



**Kiia Kekäläinen**

**KRIITTISTEN RAAKA-AINEIDEN KIERTOTALOUDEN VAIKUTUKSET  
ALUETALOUDEN RESILIENSSIIN SUOMESSA**

Pro gradu -tutkielma

Taloustiede

Huhtikuu 2024

Yksikkö Taloustieteen, laskentatoimen ja rahoituksen yksikkö			
Tekijä Kekäläinen Kiia		Työn valvoja Kopsakangas-Savolainen, M., professori	
Työn nimi Kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden vaikutukset aluetalouden resilienssiin Suomessa			
Oppiaine Taloustiede	Työn laji Pro gradu	Aika Huhtikuu 2024	Sivumäärä 68
Tiivistelmä			
<p>Kasvava materiaalien kulutus sekä energiantarve pakottavat ihmiskunnan muuttamaan kulutustottumuksiaan. Vihreä siirtymä pyrkii edistämään kestäviä talouden toimintaperiaatteita löytämällä uusia tapoja tuottaa, käyttää ja kuluttaa resursseja. Kriittiset raaka-aineet ovat vihreän siirtymän keskiössä, sillä niiden avulla voidaan edistää kestävää, uusiutuvaa energiatuotantoa. Kriittisten raaka-aineiden esiintymät ja tuotanto ovat keskittyneet tietyille alueille, mikä aiheuttaa riskejä niin saatavuuden kuin talouden näkökulmasta. Riippuvuus kriittisistä raaka-aineista voi asettaa kokonaisen tuotantoketjun, toimialan tai jopa alueen alttiiksi näille häiriöille. Kiertotalous näyttäytyy mahdollisuutena vähentää saatavuuteen liittyviä riskejä sekä luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia.</p> <p>Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden mahdollisia vaikutuksia aluetaloudelliseen resilienssiin etenkin Suomen näkökulmasta. Tutkimuksessa tarkastellaan kriittisten raaka-aineiden tuotantoa, sekä liiketoimintaan liittyviä mahdollisuuksia ja haasteita kiertotalouden näkökulmasta. Aluetaloudellista resilienssiä ja sen muodostumisprosessia tarkastellaan rakenteellisten tekijöiden sekä toimijuuden näkökulmasta. Tutkielmassa tarkastellaan toimialarakenteen, innovaatioiden ja instituutioiden vaikutusta resilienssiin. Voidaan todeta, että nämä kaikki tekijät voivat vaikuttaa resilienssiin, ja että rakenteelliset tekijät ovat myös vuorovaikutuksessa toisiinsa sekä alueen toimijoihin, mikä muovaa resilienssiä.</p> <p>Tutkielman lopussa tarkastellaan kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden mahdollisia vaikutuksia aluetaloudelliseen resilienssiin Suomen näkökulmasta. Kriittisten raaka-aineiden kiertotalouteen liittyvissä innovaatioissa piilee merkittävä liiketoimintapotentiaali. Innovaatiot voivat liittyä kriittisten raaka-aineiden kierrätyksen edistämiseen, mutta myös mahdollisten korvaavien raaka-aineiden ja teknologioiden hyödyntämiseen. Kiertotalouteen liittyvät palveluperusteiset liiketoiminnot näyttäytyvät myös potentiaalisina uusina liiketoimintamahdollisuuksina. Uudet liiketoimintamahdollisuudet voivat edistää alueen toimialarakenteen monipuolisuutta sekä auttaa toimialoja ja täten alueita irtaantumaan globaaleista, häiriöille alttiista toimitusketjuista.</p> <p>Instituutioiden merkitys toimialarakenteen vahvistamisen ja innovaatioiden mahdollistamisen näkökulmasta on merkittävä. Kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden toteutuminen tulee vaatimaan taloudellisia ja lainsäädännöllisiä toimia, joilla vauhditetaan kiertotaloutta. Ympäristöllisten, sosiaalisten sekä taloudellisten kustannusten ja hyötyjen tasapainottaminen on välttämätöntä kiertotalouden toteutumiseksi. Tutkimuksessa tuotettu teoreettinen viitekehys antaa hyvät mahdollisuudet empiiriselle jatkotutkimukselle. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi arvioidessa kriittisten raaka-aineiden kiertotaloustoiminnasta aiheutuvia alueellisia vaikutuksia.</p>			
Asiasanat kriittiset raaka-aineet, kiertotalous, resilienssi, vihreä siirtymä			
Muita tietoja			

## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>KRIITTISTEN RAAKA-AINEIDEN KIERTOTALOUS</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Kriittiset raaka-aineet</b> .....	<b>10</b>
2.1.1	Kriittisten raaka-aineiden kysyntä ja tarjonta .....	12
2.1.2	Kriittisten raaka-aineiden saatavuusriski ja taloudellinen merkitys	14
<b>2.2</b>	<b>Kriittisten raaka-aineiden kiertotalousmahdollisuudet</b> .....	<b>17</b>
2.2.1	Kiertotalousliiketoiminnan haasteet.....	21
<b>3</b>	<b>ALUETALouden RESILIENSSI</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Resilienssin määritelmät</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Aluetalouden resilienssin ja sen tutkiminen</b> .....	<b>26</b>
3.2.1	Aluetalouden resilienssi ja toimijuus .....	31
3.2.2	Toimialarakenteen vaikutus aluetalouden resilienssiin .....	33
3.2.3	Innovaatioiden vaikutus aluetalouden resilienssiin .....	36
3.2.4	Instituutioiden vaikutus aluetalouden resilienssiin .....	41
<b>4</b>	<b>KRIITTISTEN RAAKA-AINEIDEN KIERTOTALOUS JA ALUETALouden RESILIENSSI SUOMESSA</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Kriittisten raaka-aineiden tuotanto Suomessa</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Kriittisten raaka-aineiden kiertotalousliiketoiminnan potentiaali Suomessa ja sen vaikutukset aluetaloudelliseen resilienssiin</b> .....	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>60</b>

## KUVIOT

<b>Kuvio 1: EU:n kriittisten raaka-aineiden arviointiperusteet. (Mukaillen Euroopan komissio, 2023, s.18 kuvio 1) .....</b>	<b>15</b>
<b>Kuvio 2: Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous (mukaillen ja täydentäen Mulvaney ym., 2021) .....</b>	<b>18</b>
<b>Kuvio 3: Aluetalouden resilienssin neljä ulottuvuutta ja hystereesivaikutus (mukaillen ja täydentäen Martin &amp; Sunley, 2020).....</b>	<b>27</b>
<b>Kuvio 4: Kriittisten raaka-aineiden tuotannon kannalta olennaiset louhokset, sekä kaivosteknologiaa kehittävät, jatkojalostavat tai kierrättävät tahot (mukaillen Tukes, N.d.; Geologian tutkimuskeskus, N.d.a.) (alkuperäinen kuva Paasikivi, 2017, Wikimedia Commons).....</b>	<b>46</b>
<b>Kuvio 5: Kuparin, nikkelin ja koboltin tuonti ja vienti vuosina 2007–2022 (Lähde: Tulli, Uljas-tietokanta).....</b>	<b>49</b>
<b>Kuvio 6: Metallimalmien sekä kaikkien materiaalien kiertotalousaste Suomessa verrattuna kaikkien materiaalien kiertotalousasteen EU-keskiarvoon vuosina 2013–2021 (Lähde: Suomen virallinen tilasto).....</b>	<b>50</b>
<b>Kuvio 7: Aluetalouden resilienssiin vaikuttavat tekijät kiertotalouden raameissa (mukaillen Martin &amp; Sunley, 2015; Euroopan parlamentti, 30.6.2023) .....</b>	<b>55</b>

## TAULUKOT

<b>Taulukko 1: Euroopan Unionin tunnistamat kriittiset raaka-aineet vuonna 2023 (mukaillen Euroopan komissio, 2023) .....</b>	<b>10</b>
<b>Taulukko 2: Joidenkin kriittisten raaka-aineiden käyttötarkoituksia vihreissä teknologioissa (mukaillen Kowalski &amp; Legendre, 2023, s.12) .....</b>	<b>12</b>
<b>Taulukko 3: EU:n alueellinen innovaatiopisteytys (mukaillen Bristow &amp; Healy, 2018; Euroopan komissio 2012; Euroopan komissio 2014) .....</b>	<b>39</b>
<b>Taulukko 4: EU-alueiden jako klustereihin innovaatiopisteytyksen perusteella (mukaillen Bristow &amp; Healy, 2018).....</b>	<b>40</b>
<b>Taulukko 5: Innovaatioklustereiden yhteys resilienssiin* (mukaillen Bristow &amp; Healy, 2018) .....</b>	<b>40</b>

## 1 JOHDANTO

Viimeisen vuosisadan aikana tapahtunut nopea väestön sekä talouden kasvu ovat lisänneet energian kulutusta ja energiavarojen tarvetta. Elintason kehitys on kiihdyttänyt luonnonvarojen kulutusta, sekä täten myös osaltaan energiankulutusta. On selvää, että talouskasvun rajat tulevat ennemmin tai myöhemmin vastaan. (Polimeni, Mayumi, Giampietro & Alcott, 2009, s.2.) Huoli fossiilisten polttoaineiden käytön vaikutuksista ilmastomuutokseen, sekä toisaalta myös huoli niiden riittävydestä ovat saaneet ihmiskunnan etsimään vaihtoehtoisia tapoja tuottaa energiaa (Ruuskanen ym., 2021, s.365–367).

Vihreän siirtymän tavoitteena on edistää kestävää taloutta ja talouskasvua. Käytännössä tämä tarkoittaa muutoksia siihen, miten kulutamme energiaa sekä luonnonvaroja. Esimerkiksi kiertotalous sekä luonnon monimuotoisuutta edistävät toimet ovat osa kestävää taloutta ja täten vihreää siirtymää. (Ympäristöministeriö, N.d.) Käytännössä vihreää siirtymää voidaan toteuttaa esimerkiksi vaihtamalla fossiilinen energia niin sanottuun puhtaaseen, uusiutuvaan energiaan, kuten aurinko- ja tuulivoimaa. Vihreä siirtymä edellyttää uusia teknologioita, innovaatioita ja palveluita, joiden avulla pystytään irtautumaan fossiilisesta energiasta sekä materiaalien ylikulutuksesta. (Valtiovarainministeriö, N.d.) Vihreän siirtymän haasteena tulee olemaan kulutuksen rajaaminen siten, ettei talous kuitenkaan samanaikaisesti lamaannu (Ympäristöministeriö, N.d.).

Vihreä siirtymä tulee vaatimaan mittavia investointeja energiasektoriin sekä ennen kaikkea mittavia määriä materiaaliresursseja. Kriittisten raaka-aineiden rooli vihreässä siirtymässä on elintärkeä ajatellen uusiutuvan energian tuotannon, varastoinnin ja jakeluverkostojen laajentumista, ja IEA ennustaakin kriittisten materiaalien kysynnän nousevan kaksin- tai jopa nelinkertaiseksi vuoteen 2030 mennessä. (International Energy Agency [IEA], 2022, s. 30, 48.) Vihreän siirtymän ennustetaan myös luovan talouskasvua sekä uusia työpaikkoja myös Suomeen. Etenkin uudet innovaatiot, teknologiat ja niihin liittyvä osaaminen edesauttavat Suomen kilpailukykyä globaalissa asetelmassa. (Valtiovarainministeriö, N.d.)

Kriittisten raaka-aineiden tuotantoon liittyy taloudellisia ja saatavuuteen liittyviä riskejä. Useimpien kriittisiin raaka-aineiden esiintymät ovat luonnollisista ja jalostus taloudellisista syistä keskittynyt tietyille alueille. Kriittisten raaka-aineiden tuotanto ja toimitusketjut ovat alttiita geopoliittisille konflikteille, sodille ja luonnonkatastrofeille. (Kowalski & Legendre, 2023, s.28) Tuotantoon liittyvät riskit yhdistettynä alati kasvavaan kysyntään näyttäytyvät riskinä koko energiasektorille ajatellen huoltovarmuutta ja energiatuotannon omavaraisuutta (IEA, 2022, s.48). Tästä syystä kiertotalouden edistäminen näyttäytyykin potentiaalisena toimintamallina kriittisten raaka-aineiden saatavuuden turvaamiseksi. Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous on mielenkiintoinen mahdollisuus etenkin niille talousalueille, kuten Suomelle, jotka ovat riippuvaisia kriittisten raaka-aineiden tuonnista, mutta joissa on osaamista ja olemassa olevaa infrastruktuuria metallimalmien jatkojalostukseen (Vasara, Pokki, Lånbacka & Kivinen, 2023, s.65).

Kysymys kriittisten raaka-aineiden riittävyyteen liittyvästä huoltovarmuusriskistä, sekä viime vuosien geopoliittiset kriisit sekä niistä seurannut vuoden 2022 energiakriisi (Vasara ym., 2023, s.12; Eurooppa-neuvosto, N.d.) herättävät myös ajatuksen siitä, voisiko kriittisten raaka-aineiden kiertotalous tarjota keinon sietää tulevia talouden häiriöitä paremmin. Vaikka resilienssiä on tutkittu taloustieteessä monesta eri näkökulmasta ja eri teemoittain aina rahoitusjärjestelmien vakaudesta aluetaloudellisiin shokkeihin (Riepponen, Moilanen & Simonen, 2023), kiertotalouden ja resilienssin yhteyttä on kuitenkin tutkittu vain vähän (Kennedy & Linnenluecke, 2022). Kiertotalouden ja resilienssin yhteyden tutkiminen aluetalouden näkökulmasta on tärkeää myös yksilöiden, organisaatioiden sekä toimialojen kannalta (Martin, Sunley, Gardiner & Tyler, 2016). Parhaimmillaan kiertotalouden periaatteilla voidaan edesauttaa niin alueiden, yritysten kuin toimialojenkin resilienssiä (Kennedy & Linnenluecke, 2022).

