois-Pohjanmaa

- BKT 12 584 M€
- Väestö 409 295
- Pinta-ala 44 088 km²

Taulukko 1. Pohjois-Pohjanmaan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	1 532	3 236	4 768	13,9	0,60	0,54
Julkinen kulutus	1 641	855	2 496	7,3	0,66	0,60
Investoinnit	6 686	1 590	8 277	24,2	2,65	2,49
Alueen loppukäyttö	9 859	5 682	15 541	45,4	1,05	0,96
Vienti	9 048	9 626	18 674	54,6	2,89	2,04
Yhteensä	18 907	15 308	34 215	100,0	1,61	1,25

Taulukko 2. Pohjois-Pohjanmaan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	726	1 498	502	372	224	1 126
Raakapuu	2 899	1 669	2 241	1 060	658	609
Fossiiliset polttoaineet	557	3 378	511	2 150	45	1 228
Metallimalmit	339	4 717	343	4 000	-4*	717
Teollisuusmineraalit	1 040	404	1 016	183	23	221
Rakennusmineraalit	4	742	4	515	0	227
Maa- ja kiviainekset	13 343	2 899	4 430	1 346	8 913	1 554
Yhteensä	18 907	15 308	9 048	9 626	9 859	5 682

*Negatiiviset arvot liittyvät varastojen muutoksiin (luku 2.2.1)

Pohjois-Savo

- BKT 8 016 M€
- Väestö 253 412
- Pinta-ala 20 366 km²

Taulukko 1. Pohjois-Savon talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	1 194	1 892	3 087	10,7	0,63	0,54
Julkinen kulutus	797	526	1 323	4,6	0,55	0,60
Investoinnit	2 816	916	3 732	12,9	2,12	2,49
Alueen loppukäyttö	4 807	3 335	8 141	28,2	0,90	0,96
Vienti	17 308	3 455	20 762	71,8	5,65	2,04
Yhteensä	22 114	6 789	28 904	100,0	2,27	1,25

Taulukko 2. Pohjois-Savon raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	506	1 036	387	301	119	735
Raakapuu	3 196	838	2 606	543	590	296
Fossiiliset polttoaineet	131	1 184	89	519	42	665
Metallimalmit	0	739	0	391	0	348
Teollisuusmineraalit	11 515	1 128	11 046	916	469	212
Rakennusmineraalit	31	300	30	178	1	122
Maa- ja kiviainekset	6 736	1 565	3 150	607	3 585	958
Yhteensä	22 114	6 789	17 308	3 455	4 807	3 335

Päijät-Häme

- BKT 6 452 M€
- Väestö 208 742
- Pinta-ala 6 254 km²

Taulukko 1. Päijät-Hämeen talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	444	1 817	2 260	19,1	0,56	0,54
Julkinen kulutus	467	609	1 076	9,1	0,56	0,60
Investoinnit	1 903	1 146	3 050	25,7	2,80	2,49
Alueen loppukäyttö	2 814	3 572	6 386	53,9	0,90	0,96
Vienti	2 104	3 355	5 459	46,1	1,49	2,04
Yhteensä	4 918	6 927	11 845	100,0	1,10	1,25

Taulukko 2. Päijät-Hämeen raaka-ainepanakset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	360	840	263	225	97	616
Raakapuu	1 129	840	934	581	194	258
Fossiiliset polttoaineet	6	1 303	8	628	-1*	676
Metallimalmit	0	1 067	0	761	0	306
Teollisuusmineraalit	0	255	0	131	0	125
Rakennusmineraalit	0	214	0	116	0	98
Maa- ja kiviainekset	3 423	2 408	899	915	2 524	1 493
Yhteensä	4 918	6 927	2 104	3 355	2 814	3 572

*Negatiiviset arvot liittyvät varastojen muutoksiin (luku 2.2.1)

Satakunta

- BKT 7 887 M€
- Väestö 223 470
- Pinta-ala 11 492 km²

Taulukko 1. Satakunnan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	754	1 795	2 548	10,0	0,56	0,54
Julkinen kulutus	734	478	1 211	4,7	0,59	0,60
Investoinnit	2 324	654	2 979	11,6	2,30	2,49
Alueen loppukäyttö	3 812	2 927	6 738	26,4	0,85	0,96
Vienti	5 490	13 343	18 833	73,6	3,46	2,04
Yhteensä	9 302	16 270	25 571	100,0	1,91	1,25