Kriittisten raaka-aineiden saatavuusriskit ja tuotantoketjujen negatiiviset resilienssivaikutukset ovat herättäneet huolta myös Euroopan unionin (EU) tasolla. EU hyväksyi vuoden 2024 alussa 16. maaliskuuta 2023 laaditun Euroopan parlamentin ja neuvoston ehdotuksen kriittisten raaka-aineiden turvatun ja kestäväen tarjonnan varmistamiseksi. Tässä hyväksytyssä ehdotuksessa on mainittu kriittisten raaka-aineiden tuotanto- ja toimitusketjujen monipuolistamisen tarve, sekä tarve vahvistaa

kriittisten raaka-aineiden kierrätystä ja kiertotaloutta. (Euroopan parlamentin ja neuvoston ehdotus (EU) COM/2023/160; Euroopan unionin neuvosto, 18.3.2024.)

Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous ei tällä hetkellä kuitenkaan vielä toteudu, ja kansainvälisen energiajärjestön (IEA) mukaan kierrätystä ei tällä hetkellä hyödynnetä vielä tarpeeksi, etenkin kriittisten materiaalien kysyntää sekä uusiutuvien energialähteiden infrastruktuuria koskien. Esimerkiksi aurinkopaneelien sekä tuulimyllyjen rakenteista 95 prosenttia on kierrätettäviä, ja vihreän siirtymän myötä näiden kyseisten rakenteiden käyttö ja sen myötä myös käytöstä poistaminen rakenteiden eliniän myötä tulee nousemaan jyrkästi, ja komponenttien kierrättämisestä tulee yhä tärkeämpää. (IEA, 2022, s. 48.)

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millaiset talouden ja aluetalouden rakenteelliset tekijät vaikuttavat aluetalouden resilienssiin, ja miten näihin rakenteellisiin tekijöihin voidaan mahdollisesti vaikuttaa kriittisten raaka-aineiden kiertotaloutta edistämällä. Tämän vuoksi tutkimuksessa tarkastellaan näitä eri aluetalouden rakenteellisia tekijöitä sekä niiden vaikutusten mittaamistapoja tarkemmin. Tässä tutkielmassa perehdytään myös tarkemmin kriittisten raaka-aineiden liiketoimintaympäristöön sekä kiertotalousmahdollisuuksiin. Niitä määrittävät muun muassa erilaiset lainsäädännölliset, sosiaaliset, taloudelliset sekä maantieteelliset tekijät, jotka tuovat liiketoimintaan omat haasteensa.

Tutkielman päätutkimuskysymys on:

*Millaisia vaikutuksia kriittisten raaka-aineiden kiertotaloudella voi olla aluetalouden resilienssiin Suomessa?*

Tutkielman muita tutkimuskysymyksiä ovat:

*Millaisia mahdollisuuksia ja haasteita kriittisten raaka-aineiden kiertotalouteen liittyy?*

*Millaiset tekijät vaikuttavat aluetalouden resilienssiin?*

Tutkielman aihevalintaa motivoi ennen kaikkea aiheen ajankohtaisuus, sekä kiinnostus kiertotaloutta kohtaa. Myös aihetta käsittelevän kirjallisuuden hyvin rajallinen määrä näyttäytyi aihevalintaa tukevana tekijänä. Tämän tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena on löytää yhtymäkohtia kriittisten raaka-aineiden kiertotalousmahdollisuuksien ja aluetalouden resilienssiin vaikuttavien tekijöiden välillä, sekä pyrkiä ymmärtämään, voidaanko näitä tekijöitä vahvistaa kriittisten raaka-aineiden kiertotaloudella. Tutkimus pyrkii rakentamaan teoreettisen pohjan sille, miten kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden vaikutusta aluetalouden resilienssiin voitaisiin tutkia tulevaisuudessa tarkemmin myös empiirisesti.

Tutkimuksen painotus on teoreettisessa tutkimuksessa, sillä kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden vaikutuksia on hankala tutkia empiirisesti, koska kiertotalous ei vielä tällä hetkellä täysin toteudu. Tutkimusaiheen ja -kysymysten analysointi tapahtuu teorian esittelyn lomassa. Teoreettisessa tutkimuksessa korostuu aiheen kannalta relevanttien lähteiden merkitys (Tuomi & Sarajärvi, 2013, s.20–21). Tutkimuksen lähteinä on hyödynnetty pääasiassa alan akateemista kirjallisuutta sekä julkishallinnollisia tietolähteitä. Myös uutislähteitä on hyödynnetty joissain yhteyksissä havainnollistamaan teoriasisältöä.

Tutkielma koostuu neljästä pääluvusta. Toisessa luvussa käsitellään kriittisten raaka-aineiden kiertotaloutta. Luvussa käsitellään tarkemmin, mitä kriittiset raaka-aineet ovat ja millaisia käyttötarkoituksia niillä on. Toisessa luvussa käsitellään myös kriittisten raaka-aineiden kysyntää ja tarjontaa, sekä niihin liittyvää saatavuusriskiä ja taloudellista merkitystä. Toisen luvun lopuksi käsitellään kriittisten raaka-aineiden kiertotalousmahdollisuuksia ja siihen liittyviä haasteita. Kolmannessa luvussa käsitellään aluetalouden resilienssiä. Tässä luvussa tutkitaan tarkemmin resilienssin määritelmää, sekä sitä, mitkä rakenteelliset tekijät vaikuttavat aluetalouden resilienssiin ja miten aluetalouden resilienssiä voidaan tutkia näitä tekijöitä hyödyntäen. Luvussa käydään läpi toimialarakenteen, innovaatioiden sekä instituutioiden vaikutus aluetalouden resilienssiin. Neljännessä luvussa esitellään tarkemmin kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden liiketoimintaympäristöä Suomessa ja käsitellään kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden mahdollisia vaikutuksia aluetalouden resilienssiin Suomessa aikaisemmassa luvussa esiteltyjen rakenteellisten tekijöiden näkökulmasta. Viimeisessä, eli viidennessä luvussa



esitellään tutkielman johtopäätökset ja tehdään yhteenveto tutkielmassa esitellyistä keskeisistä sisällöistä. Viimeisessä luvussa esitellään myös mahdollisia jatkotutkimusaiheita tutkimuksesta tehtyihin johtopäätöksiin perustuen.

## 2 KRIITTISTEN RAAKA-AINEIDEN KIERTOTALOUS

### 2.1 Kriittiset raaka-aineet

Väestön nopea kasvu, rajalliset luonnonvarat sekä resurssien alati kasvava kysyntä ja tarve ovat kriittisten raaka-aineiden tunnistamisen keskiössä (Hofmann, Hoffman, Hagelüken & Hool, 2018). Kriittisiksi raaka-aineiksi kutsutaan metalleja, mineraaleja ja luonnon materiaaleja, joita käytetään lukuisiin strategisiin tarkoituksiin, kuten erilaisiin kestävästä kehitystä vauhdittaviin teknologisiin ja digitaalisiin ratkaisuihin, avaruus- sekä puolustusteknologiaan (Grilli ym., 2017; Euroopan komissio, 2023, s.1–4; Kowalski ja Legendre, 2023, s.7–10). Kriittisillä raaka-aineilla on ennen kaikkea suuri merkitys kestävyysmurroksessa. Niiden käyttöä kuitenkin rajoittavat niiden rajallinen määrä, sekä lukuisat taloudelliset, poliittiset, sosiaaliset sekä ympäristöön liittyvät ongelmat. (Hofmann ym., 2018.)

Kriittisten raaka-aineiden kriteerit, määritelmä ja tunnistettava määrä voi vaihdella eri maiden ja alueiden välillä (Karali & Shah, 2022). Euroopan unioni tunnisti vuonna 2023 34 eri raaka-ainetta kriittisiksi raaka-aineiksi. Nämä on esitelty taulukossa 1 (Euroopan komissio, 2023, s.20). Näistä 34:stä raaka-aineesta kaksi, kupari ja nikkeli, eivät täytä täysin kriittisen raaka-aineen ehtoja, mutta ne luetaan silti kriittisten raaka-aineiden listaan, johtuen niiden puolustusteknisestä ja vihreän siirtymän strategisesta merkittävyydestä (Euroopan komissio, 2023, s.20, 46).

**Taulukko 1: Euroopan Unionin tunnistamat kriittiset raaka-aineet vuonna 2023 (mukailten Euroopan komissio, 2023)**

Alumiini/bauksiitti	Fosfori	Koksihiili	Nikkeli*	Strontium
Antimoni	Gallium	Kupari*	Niobium	Tantaali
Arseeni	Germanium	Litium	Platinaryhmän metallit	Titaanimetalli
Baryytti (raskassälpä)	Hafnium	Luonnongrafiitti	Piimetallit	Vanadiini
Beryllium	Helium	Maasälpä	Raakafosfaatti	Vismutti
Boraatti	Kevyet harvinaiset maametallit	Magnesium	Raskaat harvinaiset maametallit	Volframi
Fluoriitti	Koboltti	Mangaani	Skandium	

\* EU ei tunnista kuparia ja nikkeliä kriittisiksi raaka-aineiksi, mutta ne on luokiteltu strategisiksi raaka-aineiksi.

Euroopan unioni (EU) arvioi kriittisten raaka-aineiden tilanteen vuosittain, ja päivittää listauksensa sen mukaan. Euroopan komission vuonna 2011 tekemässä selvityksessä on nimetty 14 kriittistä raaka-ainetta, ja kriittisiksi raaka-aineiksi luokiteltujen materiaalien määrä on kasvanut vuosien saatossa. Tässä kyseisessä vuoden 2011 selvityksessä kriittisten raaka-aineiden arviointiin on vaikuttanut ennen kaikkea kyseisten raaka-aineiden merkittävyys EU:n kilpailukykyyn, sekä arvio mahdollisista saatavuusongelmista seuraavien 10 vuoden aikana. Jo tässä vuoden 2011 raportissa ilmaistaan huoli kriittisten raaka-aineiden matalasta kierrätysasteesta. (Euroopan komission, 2011.)

Kriittisten raaka-aineiden kysyntä on kasvanut nopeasti viime vuosien aikana. Teknologiat, joiden tuotannossa hyödynnetään kriittisiä raaka-aineita, näyttävät samanaikaisena ratkaisuna kasvaneeseen energiankulutukseen sekä irtautumiseen fossiilisista polttoaineista. Kriittisiä raaka-aineita tarvitaan muun muassa uusiutuvan energian teknologioissa sekä uusiutuvan energian säilönnässä, sähköajoneuvoissa ja akkuteollisuudessa (Karali & Shah, 2022). Kriittiset raaka-aineet ovat siis avainasemassa vihreän siirtymän toteuttamisessa.

Taulukossa 2 on esitetty eräiden kriittisten raaka-aineiden käyttötarkoituksia erilaisissa vihreissä teknologioissa, kuten Li-ioni akuissa, polttokennoissa, tuulivoimassa, sähkömoottoreissa ja aurinkokennotekniikassa (Kowalski & Legendre, 2023, s.12). Taulukosta voidaan nähdä, että osaa kriittisistä raaka-aineista, kuten alumiinia, kuparia ja boraattia, tarvitaan kaikissa tai lähes kaikissa näissä esitellyissä vihreissä teknologioissa. Kobolttia, nikkeliä ja mangaania tarvitaan suurimmassa osassa esitellyistä teknologioista, kun taas litiumia, magnesiumia ja arseenia hyödynnetään vain muutamissa teknologioista. Voidaan siis todeta, että kriittisten raaka-aineiden arvojärjestys määräytyy sen mukaan, kuinka monessa eri teknologiassa niitä voidaan hyödyntää. Myös teknologioiden välillä voidaan havaita olevan tietynlainen arvojärjestys sen perusteella, kuinka merkittäviä ne ovat vihreän siirtymän kannalta. Tiedetyt kriittiset raaka-aineet mahdollistavat teknologioita, joilla voidaan tehostaa jo olemassa olevia energiaratkaisuja, kun taas toiset raaka-aineista voivat mahdollistaa täysin uusia teknologioita, jotka voivat vauhdittaa vihreää siirtymää entisestään (OECD, 2019).

**Taulukko 2: Joidenkin kriittisten raaka-aineiden käyttötarkoituksia vihreissä teknologioissa (mukailten Kowalski & Legendre, 2023, s.12)**

Materiaali	Li-ioni akku	Polttokenno	Tuulivoima	Sähkömoottorit	Aurinkokenno-tekniikka
Alumiini	K	K	K	K	K
Kupari*	K	K	K	K	K
Boraatit		K	K	K	K
Koboltti	K	K	K		
Nikkeli*	K	K			K
Mangaani	K	K	K		
Litium	K	K			
Magnesium		K			
Arseeni		K			

K = Kriittistä raaka-ainetta käytetään kyseiseen, esitettyyn käyttötarkoitukseen

\* EU ei tunnista kuparia ja nikkeliä kriittisiksi raaka-aineiksi, mutta ne on luokiteltu strategisiksi raaka-aineiksi.

### 2.1.1 Kriittisten raaka-aineiden kysyntä ja tarjonta

Kriittisten raaka-aineiden kysyntä ja tuotanto ovat kasvaneet viimeisten vuosien aikana huomattavasti, ja kasvutrendin ennustetaan jatkuvan myös tulevana vuosina (IEA, 2022, s.48). Vuosina 2012-2019 kriittisten raaka-aineiden globaali tuotanto kasvoi 30 prosenttia (Kowalski & Legendre, 2023, s.16). OECD:n selvityksen mukaan tällä aikavälillä esimerkiksi yksinomaan akkuteollisuudessa käytettävän litiumin maailmanlaajuinen tuotanto kolminkertaistui ja harvinaisten maametallien tuotanto kaksinkertaistui (Kowalski & Legendre, 2023, s.16).

Kansainvälinen energiajärjestö ennustaa kuparin vuosittaisen kysynnän nousevan 6 miljoonasta tonnista 11 miljoonaan tonniin vuoteen 2030 mennessä, tai jopa 16 miljoonaan tonniin, mikäli tavoitellaan täydellistä hiilineutraaliutta teollisuus- ja energiasektorilla vuoteen 2050 mennessä. Piimetallien kysyntä tulee nousemaan etenkin aurinkopaneelien tuotannon lisääntyessä. Tuulivoima puolestaan lisää harvinaisten maametallien käyttöä, ja akut vaativat litiumia. (IEA, 2022, s. 48.) Kriittisiä raaka-aineita tarvitaan vihreään energiantuotantoon ja lisää ainoastaan sen laajentamiseen. Uusiutumattomien energialähteiden kohdalla raaka-aineiden (esim.

öljy) tarve on jatkuva jo tuotannon ylläpitämiseksi. (Kim, Panton ja Schwerhoff, 2024.)

Euroopan Unioni on nykyisen kysynnän ja tarjonnan valossa hyvin riippuvainen EU:n ulkopuolella louhista ja jalostetuista kriittisistä raaka-aineista. Kriittistä raaka-aineiden alkutuotanto jaotellaan yleensä louhinta- ja rikastusvaiheeseen, mutta osalle näistä raaka-aineista kahta erillistä vaihetta ei ole selkeästi eroteltavissa. Alkutuotannosta saatava raaka-aine jalostetaan valmiiksi, jatkojalostuskelpoiseksi materiaaliksi, yleensä metalleiksi, joista pystytään valmistamaan lopputuotteita. Jalostamisella tarkoitetaan raaka-aineiden erotusta, jauhatusta ja kemiallista tai metallurgista käsittelyä. Suurin osa kriittisten raaka-aineiden varannoista sijaitsee EU:n ulkopuolella ja myös suurin osa niiden jalostuksesta tapahtuu EU:n ulkopuolella. (Euroopan komissio, 2023, s.9–11; Mulvaney ym., 2021.)

Kiina toimittaa EU:n alueelle suurimman osan kriittisistä raaka-aineista, kuten baryytista, vismutista, galliumista, germaniumista, magnesiumista, luonnongrafiitista, volframista, vanadiinista sekä raskaista ja kevyistä harvinaisista maametalleista. Osa näistä raaka-aineista toimitetaan louhittuina ja osa jalostettuina. Esimerkiksi jalostetusta vismutista 65 prosenttia ja jalostetusta magnesiumista 97 prosenttia tuodaan EU:n alueelle Kiinasta. Baryytista 45 prosenttia EU:n tarpeesta louhitaan Kiinassa, kuten myös 40 prosenttia luonnongrafiitista. Etelä-Afrikasta tuodaan 41 prosenttia kaikesta EU:n tarvitsemasta louhitusta mangaanista. Chile toimittaa 79 prosenttia kaikesta EU:n tarvitsemasta jalostetusta litiumista. (Euroopan komissio, 2023, s.9-11.)

Myös globaalilla tasolla yksittäisten suurten toimijoiden, kuten Kiinan, Kongon, Brasilian ja Etelä-Afrikan merkitys kriittisten raaka-aineiden toimittajana korostuu. Esimerkiksi Etelä-Afrikka on globaalilla tasolla monen kriittisen raaka-aineen, kuten platinaryhmän metallien merkittävimpiä toimittajia. Kongon demokraattisen tasavallan merkitys esimerkiksi akkuteollisuudessa ja katalyytteina käytettävän koboltin toimittajana on suuri; 63 prosenttia kaikesta globaalista kysynnästä louhitaan siellä. Brasilian louhii niobiumia 92 prosenttia sen globaalista kysynnästä. Vastaavasti 62 prosenttia vanadiinista louhitaan Kiinassa. Vanadiinia käytetään muun muassa HSLA-teräksen (High-strength low-alloy steel) eli hienoraeteräksen ja sen

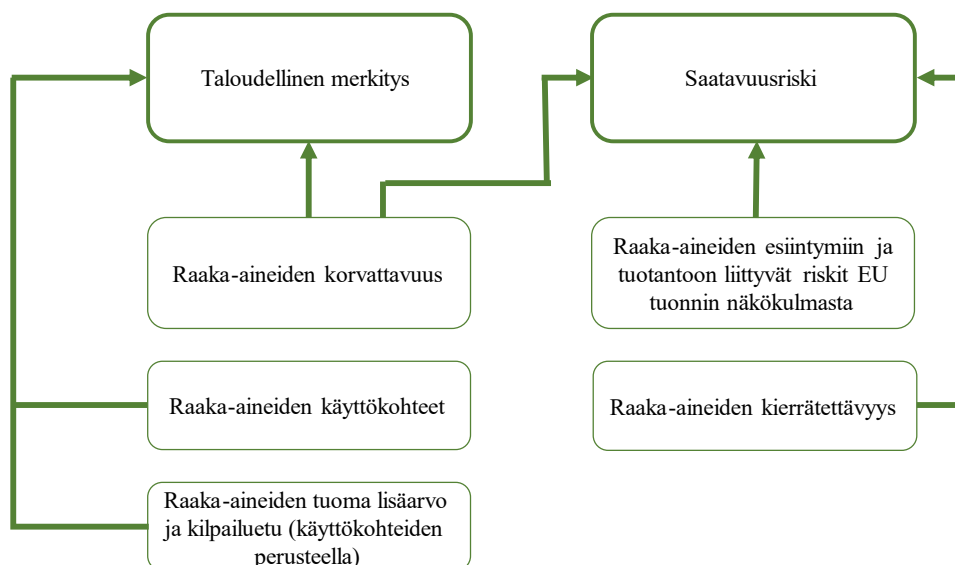
jatkojalosteiden, kuten ydinvoima- ja avaruusteollisuuden komponenttien valmistamiseen. (Euroopan komissio, 2023, s.6–7, 50.)

Kiina myös johtaa monen kriittisen raaka-aineen jalostusta; akkuteollisuudessa käytettävistä litiumista 56 prosenttia ja nikkelistä 33 prosenttia globaalista kysynnästä jalostetaan Kiinassa. Kiina jalostaa myös 91 prosenttia kaikesta magnesiumista. Magnesium on etenkin auto-, elektroniikka- ja metalliteollisuudessa käytettävä kriittinen raaka-aine. (Euroopan komissio, 2023, s. 47–50.)

Vaikka suurin osa EU:n tarvitsemista kriittistä raaka-aineista tuodaan EU:n ulkopuolisista maista, saadaan kuitenkin osa tarvittavista kriittisistä raaka-aineista EU:n sisältä. Esimerkiksi Puolan osuus kuparin ja koksishiilen toimittajana on merkittävä. Belgia puolestaan toimittaa jalostetusta arseenista yli puolet. Ranska jalostaa lähes 80 prosenttia EU:n tarvitsemasta hafniumista ja Espanja louhii lähes kaiken EU:n tarvitseman strontiumin. (Euroopan komissio, 2023, s.28.) Suomen osuutta kriittisten raaka-aineiden tuotannosta EU-tasolla voidaan pitää huomattavana, ja sitä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

### 2.1.2 Kriittisten raaka-aineiden saatavuusriski ja taloudellinen merkitys

EU:n tunnistamia kriittisiä raaka-aineita yhdistää niiden taloudellinen merkitys Euroopan unionille sekä niihin liittyvä saatavuusriski. EU:n arviointiperusteet ja niihin vaikuttavat tekijät on esitelty kuviossa 1. EU:n arvioon materiaalien taloudellisesta merkityksestä vaikuttavat sen eri käyttötarkoitukset, sekä onko näihin kyseisiin käyttötarkoituksiin tarjolla korvaavia teknologioita tai materiaaleja. Arvioon taloudellisesta merkityksestä vaikuttaa myös se, mihin lopputuotteeseen kyseistä raaka-ainetta tarvitaan ja millaista lisäarvoa kyseinen lopputuote ja sen käyttötarkoitukset voivat tuoda EU:lle. Kriittisiin raaka-aineisiin kytkeytyy siis myös mahdollisuuksia talousalueen kilpailukyvyyn parantamisesta. (Euroopan komissio, 2023, s.2, 18; Euroopan komissio, N.d.)



**Kuvio 1: EU:n kriittisten raaka-aineiden arviointiperusteet (mukaillen Euroopan komissio, 2023, s.18 kuvio 1)**

Saatavuusriskiä arvioidessa arvioidaan erityisesti kyseisen raaka-aineen esiintymien ja tuotannon mahdollinen keskittyminen pieneen joukkoon maita, joiden hallinnossa tai esimerkiksi kaupankäynnissä esiintyy ongelmia, jotka voivat rajoittaa tuotantoa tai saatavuutta. Saatavuusriskiä arvioidessa huomioidaan riski-indeksiä pienentävinä tekijöinä kyseisen arvioitavan raaka-aineen mahdolliset korvaavat raaka-aineet sekä kyseisen raaka-aineen kierrätettävyys. (Euroopan komissio, 2023, s.2, 18; Euroopan komissio, N.d.)

Saatavuusriskiä määrittää pitkälti tuotannon keskittymiseen tietyille alueille, jossa kriittisiä raaka-aineita esiintyy eniten luonnostaan tai jossa esiintymien louhiminen on taloudellisesti kannattavaa (Kowalski ja Legendre, 2023, s.14). Kriittisten raaka-aineiden esiintymät ovat hyvin pitkälti keskittyneet tietyille alueille, jopa perinteisiä fossiilisia polttoaineita enemmän (Kim ym., 2024). Kaivosalan korkean kiinteät pääomakustannukset vaikuttavat myös osaltaan kriittisten raaka-aineiden tuotannon keskittymiseen tietyille alueille, sillä suurilla tuotantomäärillä voidaan saavuttaa skaalaetu (economies of scale) (Kowalski & Legendre, 2023, s.14). Skaalaedulla tarkoitetaan ilmiötä, jossa tuotantomäärän ansiosta tuotannon resurssit käytetään

mahdollisimmat tehokkaasti, jolloin myös ylimääräiset välilliset kustannukset on minimoitu (Silberston, 1972).

Kriittisten raaka-aineiden tuotannossa on myös huomioitava, että useimmat esiintymät sijaitsevat kehittyvillä alueilla. Kriittisten raaka-aineiden saatavuusriskiä lisää omalta osaltaan merkittävien toimittajamaiden epävakaa hallinto, poliittiset tai jopa sotilaalliset konfliktit (Kowalski & Legendre, 2023, s.8). Tämän vuoksi on tärkeää, että huomioidaan tuotannosta mahdollisesti aiheutuvat negatiiviset sosiaaliset sekä ympäristölliset vaikutukset, ja pyritään aktiivisesti ehkäisemään niitä vastuullisella tuotannosuunnittelulla (Guzik ym., 2021). Muun muassa EU tunnistaa kriittisistä raaka-aineista volframin ja tantaalin olevan niin sanottuja ”konfliktimineraaleja”, eli niiden tuotantoon Kongossa liittyy korkea riski esimerkiksi ihmisoikeusloukkauksista tai jopa aseellisten konfliktien rahoittamisesta (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2017/821). Kriittisten raaka-aineiden tuotannon saatavuusriskiä lisää myös varakkaiden maiden geopoliittiset intressit päästä käsiksi kehittyvien maiden mineraalivaroihin. Samalla voi esiintyä epäeettistä vallankäyttöä maan sisä- ja ulkopoliitikassa, jolloin kriittisten raaka-aineiden varantojen hallinta ja hyödyntäminen voivat siirtyä yhä pienemmän omistajaryhmän hallintaan (katso Visala, 2022).

Saatavuusriskiin vaikuttavat myös tuottajamaiden asettamat rajoitukset kriittisiä raaka-aineita koskevan kaupankäynnin suhteen. Etenkin raaka-aineiden vientiä koskevien rajoitusten määrä on noussut huomattavasti. Raaka-aineita koskevaa kaupankäyntiä rajoittavat päätökset myös nostavat raaka-aineesta tuotettujen komponenttien ja lopputuotteiden hintaa. Raaka-aineita koskevat kaupankäynnin rajoitukset vaikuttavat myös uusiomateriaalien (sekundääriset materiaalit) tuotantoon, sillä viennin rajoitukset koskevat hyvin usein myös jo käytöstä poistettuja raaka-aineita ja materiaaleja. (Korinek, 2019; Euroopan komissio, 2023, s.18).

Kriittisten raaka-aineiden saatavuusriski ei rajoitu kuitenkaan pelkästään ongelmiin niiden tuotannossa. Kuten mainittu aikaisemmin, kriittisten raaka-aineiden merkitys vihreän siirtymän ja energiatalouden rakennemuutoksen kannalta on mittava niiden käyttökohteiden vuoksi, mikä myös vaikuttaa arvioon niiden taloudellisesta merkityksestä. Esimerkiksi jalostus, komponenttien ja tuotteiden valmistus, logistiikka



ja vähittäismyynti tulevat kaikki omalta osaltaan olemaan riippuvaisia kriittisistä raaka-aineista etenkin energiatuotannon osalta. Kriittisten raaka-aineiden tarve ulottuu täten lähes kaikkien toimialojen kaikkiin tuotantoketjun vaiheisiin (Mathieux ym., 2017, s.12). Epävarmuustekijät toimitusketjuissa voivat siksi vaikuttaa negatiivisesti kokonaisuun toimialoihin tai talousalueisiin, tai vaikutukset voivat olla jopa globaaleja.