Taulukko 2. Satakunnan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	858	1 101	672	483	186	618
Raakapuu	1 167	2 132	911	1 759	257	372
Fossiiliset polttoaineet	174	1 569	169	955	5	614
Metallimalmit	160	8 089	160	7 734	0	354
Teollisuusmineraalit	0	611	0	458	0	153
Rakennusmineraalit	12	388	11	293	1	95
Maa- ja kiviainekset	6 930	2 380	3 567	1 660	3 362	720
Yhteensä	9 302	16 270	5 490	13 343	3 812	2 927

Uusimaa

- BKT 81 459 M€
- Väestö 1 611 825
- Pinta-ala 16 059 km²

Taulukko 1. Uudenmaan talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	2 906	15 654	18 560	16,2	0,48	0,54
Julkinen kulutus	3 695	4 208	7 902	6,9	0,54	0,60
Investoinnit	22 341	18 078	40 419	35,3	2,37	2,49
Alueen loppukäyttö	28 941	37 939	66 881	58,4	0,95	0,96
Vienti	6 147	41 524	47 671	41,6	0,97	2,04
Yhteensä	35 088	79 464	114 552	100,0	0,96	1,25

Taulukko 2. Uudenmaan raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	711	7 830	307	2 318	404	5 512
Raakapuu	1 818	6 996	1 441	3 818	376	3 177
Fossiiliset polttoaineet	9	22 911	13	16 307	-4*	6 604
Metallimalmit	0	10 965	0	7 606	0	3 360
Teollisuusmineraalit	0	3 023	0	1 798	0	1 225
Rakennusmineraalit	274	2 040	229	1 096	45	944
Maa- ja kiviainekset	32 276	25 698	4 157	8 581	28 119	17 117
Yhteensä	35 088	79 464	6 147	41 524	28 941	37 939

*Negatiiviset arvot liittyvät varastojen muutoksiin (luku 2.2.1)

Varsinais-Suomi

- BKT 16 522 M€
- Väestö 473 524
- Pinta-ala 20 537 km²

Taulukko 1. Varsinais-Suomen talouden aiheuttama raaka-aineiden käyttö 2015 (Mkg)

	Oma otto	Tuonti	Yhteensä	%	kg/€	Koko Suomi kg/€
Yksityinen kulutus	1 100	4 326	5 427	20,5	0,55	0,54
Julkinen kulutus	1 227	1 017	2 244	8,5	0,51	0,60
Investoinnit	4 837	1 325	6 162	23,3	2,15	2,49
Alueen loppukäyttö	7 164	6 669	13 832	52,2	0,81	0,96
Vienti	5 364	7 281	12 645	47,8	1,47	2,04
Yhteensä	12 528	13 950	26 478	100,0	1,03	1,25

Taulukko 2. Varsinais-Suomen raaka-ainepanokset, vienti ja raaka-aineiden kulutus raaka-ainelajeittain eroteltuna omaan ottoon ja tuontiin vuonna 2015 (Mkg)

	RMI		Vienti		RMC	
	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti	Oma otto	Tuonti
Viljelykasvit, luonnonkasvit ja -eläimet	1 329	2 239	1 029	823	301	1 416
Raakapuu	1 295	1 093	854	370	441	723
Fossiiliset polttoaineet	32	3 873	23	2 349	10	1 524
Metallimalmit	0	1 961	0	1 258	0	703
Teollisuusmineraalit	66	878	63	602	3	275
Rakennusmineraalit	1 439	589	1 388	406	52	183
Maa- ja kiviainekset	8 365	3 316	2 008	1 473	6 357	1 844
Yhteensä	12 528	13 950	5 364	7 281	7 164	6 669



VALTIONEUVOSTO
STATSRÅDET

SNELLMANINKATU 1, HELSINKI
PL 23, 00023 VALTIONEUVOSTO
valtioneuvosto.fi
julkaisut.valtioneuvosto.fi

ISBN pdf: 978-952-383-759-1
ISSN pdf: 2490-0966