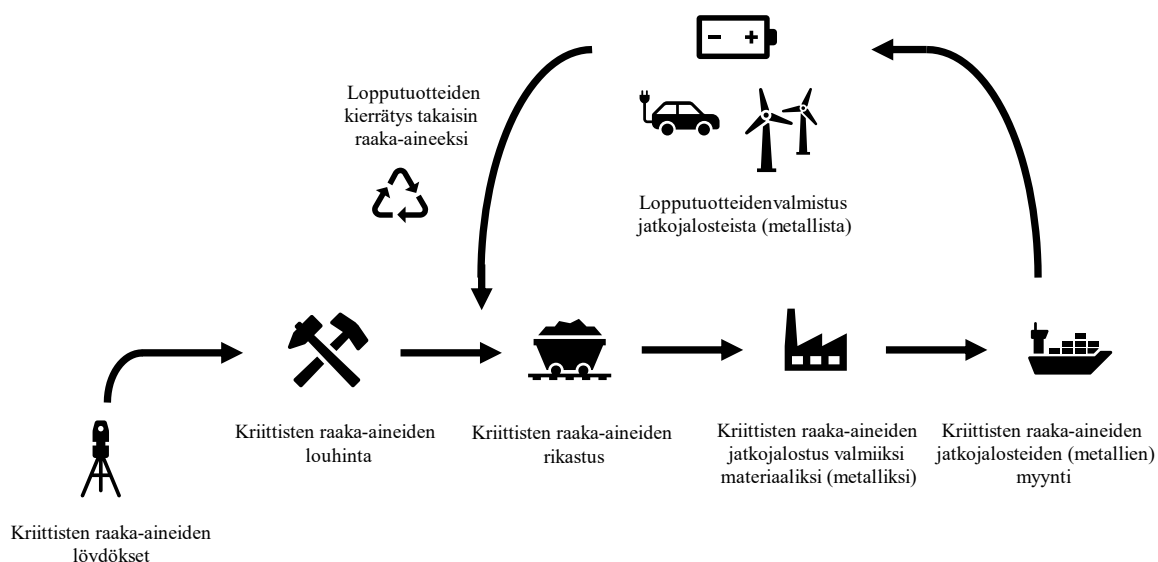
Saatavuusriskiä vähentävänä tekijänä voidaan pitää materiaalien kierrätystä sekä tarjolla olevia kriittisiä raaka-aineita korvaavia materiaaleja (Euroopan komissio, 2023, s.2, 18). Kriittisiä raaka-aineita korvaavien materiaalien, eli substituuttien, ajatuksena on, että niitä voidaan käyttää kriittisten raaka-aineiden sijaan, ja saavuttaa saman tasoinen, ellei jopa parempi tehokkuus, kuin kriittisiä raaka-aineita käytettäessä. Substituuttien tulisi myös olla helpommin korjattavissa ja kierrätettävissä, kuin kriittisten raaka-aineiden. Kriittisten raaka-aineiden haasteena onkin, että ne ovat osittain vielä hyvin vaikeasti korvattavissa tietyissä käyttötarkoituksissa. Lisäksi niiden kierrätys voi olla haasteellista. Kun kriittisiä raaka-aineita korvataan, ei lopputuote välttämättä vastaa esimerkiksi kestoaltaan tai suorituskyvyltään sitä, mitä se olisi alkuperäistä kriittistä raaka-ainetta käytettäessä. (Grilli ym., 2017.) Seuraavassa luvussa perehdytään tarkemmin kriittisten raaka-aineiden kierrätykseen ja kiertotalouteen.

## **2.2 Kriittisten raaka-aineiden kiertotalousmahdollisuudet**

Kiertotaloudella tarkoitetaan talouden järjestelmää, jossa pyritään vähentämään etenkin primääristen raaka-aineiden kulutusta ja maksimoimaan niistä saatava hyöty tehostamalla samalla energiankäyttöä, sekä vähentämällä päästöjen ja jätteen määrää (Geissdoerfer, Savaget, Bocken & Hultink, 2017; Kennedy & Linnenluecke, 2022). Erityisesti haitallisten materiaalien ja komponenttien käytön vähentämiseen kiinnitetään huomiota (OECD, 2023). Raaka-aineista saatava hyöty voidaan maksimoida tehostamalla niiden käyttöä, pidentämällä materiaalien käyttöikää sekä ehkäisten syntyvää jätettä kierrättämällä materiaaleja. ja syntyvää jätettä esimerkiksi kierrättämällä (Bocken, De Pauw, Bakker & Van Der Grinten, 2016).

Parhaimmillaan kiertotalous on talousmalli, joka toteutuu sen kaikilla eri osa-alueilla. Toteutuakseen se vaati talouden ”ekosysteemin” eri toimijoiden, kuten yksilöiden ja

organisaatioiden (yritysten), sekä kaupunkien ja alueiden aktiivisuutta sekä yhtenäistä toimintaa. (Aarikka-Stenroos, Ritala & Thomas, 2021). Kiertotalous voi auttaa luomaan uusia, kestäviä liiketoimintamahdollisuuksia, vaikuttaen samalla positiivisesti ympäristöön. (Ellen MacArthur Foundation, 2015, s.46).



**Kuvio 2: Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous (mukaillen ja täydentäen Mulvaney ym., 2021)**

Kriittisten raaka-aineiden matka lopputuotteeksi on monivaiheinen, ja se on esitelty kuviossa 2. Kuten jo aiemmin mainittu, kaikki kriittiset raaka-aineet eivät ole metallimalmeja, eikä niistä kaikkia käytetä metallien valmistukseen. Kuviossa 2 on esitelty yksinkertaistettuna kriittisten raaka-aineiden eri tuotantovaiheet raaka-aineesta lopputuotteeksi, ja miten nämä lopputuotteista saadut raaka-aineet lopulta palautetaan takaisin kiertoon. Kuvio pohjautuu kriittisten metallimalmien tuotantoon, sillä suuri osa kriittisistä raaka-aineista on metallimalmeja. Nämä eri tuotantovaiheet kuitenkin toistuvat myös ei-metallisten kriittisten raaka-aineiden osalta, mutta kuten jo aiemmin mainittu, jalostusmenetelmänä voi olla esimerkiksi jokin muu kuin rikastus, eikä lopputuote välttämättä ole metalli.

Kriittisten raaka-aineiden alkutuotanto, eli louhinta on sidoksissa niihin paikkoihin, joista löytyy esiintymiä. Kuten kuviossa 2 voidaan nähdä, esiintymistä louhitut metallimalmit rikastetaan, ja syntyy rikastetta. Metallimalmien rikastamot sijaitsevat

usein lähietäisyydellä metallimalmien louhoksista. Tämän jälkeen metallirikasteet kuljetetaan sulattoihin, jossa valmistetaan itse metalli. Sulatoista valmistuva metalli myydään ja kuljetetaan jatkojalostettavaksi osiksi ja lopputuotteiksi Käytöstä poistuvat lopputuotteet pyritään erottamaan takaisin rikasteiksi tai metalleiksi, ja saamaan ne näin takaisin jatkojalostuksen käyttöön sulattoihin. On huomioitava, että kriittisten raaka-aineiden tuotantoprosessin jokaisessa vaiheessa syntyy päästöjä ja jätettä tai materiaalin sivuvirtoja. (Mulvaney ym., 2021; Geologian tutkimuskeskus, N.d.a.)

Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous kytkeytyykin yritysten operatiivisen toiminnan osalta moniin eri vaiheisiin. Iso osa materiaalien kiertotaloutta on käytöstä poistuneiden, jätteeksi päätyneiden tai sivuvirtoina irrotettujen raaka-aineiden palauttaminen takaisin materiaalien tuotantoketjuun, jalostusvaiheeseen (Mulvaney ym., 2021). Toisin sanoen materiaalien kiertotaloudessa kierrätyksellä ja siihen liittyvillä toiminnoilla on suuri merkitys. On kuitenkin tärkeää huomata, että kiertotalous kytkeytyy myös muihin toimintoihin, kuten logistiikkaan, markkinointiin, myyntiin ja rahoitukseen, varsinaisten raaka-aineiden ja materiaalien tuotantoprosessin ohella (Geissdoerfer, Morioka, de Carvalho & Evans, 2018). Kiertotalouden toteutumisen kannalta onkin tärkeää, että yritykset pyrkivät muuttamaan toimintatapojaan jo liiketoiminnan ja tuotteiden suunnittelusta lähtien, huomioiden esimerkiksi tuotteiden korjattavuuden ja kierrätettävyyden (Bocken ym., 2016; Broadbent, 2016; Ellen MacArthur Foundation, 2013, s.7).

Nykypäivinä lähes kaikkien yritysten toiminnoista osa on ulkoistettu erilaisille palveluntarjoajille. Tällaisia toimintoja voivat olla esimerkiksi logistiikka, materiaalien jalostus, komponenttien kasaaminen tai erilaiset tukitoiminnot kuten markkinointi ja viestintä. Yritykset muodostavat tätä kautta verkostoja. Yritysverkostot tarjoavat etenkin pienemmille yrityksille mahdollisuuden liiketoimintaa, joka ei välttämättä olisi mahdollista ilman yritysverkoston olemassaoloa. (Thoben & Jagdev, 2001.) Täten kiertotalous näyttäytyy mahdollisuutena myös niille yrityksille, joilta kiertotalousliiketoimintaa harjoittava yritykset ostavat esimerkiksi kierrätyksen, logistiikan tai jalostuksen palveluita.

Ennen kaikkea kiertotalous tarjoaa raaka-aineita materiaaliksi jalostaville yrityksille mahdollisuuden säästää resursseja ja pitää jo alkutuotetut, jalostetut raaka-aineet kierrossa. Etenkin metallien jalostus on erittäin materiaali-intensiivistä (Ruokamo ym., 2021). Metallien jalostuksen vaatimien kustannuksien, palveluiden sekä materiaalien summa on moninkertainen verrattuna metallien jalostuksen tuotokseen (Ruokamo ym., 2021). Jalostus kuluttaa myös huomattavan paljon energiaa. Täten kiertotalouden avulla voidaan vähentää myös muita tuotantoon liittyviä kustannuksia.

Kiertotalous tarjoaa mahdollisuuksia uusille liiketoiminnoille ja kokonaan uusille liiketoimintamalleille. Esimerkiksi palveluperusteiset liiketoimintamallit, joissa liiketoiminta perustuu tuotteiden käyttöön, eikä niiden omistukseen, voivat omalta osaltaan tukea materiaalien kulutuksen vähentämistä ja kiertotaloutta (Ellen MacArthur Foundation, 2013, s.22). Kriittisten raaka-aineiden osalta tällaiset palveluperusteiset liiketoimintamallit voisivat esimerkiksi perustua erilaisten akkukäyttöisten laitteiden tai vaikkapa ajoneuvojen vuokraamiseen kuluttajille. Myös paluulogiikan (reverse logistics) merkitys tuotannossa korostuu, kun sekundääriset materiaalit ja käytöstä poistetut tuotteet pyritään saamaan takaisin kiertoon ja uudelleen hyödynnettäväksi tuotannossa (Ellen MacArthur Foundation, 2013, s.71).

Korvaavien materiaalien merkitystä ei voida sivuuttaa, kun puhutaan kriittisten raaka-aineiden käyttökohteista. Kriittisten raaka-aineiden kohdalla haasteeksi todennäköisesti muodostuukin raaka-aineiden riittävyys kierrätyksestä huolimatta, sillä tuotantoa ja esiintymiä on rajallinen määrä, ja kriittisten raaka-aineiden tarve on alati kasvava. Tähän vastauksena näyttäytyy kriittisten raaka-aineiden korvaaminen vaihtoehtoisilla materiaaleilla ja teknologioilla. Korvaaviin materiaaleihin ja teknologioihin perustuvat innovaatiot voivat tarjota uusia liiketoimintamahdollisuuksia jo alan parissa toimiville yrityksille, mutta myös toimialalle pyrkiville toimijoille.

Kriittisiä raaka-aineita on kuitenkin suhteellisen vaikea korvata (Euroopan komissio, 2023. s.18). Joitain kriittisiä raaka-aineita korvaavia materiaaleja on jo löydetty, ja teknologiat kehittyvät nopeasti. Vuoden 2011 Euroopan komission valmistelemassa raportissa nostetaan esimerkiksi harvinaiset maametallit, joita käytetään kestopagneeteissa esimerkiksi tuulivoimaloissa ja sähköajoneuvoissa, ja kuinka

niiden käyttötarkoitukseen ei ole tiedossa tai saatavilla korvaavia materiaaleja (Euroopan komissio, 2011). YLE kuitenkin uutisoi huhtikuussa 2023 sähköajoneuvoissa tehdyissä edistysaskelissa, kun kiinalainen akkuvalmistaja CATL ilmoitti siirtyvänsä henkilöautojen kohdalla perinteisistä akuista natriumioniakkuihin eli niin sanottuihin suola-akkuihin (Pantzar, 2023)

### 2.2.1 Kiertotalousliiketoiminnan haasteet

Vaikka kiertotalous näyttäytyykin yhtenä ratkaisuna kriittisten raaka-aineiden saatavuusriskien hallintaan, liittyy kriittisten raaka-aineiden kiertotalouteen omat haasteensa, kuten jo edellä mainittu korvaamisen vaikeus (Euroopan komissio, 2023. s.18). Kriittisten raaka-aineiden kiertotalousliiketoimintaa sekä kierrätysmateriaalien hyödyntämistä vaikeuttavat erinäiset tekniset, taloudelliset ja hallinnolliset haasteet.

Yksi kriittisten raaka-aineiden kiertotaloutta haastava tekijä on sekundääristen materiaalien eli uusiomateriaalien hinnoittelu, ja sen vaikutukset materiaalin kulutukseen. Kierrätysmateriaalien myyjät joutuvat asettamaan kierrätysmateriaalien hinnan monesti vastaavien neitseellisten raaka-aineiden hintoja halvemmaksi. Tämä taas asettaa materiaalien ostajat asemaan, jossa he voivat ostaa halvempaa materiaalia enemmän, hyötyen tästä taloudellisesti. Nämä kierrätysmateriaaleista valmistetut tuotteet voivat olla kuluttajien kokemuksen tai mielikuvien perusteella huonompi vaihtoehto kuin neitseellisistä raaka-aineista tuotetut tuotteet. Tuotteen valmistaja joutuu laskemaan tuotteen hintaa, jolloin kuluttajat mahdollisesti ostavat enemmän tuotteita. Mikäli neitseelliset ja kierrätetyt materiaalit ovat saman laatuaisia, myös jo pelkästään lisääntynyt materiaalien ja tuotteiden tarjonta markkinoilla (kierrätysmateriaalien käyttöönoton seurauksena) voi laskea materiaalin ja tuotteiden hintaa, joka taas voi lisätä materiaalien ja tuotteiden kulutusta. (Zink & Geyer, 2017.)

Toisaalta, vaikka sekundääristen raaka-aineiden hinta olisi asetettu neitseellisten raaka-aineiden hintaa matalammaksi, ei se automaattisesti tee sekundääristen raaka-aineiden hankinnasta taloudellisesti kannattavampaa. Kansanväliset rajoitukset etenkin kierrätettyjä kriittisiä raaka-aineita koskien ovat lisääntyneet viime vuosien aikana, joka vaikeuttaa taloudellisesti näiden sekundääristen raaka-aineiden ja niiden jalosteiden hankintaa ja täten myös kierrätystä (Korinek, 2019). Myös kierrätyksestä

aiheutuvat ylimääräiset kustannukset, jotka liittyvät kierrätysmateriaalin jalostukseen tarvittavaan työhön, energiaan ja pääomaan, vaikeuttavat kierrätysmateriaalien kaupallista hyödyntämistä ja hinnoittelua (Hagelüken & Goldmann, 2022). Mikäli sekundäärisestä materiaalista saatava hyöty ei ylitä kierrätyksestä aiheutuvia kustannuksia, ei kierrätys ole taloudellisesti järkevää (Hagelüken & Goldmann, 2022). On selvää, että neitseellisiä raaka-aineita tullaan käyttämään ja tuottamaan kierrätysmateriaaleja enemmän niin kauan, kuin neitseellisten raaka-aineiden tuottaminen ja kuluttaminen on taloudellisesti kannattavampaa kuin kierrätysmateriaalien.

Koska kiertotalouden yhtenä päätavoitteena on vähentää materiaalien kulutusta (Kennedy & Linnenluecke, 2022), täytyy uusiomateriaalien mahdollisen hinnoittelun vaikutukset materiaalin kulutukseen myös huomioida. William Stanley Jevons toi esiin jo vuonna 1865 julkaisemassaan tutkimuksessa ”The Coal Question” hiilen tehokkaampaan käyttöön ja sen kulutukseen liittyvän paradoksin; vaikka innovaatiot mahdollistaisivat hiilen tehokkaamman hyödyntämisen, hiilen kokonaiskulutus ei kuitenkaan laskisi, vaan päinvastoin lisääntyisi. (Jevons, 2009, s.17, 74-82.). Tätä ”Jevonsin paradoksia” vastaavaa ilmiötä voidaan kutsua rebound-ilmiöksi (rebound effect). Rebound-ilmiöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa kasvanut tehokkuus tekee hyödykkeestä halvemman, jolloin sen kulutus lisääntyy. Lisääntynyt kulutus puolestaan pienentää tai mitätöi tehokkuudella saavutetut ympäristöhyödyt. Kun raaka-aineen tai materiaalin hyödyntämisestä tulee tehokkaampaa, voi se todellisuudessa lisätä tuotantoa tai kulutusta, jolloin kokonaisvaikutukset ovat päinvastaiset kuin mitä on tavoiteltu. (Zink & Geyer, 2017).

Sekundäärisiin materiaaleihin ja lopputuotteisiin kohdistuvien kuluttajien negatiivisten asenteiden ohella myös niiden tuotantoa kohtaan voi kohdistuvat yleisesti negatiivisia asenteita etenkin liittyen tuotannon sijoituspaikkaan. Tämä voi rajoittaa kiertotalousliiketoimintaa. Sekundääristen materiaalien tuotantoon ja hyödyntämiseen voi liittyä niin kutsuttu ”ei meidän pihaan”-ilmiö (”Not in my backyard”-phenomenon) (Song ym., 2024). Käytännössä tällä ilmiöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa yksilöt arvioivat, että tuotannon sijoittuminen lähelle heitä voi aiheuttaa erilaisia terveydellisiä, sosiaalisia ja ympäristöön liittyviä haittoja (Cong, Wang, Ma & Skibnewski, 2021).

Kriittisten raaka-aineiden kierrätys ei ole vielä kovin kehittynyttä. Osasyyn tähän on se, että kriittisten raaka-aineiden kierrätys on teknisesti haastavaa. Kriittiset raaka-aineet kuitenkin eroavat toisistaan niiden kierrätettävyyden suhteen. Esimerkiksi alumiinin kierrätys on melko vaivatonta, kun taas kuparin kierrätys on haastavampaa, sillä sitä käytetään niin monipuolisesti erilaisissa lopputuotteissa ja sitä sekoitetaan muihin raaka-aineisiin (McLellan ym., 2016). Vaikka tiettyjen kriittisten raaka-aineiden osalta on olemassa teknologiaa, jonka avulla sekundääriset kriittiset raaka-aineet voidaan palauttaa takaisin tuotannon käyttöön, ei suuri osa käytetyistä metalleista ole näitä teknologioita omaavien tuotantolaitosten lähellä (Hagelüken & Goldmann, 2022). Sekundääristen materiaalien jalostuksen kehitystä hidastaa myös esimerkiksi hallinnollisten ja taloudellisten kannustimien puute (Karali & Shah, 2022). Sekundääristen materiaalien hyödyntämistä vauhdittaviin hallinnollisiin ja taloudellisiin keinoihin ja kannustimiin palataan luvussa 4, jossa käsitellään kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden liiketoiminnan mahdollisuuksia Suomen näkökulmasta.

### 3 ALUETALouden RESILIENSSI

Terminä resilienssi juontaa juurensa latinan kielen sanasta ”resiliere”, joka tarkoittaa palautumista (Simmie & Martin, 2010). Resilienssi ei ole yksinomaan taloustieteelle ominainen tutkimusaihe, vaan resilienssistä ollaan kiinnostuneita monella eri tieteenalalla. Resilienssiä voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta, ja sillä on monia eri määritelmiä. Resilienssin empiiriseen mittaamiseenkaan ei ole vain yhtä yhtenäisesti ymmärrettyä metodologiaa. (Hill, Wial & Wolman, 2008; Martin, 2012.)

Resilienssin tarkoituksena on tarkastella, miten järjestelmä reagoi häiriötekijöihin, ja kuinka kauan järjestelmän reaktio ja sen vaikutukset kestävät järjestelmässä. Resilienssin avulla myös tarkastellaan, pystyykö järjestelmä palautumaan näistä vaikutuksista kokonaan tai ylipäätään ollenkaan. (Martin ym, 2016; Simmie & Martin, 2010.) Resilienssin määritelmä perustuukin olettamukseen, että järjestelmillä voi olla erilaisia tasapainopisteitä, ja että järjestelmä voi siirtyä muutoksen seurauksena tasapainopisteestä toiseen (Reggiani, De Graaff ja Nijkamp, 2002).

Järjestelmän häiriötekijät voivat olla vaikutukseltaan laajempia, jopa globaaleja, kuten esimerkiksi taloutta tutkittaessa taantumukset ja valuuttakriisit, tai niiden vaikutus voi olla suppeampi, esimerkiksi tietyllä alueella toimivan yrityksen sulkeminen (Hill ym, 2008; Martin, 2012). Häiriöt tai shokit voivat olla nopeita, esimerkiksi yrityksen sulkeminen, mutta ne voivat myös rakentua hitaasti, kuten esimerkiksi ilmastonmuutos ja sen vaikutukset talouteen (Davoudi, 2012; Riepponen ym., 2023).

Häiriöistä tai shokeista puhuttaessa ajatellaan usein niiden aiheuttamia negatiivisia seurauksia, kuten lamaa, mutta shokit voivat myös uudistaa talouden vanhoja, epätuottavia rakenteita (Kurikka, 2021). Esimerkiksi uudet teknologiat, innovaatiot tai uusien yritysten perustaminen voivat olla taloutta ja tuottavuutta hyödyttäviä muutoksen seurauksia (Martin, 2012). Häiriöt, kriisit ja syklisyys ovat osa talouden luonnetta, minkä vuoksi resilienssin tutkiminen onkin merkityksellistä (Kurikka, 2021).



### 3.1 Resilienssin määritelmät

Resilienssi tutkimuksen aiheena taloustieteessä on melko tuore, jos sitä verrataan esimerkiksi resilienssin tutkimukseen luonnontieteissä. Ehkä tunnetuin resilienssin määritelmä onkin tekninen resilienssi (engineering resilience) fysiikan tieteenalalta. Fysiikassa materiaalin resilienssillä tarkoitetaan materiaalin kykyä absorboida energiaa, muovautua ja palautua alkuperäiseen tilaansa. Tekninen resilienssi siis mittaa järjestelmän vastustuskykyä häiriötekijöille, sekä sitä, miten se pystyy palautumaan näiden häiriötekijöiden aiheuttamista muutoksista takaisin alkuperäiseen tasapainotilaansa. Resilientti järjestelmä reagoi shokkeihin mahdollisimman vähän ja kykenee palautumaan shokkia edeltäneeseen tasapainotilaansa mahdollisimman nopeasti. (Martin, 2012.)

Toinen luonnontieteissä syntynyt resilienssin määritelmä on niin kutsuttu ekologinen resilienssi (ecological resilience), jonka juuret ovat ympäristötieteissä. Ekologisessa resilienssissä mitataan järjestelmän shokinsietokykyä eli elastisuutta. Shokkien ajatellaan olevan häiriötä järjestelmän toiminnassa, ja mitä resilientimpi järjestelmä on, sitä voimakkaamman shokin se pystyy kestämään ilman muutoksia (Holling, 1973). Myös ekologisessa resilienssissä ollaan kiinnostuneita järjestelmän kyvystä palautua shokista sen alkuperäiseen tilaan, joskin järjestelmän oletetaan voivan siirtyä shokin jälkeen myös eri tasapainotilaan. Taloustieteessä ilmiötä, jossa talouden tasapainotila muuttuu eri pisteeseen häiriön seurauksena, kutsutaan hystereesiksi. (Martin, 2012.)

Hystereesivaikutus ja sen seuraukset kasvutrendiin riippuvat pitkälti taloutta määrittävistä ominaispiirteistä, sekä siitä, miten talous pystyy sen resurssien määrittämissä rajoissa reagoimaan shokkiin. Hystereesivaikutus voi olla luonteeltaan positiivinen tai negatiivinen. Mikäli esimerkiksi työvoima vähenee talouden kohtaaman häiriön seurauksena, eikä kasvutrendi palaudu vastaamaan häiriötä edeltänyttä tasoa, on hystereesivaikutus pysyvä ja negatiivinen. Toisinaan hystereesi vaikutus voi olla positiivinen, jolloin talouden kasvutrendi muuttuu jyrkemmäksi, kuin mitä hystereesiä edeltäneessä tilassa. Esimerkiksi uudet liiketoimintamahdollisuudet ja optimistiset odotukset talouden suhteen voivat nostaa kasvutrendin jyrkkäänkin nousuun taantumien jälkeen. (Martin, 2012.)

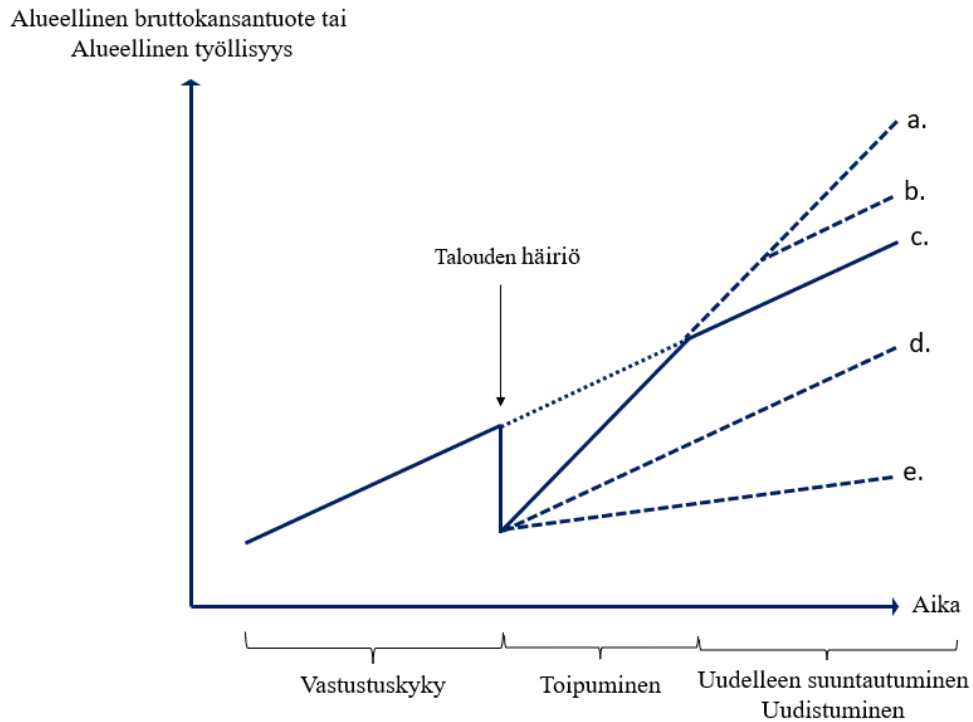
Resilienssiä voidaan myös tarkastella monitieteisesti kompleksisten adaptiivisten systeemien teorian (Complex adaptive systems) pohjalta (Martin, 2012; Lansing, 2003; Bristow & Healy, 2014). Sen perimmäinen ajatus on tutkia, miten systeemin tai järjestelmän eri osat reagoivat järjestelmän muutokseen sekä suhteessa toisiinsa ja niiden muutokseen (Holland, 1995, s. 4-10). Adaptiivinen näkemys resilienssistä painottaa resilienssin dynaamisuutta ja kykyä mukautua muutokseen (Martin, 2012). Todellisuudessaakin esimerkiksi talouden kehitys ja kasvu ovat harvoin täysin lineaarisia tai seuraavat tiettyjä lainalaisuuksia, vaan talouteen liittyy myös kompleksisuutta ja epävakautta, jotka adaptiivinen resilienssi ottaa huomioon. Syy-seuraussuhteiden sijaan kompleksisten adaptiivisten systeemien teoria pyrkii löytämään ja tulkitsemaan järjestelmässä toistuvia kaavoja ja järjestelmän eri osien välillä vallitsevia vuorovaikutussuhteita. (Bristow & Healy, 2014.)

Sen lisäksi että resilienssi saa erilaisia määritelmiä ja näkökulmia eri tieteenaloilta, lisäävät sen moniulotteisuutta eri tasot, joista sitä voidaan tarkastella. Taloudellista resilienssiä voidaan tarkastella mikrotaloustieteen keinoin keskittyen yksilön, yrityksen tai organisaation resilienssiin. Taloudellista resilienssiä voidaan myös tutkia laajempien kokonaisuuksien, kuten alueen tai valtion näkökulmasta makrotaloustieteen keinoin. (Riepponen ym., 2023.) Tutkimuksessa voidaan myös yhdistellä mikro- ja makrotason resilienssitutkimusta (katso esim. Bernini, Cracolici ja Nijkamp, 2020).

### **3.2 Aluetalouden resilienssin ja sen tutkiminen**

Martin (2012) koostaa ekologisen, teknisen ja adaptiivisen resilienssin määritelmistä neljä ulottuvuuden kehikon, jonka avulla voidaan tutkia sitä, miten alueet reagoivat häiriöihin, eli aluetaloudellista resilienssiä. Nämä neljä ulottuvuutta, jotka ovat vastustuskyky (*resistance*), toipuminen (*recovery*), uudelleen suuntautuminen (*reorientation*) ja uudistuminen (*renewal*), ovat yhteydessä toisiinsa ja muodostavat yhdessä aluetalouden resilienssin kokonaisuuden. *Vastustuskyvyllä* tarkoitetaan alueen herkkyyttä häiriöihin, kun taas *toipuminen* käsittelee näistä häiriöistä palautumista ja palautumisen nopeutta. *Uudelleen suuntautumisella* tarkoitetaan sitä, miten alue reagoi häiriöön aluetaloudellisen rakenteen muutoksella, ja millaisia vaikutuksia tällä on muun muassa alueen tuotantoon ja työllisyyteen. *Uudistumisella*

tarkoitetaan alueen kykyä palautua häiriötä edeltäneelle kasvun tasolle. Nämä ulottuvuudet voivat näkyä alueen reaktiossa häiriöihin eri tavalla, esimerkiksi alueen vastustuskyky häiriöille voi olla korkea, mutta alueella on vaikeuksia uudelleensuuntautumisessa. (Martin, 2012.)



**Kuvio 3: Aluetalouden resilienssin neljä ulottuvuutta ja hystereesivaikutus (mukaillen ja täydentäen Martin & Sunley, 2020)**

Kuviossa 3 on esitelty häiriön aiheuttamat mahdolliset hystereesivaikutukset aluetalouteen, sekä aluetalouden neljä eri ulottuvuutta. Skenaario c kuvaa tilannetta, jossa alue palaa samalle kasvutrendille ja myös kasvunopeus palautuu siihen, mitä se olisi ollut ilman häiriötä ja mitä se oli ennen häiriötä. Skenaario a. kuvaa tilannetta, jossa häiriön aiheuttama aluetalouden hystereesivaikutus on positiivinen, ja alueen työllisyyden tai tuotannon kasvutrendi sekä kasvunopeus nousevat verrattuna siihen, mitä ne oli ennen häiriötä. Tilanteessa b. hystereesivaikutus on myös positiivinen, ja alueen kasvutrendi nousee hetkellisesti, mutta kasvunopeus palaa siihen, mitä se oli ennen häiriötä. Skenaario d. kuvaa tilannetta, jossa aluetta kohtaa negatiivinen hystereesivaikutus, ja alueen kasvutrendi laskee, mutta alueen kasvunopeus palaa

samalle tasolle, mitä se oli ennen häiriötä. Tilanteessa e. alueen kohtaama negatiivinen hystereesivaikutus laskee alueen kasvutrendiä sekä kasvunopeutta.

Kuvion 3 alaosassa on havainnollistettu aluetalouden resilienssin neljää eri ulottuvuutta aikajanalla. Vastustuskyky kuvaa aikaa ennen häiriötä, kun taas toipuminen häiriön jälkeistä aikaa. Kun aikaa häiriöstä on kulunut enemmän, puhutaan yleensä siinä yhteydessä uudistumisesta tai uudelleen suuntautumisesta. On kuitenkin huomioitava, että ulottuvuudet ovat vuorovaikutuksessa keskenään, eivätkä irrallisia kokonaisuuksia (Martin, 2012). Tässä yhteydessä niitä on mallinnettu aikajanalla, koska halutaan selventää sitä, miten ulottuvuudet asemoituvat suhteessa alueen kohtaamaan häiriöön.

Vaikka resilienssin dynaamisuus ja sen prosessinomainen luonne korostuu sen eri ulottuvuuksien, tasojen ja tutkimussuuntauksien myötä, voidaan näiden lukuisten eri näkökulmien myös ajatella vaikeuttavan omalta osaltaan resilienssin tutkimista. Osa tutkimuksista myös käsittelee resilienssiä ilman, että tutkimuksessa välttämättä määritellään tarkemmin, mitä resilienssillä siinä yhteydessä tarkoitetaan (Martin & Sunley, 2020).

Kuten jo aiemmin mainittu, ei resilienssin määritelmälle tai empiiriselle mittaamiselle ole yhtä yhtenäistä käsitystä, mikä omalta osaltaan lisää kritiikkiä resilienssin ympärilyöreydestä. Aluetalouden resilienssiä voidaan tarkastella esimerkiksi tapaustutkimuksen keinoin tai hyödyntäen erilaisia indeksejä. Tutkimuksessa voidaan myös hyödyntää aikasarjoja tai syy-seuraussuhteiden tarkastelua. Aluetalouden resilienssiä tutkitaan yleisesti käyttäen hyväksi muutoksia työllisyydessä tai bruttokansantuotteessa (BKT) (Martin ym., 2016; Sensier, Bristow & Healy, 2016). On kuitenkin huomioitava, että nämä kaksi mittaria voivat antaa erilaisia tuloksia alueen resilienssistä. Työllisyys ja talouden suorituskyky voivat reagoida talouden häiriöihin eri tavalla, tai jopa päinvastaisesti (Martin, 2012; Sensier ym., 2016).

Martin (2012) toteaa, että työllisyyden käyttäminen resilienssin mittaamiseen bruttokansantuotteen sijaan on suotavampaa, sillä talouden häiriöt heijastuvat työllisyyteen pidemmällä aikavälillä kuin tuottavuuteen. Häiriön vaikutukset työllisyyteen ovat kauaskantoisempia ja perusteellisempia. Tuottavuus palaa usein

häiriötä edeltäneelle kasvun tasolle työllisyyden jäädessä häiriön jalkoihin. (Martin, 2012.) On myös huomioitava, mitä mahdollinen tutkittava muuttuja saattaa jättää huomiotta. Esimerkiksi kiertotaloustutkimuksen näkökulmasta voidaan todeta, että vaikka bruttokansantuote on yleinen mittari, kun halutaan tutkia kokonaisvaltaisia talousvaikutuksia, jättää se myös huomiotta monia kiertotalouden ulottuvuuksia, kuten mahdolliset ympäristökustannukset (Ellen MacArthur Foundation, 2015, s.46-47).

Aluetalouden resilienssiä tutkittaessa on olennaista ottaa huomioon mahdolliset vertauskohdat; tutkitaanko esimerkiksi alueen resilienssiä käyttäen vertauskohtana alueen aikaisempaan työllisyyttä tai suorituskykyä, eli tutkitaanko niin sanottua alueen absoluuttista resilienssiä (Martin, 2012) vai vertaillaanko alueella tapahtuneita työllisyyden ja suorituskyvyn muutoksia muihin alueisiin (Martin & Sunley, 2020). Aluetalouden resilienssin tutkiminen ja siitä saatavat tulokset, sekä tulosten mahdollinen toistaminen riippuu myös pitkälti siitä, mitä aikaväliä tutkimuksessa tarkastellaan, ja eri aikaväleillä saatetaan saada hyvinkin erilaisia tutkimustuloksia (Brown & Greenbaum, 2017). On myös muistettava, että erilaiset talouden häiriöt saavat aikaan erilaisia reaktioita alueissa, jolloin yhteen talouden häiriöön kohdistuvat tutkimustulokset eivät välttämättä ole toistettavissa toisen häiriön kohdalla (Brown & Greenbaum, 2017).

Aluetaloudellisen resilienssin tutkimisen haasteena on siis resilienssin niin sanottu mittaaminen ja johtopäätösten tekeminen aluetalouden resilienssistä. Toisinaan resilienssin tutkimuksessa voi olla haastavaa erottaa, mikä on syy ja mikä seuraus, etenkin kun tutkitaan alueellista resilienssiä, johon vaikuttavat myös yksilöiden ja organisaatioiden resilienssi. Voikin olla vaikeaa erottaa, onko esimerkiksi organisaation resilienssi aluetalouden resilienssin sanelemaa, vai onko syy-seuraussuhde päinvastainen. (Boschma, 2017.)

Aluetaloudellista resilienssiä tutkittaessa ongelmaksi muodostuu usein myös se, miten tutkittavat alueet on määritelty. Usein tutkimuksessa käytetään virallisesti määriteltyjä alueita, mutta jotka ovat tutkimuspäämäärien näkökulmasta suorastaan mielivaltaisesti määriteltyjä. On siis tärkeää tunnistaa, että virallisesti määriteltyjen alueiden rajat ovat usein häilyviä ja ne ovat usein vuorovaikutuksessa keskenään, mikä voi osaltaan vaikeuttaa tutkimustulosten tulkintaa. (Martin, 2012.) Esimerkiksi voidaan ottaa Lapin

maakunta ja sen sisältämät heterogeeniset, pienemmät talousalueet. Nämä talousalueet eroavat hyvin paljon toisistaan talouden tuottavuuden ja työllisyyden näkökulmasta. Lapin maakuntaa kokonaisuutena tutkittaessa näiden yksittäisten, elinvoimaisten talousalueiden työllisyys- ja tuotantovaikutukset voivat vääristää kuvaa koko Lapin maakunnan resilienssistä.

Aluetalouden resilienssin muodostumisen voidaan todeta olevan prosessi, johon vaikuttavat alueen talouden ominaispiirteet, alueen talouden rakenteet sekä alueen toimijoiden vuorovaikutussuhteet. Tällaisia rakenteellisia ominaisuuksia voivat olla muun muassa alueen toimialarakenne, innovaatiot, instituutiot, resurssit sekä työmarkkinatilanne. (Martin & Sunley, 2015.) Tässä tutkielmassa käsitellään tarkemmin näistä viidestä kolmea ensimmäistä, eli toimialarakenteen, innovaatioiden ja instituutioiden vaikutusta aluetalouden resilienssiin kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden viitekehyksessä. Resursseja ja työmarkkinatilannetta käsitellään näiden kolmen edellä mainitun tekijän ohessa.

Aluetalouden rakenteelliset tekijät ovat yhteydessä ja vuorovaikutussuhteessa toisiinsa, sekä alueen toimijoihin (Martin & Sunley, 2015). Yhteisenä tekijänä näille rakenteille voidaankin todeta, että alueen aiemmalla talouskasvulla ja aiemmin koetuilla häiriöillä on suuri merkitys näiden rakenteiden muokkautumiseen (Martin, 2012). Mikäli alueella on taustaa vahvasta talouskasvusta ja kyvystä palautua, on todennäköisempää, että häiriön vaikutukset alueen talouteen eivät ole niin suuret eli alue on resilientimpi (Martin, 2012). Osasyynä tähän voi olla se, että häiriöt ja niiden vaikutukset voivat muovata alueiden rakenteita pysyvästi, muovaten täten myös alueen resilienssiä (Martin, 2012). Alue voi häiriön jälkeen esimerkiksi uudelleen oireintoitua siten, että sen toimialarakenteen painotus siirtyy hitaammin kasvavilta toimialoilta kilpailukykyisemmille toimialoilta (Martin, 2012). Tietyllä toimialalla koetut negatiiviset vaikutukset voivat ajaa toimijoita ja työvoimaa pois alalta muille toimialoilta. Voidaankin siis todeta, että aiemmat talouden häiriöt ovat myös osatekijä alueen resilienssin rakentumisessa.

Alueen aiempi talouskasvu, ja se, miten häiriöt ovat muovanneet alueen rakenteita, voi toisaalta tuoda alueelle mahdollisuuksia, mutta myös rajoittaa alueen ja sen toimijoiden toimintaa. Esimerkiksi vahvat yhteistyöverkostot ja laaja

institutionaalinen tuki erilaisille liiketoimintamahdollisuuksille voivat tarjota mahdollisuuden laajentaa liiketoimintaa erilaisille toimialoille, mihin alueella on esimerkiksi totuttu (Boschma, 2017). Toisaalta perinteiset toimialarakenteet, yhteistyöverkostojen tai institutionaalisten kannustimien ja mahdollistajien puute voivat hankaloittaa toimialarakenteen monipuolistumista ja laajentumista (Boschma, 2017).

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan aluetalouden resilienssin erilaisia tekijöitä. On kuitenkin huomioitava, että näitä aluetalouden resilienssiin vaikuttavia tekijöitä on useampia, ja tässä tutkielmassa on esitelty vain osa näistä tekijöistä. Onkin siis selvää, ettei näillä tekijöillä ole mahdollista selittää aluetalouden resilienssiä kokonaisuudessaan, vaan tällainen tutkimus vaatii useamman tekijän tarkastelua.

### 3.2.1 Aluetalouden resilienssi ja toimijuus

Aluetalouden resilienssin tutkiminen on pitkälti keskittynyt siihen, miten talouden rakenteet vaikuttavat resilienssiin, ja monissa tutkimuksissa talouden toimijoiden (agents) vaikutusta alueen resilienssiin jää taka-alalle tai se on täysin sivutettu. (David, 2018; Bristow & Healy, 2014; Kurikka & Grillitsch, 2021.) Tämän näkökulman puuttuminen voi johtaa vääristyneeseen, epärealistiseen kuvaan alueen resilienssin kehitysprosessista (Davoudi, 2012). On jopa esitetty, että talous on järjestelmä, joka ei ikinä voi olla tasapainopisteessä, sillä sen toiminta ja suunta riippuu täysin toimijoista, jotka alati muuttavat käyttäytymistään, oppien ja innovoiden tarpeen mukaan (Simmie & Martin, 2010).

Yksilöillä ja organisaatioilla ajatellaan olevan omat resilienssinsä ja tekijät, jotka vaikuttavat niiden resilienssin rakentumiseen. Yksilöiden ja organisaatioiden resilienssi ja aluetalouden resilienssi ovat yhteydessä toisiinsa. (Martin, 2012.) Tässä tutkielmassa yksilöistä ja organisaatioista (yritykset) ollaan kuitenkin kiinnostuneita enemmänkin toimijuuden (agency) näkökulmasta. Toimijuudella tarkoitetaan yksilöiden tai niiden muodostamien organisaatioiden tietoisia ja tarkoituksenmukaisia tekoja, joiden seuraukset voivat tosin olla toisinaan myös tahattomia (Grillitsch & Sotarauta, 2020). Alueiden rakenteet ja yksilöiden ja organisaatioiden toiminta eivät ole toisistaan erillisiä tekijöitä, vaan yksilöiden ja organisaatioiden toiminnan

tiedetään vaikuttavat alueiden rakenteisiin ja toisaalta myös alueen rakenteet muovaavat yksilöiden ja organisaatioiden toimintaa (Giddens, 1984).

Toimijat voivat omalla aktiivisella toiminnallaan vaikuttaa alueen talouden tilaan, rakenteisiin ja kehitykseen esimerkiksi innovaatioiden ja teknologian kautta (Davoudi, 2012). Etenkin yksilöiden kollektiivisella toiminnalla voi olla suuri vaikutus alueen rakenteiden muovautumisessa. Tärkeää onkin siis huomioida etenkin toimijoiden välisten vuorovaikutussuhteiden ja niistä syntyvän toiminnan merkitys. (Bristow & Healy, 2014.) Toimijoiden ja niiden välisistä vuorovaikutussuhteista syntyvä toiminta voi pahimmillaan huonontaa tai parhaimmillaan ylläpitää tai jopa parantaa resilienssiä. (Davoudi, 2012.) Aluetalouden voidaankin tulkita olevan yksittäisten, erilaisten talouden toimijoiden (yksilöiden ja organisaatioiden) toiminnan sekä niiden keskinäisen vuorovaikutuksen kokonaissumma (Bristow & Healy, 2014).

Yksilöt ja organisaatiot, kuten myös alueet, reagoivat kohtaamiinsa muutoksiin eri tavoin, ja myös niiden reaktiot riippuvat rakenteellisista eroavaisuuksista, käytössä olevista resursseista sekä ympäristön asettamista rajoitteista. Nämä yksilöiden ja organisaatioiden kokemat muutokset ja niiden reaktiot muutoksiin heijastuvat aluetalouden resilienssiin. Yksilöt voivat esimerkiksi kriisin seurauksena menettää työnsä ja muuttaa muualle asumaan, mikä toisaalta laskee alueen työttömyyttä ja täten hetkellisesti edesauttaa alueen resilienssiä, mutta kyseinen työvoiman menetys voi aiheuttaa tietotaidon menetyksen, joka olisi pidemmällä tähtäimellä voinut parantaa alueen resilienssiä. (Martin, 2012.)

Yksilöiden ja organisaatioiden resilienssiä, eli käyttäytymistä erilaisten häiriöiden kohdalla voidaan tarkastella kolmen eri vaiheen kautta; varautuminen (anticipation), reagointi (react) ja muuntautuminen (transform). Varautumisella tarkoitetaan sitä, miten yksilöt tai organisaatiot analysoivat olemassa olevaa tietoa ja varautuvat tiedon turvin mahdollisiin muutoksiin muuttamalla käyttäytymistään. Reagoinnilla tarkoitetaan sitä, miten yksilöt tai organisaatiot muuttavat käyttäytymistään kohtaamansa muutoksen yhteydessä. Muuntautumisesta puhutaan siitä yhteydessä, kun tarkastellaan, miten yksilöt tai organisaatiot muuttavat käyttäytymistään ja pyrkivät muuttamaan ympäristöään pidemmällä aikavälillä tehden siitä vahvemman. (Bristow & Healy, 2014.)



Talouden toimijat, yksilöt ja organisaatiot, muuttavat käyttäytymistään prosessinomaisesti ja jatkuvasti peilaten omia ominaisuuksiaan, kokemuksiaan, sekä ympäröiviä olosuhteita (Brown ja Westaway, 2011), ja nämä muutokset heijastuvat myös alueen talouden rakenteisiin (Giddens, 1984). Toimijoiden kehittämät innovaatiot voivat muuttaa alueen talouden rakenteita (Schumpeter, 1994, s.133–139). On kuitenkin huomioitava, että toisinaan myös alueen rakenteet saattavat rajoittaa toimijoiden innovointi kapasiteettia. Tästä syystä toimijoiden rooli instituutioiden näkökulmasta on myös huomattava, sillä sitä kautta toimijat voivat muovata alueen rakenteita, ja täten avata enemmän mahdollisuuksia innovaatioille. Koska näiden kahden toimijuuden välillä voidaan nähdä vuorovaikutussuhde, on selvää, että mahdollisimman tehokkaan rakennemuutoksen aikaansaamiseksi vaaditaan myös johtajuutta, johon paikallisjohtajat pyrkivät. Heidän tehtävänä on koordinoita innovaatioiden ja instituutioiden saralla toimivien toimijoiden toiminta mahdollisimman tehokkaaksi. (Grillitsch & Sotarauta, 2020). Erilaisten toimijatyyppeiden yhteistyön hyvänä esimerkkinä voitaisiin pitää alueittaisten innovaatioverkostojen toimintaa, joissa innovaatioiden parissa työskentelevät toimijat pystyvät jakamaan ja tuottamaan ideoitaan institutionaalisten toimijoiden ja paikallisjohtajien toimesta esimerkiksi kriittisten raaka-aineiden kiertotalouteen liittyen. Innovaatioverkostot voivat omalta osaltaan olla merkittävä tekijä alueen kilpailukyvyyn ja täten resilienssin vahvistamisessa (Martin ym, 2016).

Yhä enenevässä määrin leviää ajatus siitä, että alueelliset toimijat ovat vastuussa alueensa talouden tilasta. Tämän myötä merkitys alueellisista resursseista, etenkin henkilöresursseista, korostuu, jotta alueellinen päätöksenteko on ylipäätään mahdollista. (Martin & Sunley, 2020.) On siis selvää, että toimijoiden aktiivinen rooli aluetalouden resilienssin muodostumisessa sekä rakenteiden muovaajana että kehityksen mahdollistajana on tärkeä.

### 3.2.2 Toimialarakenteen vaikutus aluetalouden resilienssiin

Toimialarakenteen vaikutusta aluetalouden resilienssiin on tutkittu melko paljon. Vaikka kasvun aikana alueet voivat hyötyä erikoistuneesta, suppeasta toimialarakenteestaan (Brown ja Greenbaum, 2017), useat tutkimukset esittävät, että alueen monipuolinen toimialarakenne suojaa aluetta talouden häiriöiltä (Martin ym.

2016; Cainelli, Ganau & Modica, 2019; Martin & Sunley, 2020; Brown & Greenbaum, 2017). Toimialarakenteen vaikutuksesta aluetalouden resilienssiin on kuitenkin monia eri tulkintoja.

Toimialarakenteeltaan erilaisten alueiden reaktiot häiriöihin riippuvat ennen kaikkea siitä, millaisesta häiriöstä on kyse (Martin & Sunley, 2020). Alueet, jotka ovat toimialarakenteeltaan hyvinkin erikoistuneet tiettyyn toimialaan, ovat vähemmän alttiita toimialakohtaisille häiriöille. Mikäli häiriö kuitenkin koskettaa tätä tiettyä toimialaa, johon alue on erikoistunut, voi siitä aiheutua mittavia vahinkoja alueella. Toisaalta taas alueet, joiden toimialarakenne on hajautetumpaa, ovat alttiimpia toimialakohtaisille häiriöille. Vaikka riski toimialakohtaisen häiriön aiheuttamille vahingoille onkin näillä alueilla suurempi, eivät toimialakohtaiset häiriöt kuitenkaan vahingoita koko aluetaloutta, sillä toimialarakenteen monipuolisuus suojelee aluetta. (Boschma, 2017.)

Mikäli alueen toimialarakenne on pitkälti erikoistunut yhteen toimialaan, voivat tätä tiettyä toimialaa koskevan häiriön seuraukset olla kauaskantoisia, ja vaikuttaa koko alueen talouteen (Martin, 2012; Martin & Sunley, 2015). Varsinkin alueen toimialojen vertikaaliset vuorovaikutussuhteet toimialaketjujen ja yritysverkostojen muodossa voivat altistaa useita toimialoja erilaisille häiriöille (Cainelli ym., 2019; Simonen, Herala & Svento, 2020). Yhtä toimialaa tai jopa tällä toimialalla toimivaa yritystä kohtaava häiriö, tai sen strateginen päätös, voi aiheuttaa seurauksia useiden muiden toimialojen toimijoille, kuten palvelu- ja materiaalityöntekijöille ja erinäisille alihankkijoille (Cainelli ym., 2019; Simonen ym., 2020). Täten monitoimialaiset tuotanto- ja toimialaketjut voivat toisaalta altistaa koko talousalueen myös yksittäisiä toimialoja koskeville häiriöille.

Pahimmillaan toimialalähtöiset häiriöt ja niistä syntyneet negatiiviset vaikutukset koko talousalueelle voivat vaikuttaa negatiivisesti esimerkiksi alueelle suunnitella oleviin investointeihin (Martin, 2012). Toisin sanoen toimialakohtaiset häiriöt voivat pahimmassa tapauksessa supistaa alueen toimialarakennetta entisestään. Mikäli toimiala tai yritys, joka työllistää monia alueen toimijoita, kokee häiriön, voivat toimialakohtaisen häiriön negatiiviset vaikutukset realisoitua alueen toimijoiden kautta (Martin, 2012). Työpaikan menetys johtaa suoraan ostovoiman

heikkenemiseen, millä on suoria aluetaloudellisia vaikutuksia. Toimijat voivat myös päättää siirtyä alueelta muualle uusien työmahdollisuuksien perässä, vieden mahdollisesti mukanaan alueelle elintärkeää osaamista esimerkiksi innovaatioiden, uuden liiketoiminnan ja pahimmillaan toimialarakenteen laajenemisen näkökulmasta.

Toisaalta myös alueella hallitsevan toimialan tyyppi vaikuttavaa alueen kykyyn reagoida ja palautua häiriöistä. Esimerkiksi teollisuus- ja rakennusaloja pidetään herkempinä reagoimaan suhdannevaihteluihin kuin vaikkapa palvelu- tai teknologiaaloja (Martin, 2012; Giannakis & Bruggeman, 2017; Martin & Sunley, 2015). Toisaalta syy-seuraussuhteet eri toimialarakenteiden ja alueen resilienssin välillä eivät kuitenkaan ole itsestään selviä ja toista aina itseään, vaan vaikutukset ovat tapauskohtaisia ja riippuvat pitkälti siitä, mitä toimialoja häiriö koskettaan (Martin, 2012).

Voidaan kuitenkin todeta, että toimialarakenteen monipuolisuuden tuomat hyödyt aluetalouden resilienssin kannalta riippuvat mahdollisesti myös siitä, ovatko toimialat yhteydessä toisiinsa ja miten (Martin & Sunley, 2020). Xiao, Boschma ja Andersson (2018) esittävät, että monipuolinen toimialarakenne voisi tuoda alueelle resilienssihyötyjä riippumatta siitä, ovatko toimialat yhteydessä toisiinsa vai eivät. Toisaalta voidaan myös todeta, että toimialojen teknologinen samankaltaisuus voi antaa alueelle valmiuksia suojautua sen kohtaamilta häiriöiltä ainakin hetkellisesti. Mikäli alueella on useita eri toimialoja, joita yhdistää esimerkiksi samankaltaisten resurssien tarve, voidaan alueiden sisällä allokoida näitä resursseja toimialalta toiselle, mikäli häiriön vaikutukset eivät yllä kaikkiin toimialoihin. Toimialojen samankaltaisuudesta saatava resilienssihyöty vaikuttaisi kuitenkin olevan vain hetkellinen. (Cainelli ym., 2019.)

Toimialarakenteen monipuolisuuden tuomia hyötyä aluetalouden resilienssiä ajatellen voidaan kuitenkin myös kyseenalaistaa. Giannakis ja Bruggemanin (2017) tutkimustulokset ovat päinvastaiset kuin useat muut esitellyt tulokset. Heidän tutkimuksensa perusteella alueet, joiden toimialarakenne on hyvin erikoistunut tiettyyn alaan, hyötyivät toimialarakenteensa yksipuolisuudesta vuoden 2008 talouskriisin kourissa.

Vaikka yleisesti siis voidaankin ajatella, että toimialarakenteen monipuolisuus suojelee aluetta talouden häiriöiltä (Cainelli ym., 2019; Martin & Sunley, 2020), voidaan kuitenkin todeta, että häiriöiden vaikutukset alueen talouteen eivät suoranaisesti riipu alueen toimialarakenteesta, ja erityyppiset häiriöt aiheuttavat erilaisia reaktioita eri toimialarakenteen omaaville alueille. Voidaan myös todeta, että alueen toimialarakenteen lisäksi alueen koko, sekä hallitsevan toimialan tyyppi ovat tekijöitä, jolla voi olla vaikutusta siihen, millaisia vaikutuksia toimialarakenteella on alueen resilienssiin. Esimerkiksi Simonen ja kollegat (2020) totevat, että vaikka toimialarakenteen hajauttamisesta piilee kasvupotentiaalia, ja hajauttaminen voi suojata aluetta toimialakohtaisilta häiriöiltä, eivät pienemmän alueet välttämättä saavuta hajauttamisesta samoja hyötyjä kuin suuremmat alueet

### 3.2.3 Innovaatioiden vaikutus aluetalouden resilienssiin

Innovaatiokapasiteetti on yksi aluespesifeistä rakenteista, jotka voivat vaikuttaa alueen resilienssiin toimialarakenteen ohella. Innovaatiokapasiteetin vaikutukset aluetalouden resilienssiin voidaan yhdistää siihen, minkälaisia vaikutuksia innovaatioilla on toimialarakenteeseen. Alueen innovaatiokapasiteetin voidaan tulkita olevan avaintekijä monipuoliselle toimialarakenteelle, mutta toisaalta on myös esitetty, että monimuotoinen toimialarakenne ruokkii alueen innovaatioita (Simmie & Martin, 2010). Voidaan todeta, että innovaatioiden ja toimialarakenteen moninaisuuden välillä on nähtävissä oleva yhteys.

Bristow ja Healy (2018) toteavat, että innovaatiot eivät kuitenkaan ole pelkästään osatekijä alueen toimialarakenteen muutoksessa, vaan innovaatiot ennen kaikkea heijastelevat alueen toimijoiden kykyä reagoida häiriöihin ja muuttaa toimintaansa näiden häiriöiden seurauksena. Innovaatiotoiminnan ja toteutumisen kohdalla korostuukin toimijoiden merkitys aluetalouden resilienssin rakentajina.

Innovaatioiden vaikutusta resilienssiin voidaan mallintaa ja mitata erilaisin tavoin. Bristow ja Healy (2018) tutkivat innovaatioiden vaikutusta resilienssiin Euroopan alueilla vuosien 2007-2008 talouskriisiä vasten hyödyntäen useita innovaatiokapasiteetin indikaattoreita. Tutkimuksessa on hyödynnetty vuosittaisia työllisyystilastoja vuodesta 2001 vuoteen 2011. Bristow ja Healy (2018) mittaavat

resilienssiä havainnoimalla erikseen jokaiselle alueelle, milloin alue saavutti uudelleen sen häiriötä edeltäneen talouden tilan, eli tutkimus keskittyy häiriön jälkeiseen alueen toipumiseen ja uudistumiseen. Tässä tutkimus seuraa Martinin (2012) käsitystä absoluuttisesta resilienssistä, eli alueen palautumista häiriöstä tarkastellaan suhteessa alueen häiriötä edeltäneeseen tilaan, eikä niinkään vertailemalla muihin alueisiin ja niiden palautumiseen.

Tutkimuksessa innovaatioita mallinnetaan Euroopan komission alueellisen innovaatiopisteytyksen avulla, jota on mallinnettu taulukossa 1 (Euroopan komissio, 2012; Euroopan komissio, 2014). Innovaatiopisteytykseen vaikuttavat tekijät on jaoteltu kolmeen eri kategoriaan; innovaatioiden mahdollistajat, innovaatiotoiminta ja innovaatioiden tuotokset. Innovaatiopisteytyksen eri osa-alueiden eri tekijät ovat joko suoraan tai epäsuorasti yhteydessä alueelliseen innovaatio suorittamiseen. Innovaatioiden mahdollistajat liittyvät väestön korkeakoulutukseen, tekniseen tuotantoon työllistymiseen ja sekä tuotekehityksen julkiseen rahoitukseen. Innovaatioiden mahdollistajat mahdollistavat innovaatiotoiminnan ja edelleen innovaatioiden tuotokset. Innovaatiotoiminta mittaa yritysten osallisuutta ja rahallista panostusta tuotekehitykseen ja muuhun innovaatiokehitykseen, joka taas edesauttaa innovaatioiden tuotoksien realisoitumista. Innovaatioiden tuotokset kuvaavat innovaatioita kehittäneiden yritysten määrää, sekä näiden innovaatioiden myyntiä. (Bristow & Healy, 2018.)

Tutkimuksessa alueet on ryhmitelty innovaatiopisteiden perusteella neljään eri klusteriin, jotka näkyvät taulukossa 3; innovaatiojohtajat, innovaatioiden seuraajat, maltilliset innovoijat ja vaatimattomat innovoijat. Suurin osa alueista kategorisoituu innovaatiopisteytyksen puolesta innovaatioseuraajiksi, toiseksi suurin ryhmä ovat vaatimattomat innovoijat, kolmanneksi suurin ryhmä maltilliset innovoijat ja pienin ryhmä on innovaatiojohtajat. (Bristow & Healy, 2018.)

Taulukossa 4 on esitetty eri innovaatioklustereiden jakautuminen resilienssin eri vaiheisiin. Vastustuskykyisillä alueilla tarkoitetaan niitä alueita, joiden työllisyyteen mitatulla häiriöllä ei ollut vaikutusta. Toipuneet alueet ovat alueita, joiden työllisyys laski häiriön seurauksena, mutta jotka pystyivät palautumaan häiriöstä vuoteen 2011 mennessä. Alueet, jotka eivät toipuneet häiriöstä on jaoteltu kahteen ryhmään. Ei

toipuneilla (noususuhdanne) tarkoitetaan alueita, joiden työllisyys ei palannut häiriötä edeltäneelle tasolle vuoteen 2011 mennessä, mutta joiden työllisyys oli nousuhdanteessa. Ei toipuneilla (ei noususuhdanteessa) tarkoitetaan niitä alueita, joiden työllisyys ei palautunut häiriötä edeltäneelle tasolle vuoteen 2011 mennessä, ja joiden työllisyys ei myöskään ollut noususuhdanteessa.

**Taulukko 3: EU:n alueellinen innovaatiopisteytys (mukailien Bristow & Healy, 2018; Euroopan komissio 2012; Euroopan komissio 2014)**

<b>Innovaation mahdollistajat</b>	<p>Korkeakoulutettujen osuus väestöstä sataa 25–64-vuotiasta kohti</p> <p>Julkiset tuotekehitys kulut (% BKT:sta)</p> <p>Työllistyminen osaamisvaltaisiin palveluihin + Työllistyminen korkean keskitason / huipputeknologian tuotantoon koko työvoimasta (% koko työvoimasta)</p>
<b>Innovaatiotoiminta</b>	<p>Yritysten tuotekehityskulut (% BKT:sta)</p> <p>Muut innovaatiokehitys kulut (ei tuotekehityskulut) (% koko liikevaihdosta)</p> <p>Innovaatioita kehittelevät pienet ja keskisuuret (PK) yritykset (% kaikista PK-yrityksistä)</p> <p>PK-yritykset, jotka kehittelevät innovaatioita yhteistyössä muiden kanssa (% kaikista PK-yrityksistä)</p> <p>Julkisen ja yksityisen sektorin yhteisjulkaisut</p> <p>Euroopan patenttinvirastoon tulleet hakemukset suhteessa miljardiin bruttokansantuotteen arvoon (korjattuna ostovoimapariteetilla, ilmaistuna euroissa)</p>
<b>Innovaatioiden tuotokset</b>	<p>Teknologisten innovaatioiden kehittäjät (tuotteet tai prosessit) (% kaikista PK-yrityksistä)</p> <p>Muiden kuin teknologisten innovaatioiden kehittäjät (markkinointi tai organisatorinen) (% kaikista PK-yrityksistä)</p> <p>Markkinoille tuotujen uusien innovaatioiden tai yrityksille uusien innovaatioiden myynnin osuus liikevaihdosta (% koko liikevaihdosta)</p>

**Taulukko 4: EU-alueiden jako klustereihin innovaatiopisteytyksen perusteella (mukailen Bristow & Healy, 2018)**

	Vastustus- kykyiset		Toipuneet		Ei toipuneet (noususuhdanne)		Ei toipuneet (ei noususuhdanteessa)		Yhteensä	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Innovaatiojohtajat	6	17,1	16	46	12	34,3	1	2,9	35	18,8
Innovaatioseuraajat	4	6,8	12	20	27	45,8	16	27,1	59	31,7
Maltilliset innovoijat	1	2,5	6	15	19	47,5	14	35	40	21,5
Vaatimattomat innovoijat	7	13,5	3	5,8	17	31,7	25	48,1	52	28
Yhteensä	18	9,7	37	20	75	40,3	56	30,1	186	100

Taulukossa 3 on esitelty Bristowin ja Healyn (2018) tutkimuksen tulokset, sekä miten eri innovaatiopisteytyksen perusteella jaotellut alueet jakautuvat resilienssin eri vaiheisiin. Taulukosta voidaan tarkastella, onko innovaatioilla tämän tutkimuksen mukaan vaikutusta aluetalouden resilienssiin. Verrokkiluku on 100, joka tarkoittaa sitä, ettei innovaatioilla ole vaikutusta resilienssiin. Jos luku on alle 100 on syytä olettaa, ettei kyseinen innovaatioklusteri ole yhteydessä kyseiseen resilienssin osa-alueeseen vastoin yleisjakauman luomia odotuksia. Mikäli arvo on suurempi kuin 100 on syytä olettaa, että kyseinen innovaatioklusteri on yhteydessä kyseiseen resilienssin osa-alueeseen. Tuloksista on poistettu Puolan alueet, joiden määrä oli vähäinen, mutta jotka olivat yliedustettuina maltillisten innovoijien klusterissa, vinoumien eliminoimiseksi. (Bristow & Healy, 2018.)

**Taulukko 5: Innovaatioklustereiden yhteys resilienssiin\* (mukailen Bristow & Healy, 2018)**

	Vastustus- kykyiset	Toipuneet	Ei toipuneet (noususuhdanne)	Ei toipuneet (ei noususuhdanteessa)
Innovaatiojohtajat	291,4	222	83,3	8,8
Innovaatioseuraajat	115,3	98,8	111,4	83,3
Maltilliset innovoijat	0	74,7	118,3	111
Vaatimattomat innovoijat	0	13,1	78,8	200,5
Yhteensä	100	100	100	100

\* Tuloksista on poistettu Puolan alueet, jotka olivat yliedustettuina maltillisissa innovoijissa

Tutkimuksen tuloksia voidaankin siis tulkita siten, että innovaatioilla on yhteys resilienssiin, sillä alueen korkeampi innovaatiopisteytyys indikoi parempaa vastustuskykyä tai palautumista vuoden 2007–2008 talouskriisistä. Innovaatiojohtajien voidaan tulkita olevan suurimmaksi osaksi vastustuskykyisiä vuoden 2007–2008 talouskriisille työllisyystilastojen perusteella. Vaatimattomien



innovojien osalta taas voidaan todeta, että suurin osa näistä tämän kategorian tutkituista EU alueista ei ole toipunut talouskriisistä, eikä työllisyys näyttäydynoususuhdanteisena.

Bristown ja Healyn (2018) tutkimustuloksien perusteella voidaan siis todeta, että epäsuorilla ja suorilla innovaatiotekijöillä on merkitys aluetalouden häiriöiden vastustuskykyisyyteen sekä häiriöistä toipumiseen. Tutkimuksessa käytetyn Euroopan komission (2012; 2014) kehittämän innovaatiopisteytyskehikon perusteella voidaan todeta, että innovaatioita tukevalla koulutuksella, teknisen tuotannon työllistämisaikutuksilla, rahoituksella, sekä taloudellisella panostuksella tuotekehitykseen ja muuhun innovaatiokehitykseen niin julkishallinnon kuin yritysten osalta on vaikutus siihen, millaiset mahdollisuudet alueella on tuottaa innovaatioita ja täten millainen vaikutus innovaatioilla voi olla aluetalouden resilienssiin.

Innovaatiopisteytyksen ohella alueen innovaatiokapasiteettia on tutkittu esimerkiksi patenttien avulla (katso Shapira & Youtie, 2008; Clark, Huang & Walsh, 2010). Monimuuttujamenetelmällä on kuitenkin omat vahvuutensa, koska se ottaa huomioon innovaatiokapasiteettiin vaikuttavat suorat ja epäsuorat tekijät. Kaikkia innovaatioita ei patentoida, joten esimerkiksi pelkkien patenttien käyttämien innovaatiokapasiteetin mittaamiseen voi vääristää tuloksia. On kuitenkin huomioitava, että Bristown ja Healyn (2018) monimuuttujamenetelmä -tutkimukseen ei pysty kokonaan selittämään alueiden resilienssiä pelkkien innovaatioiden avulla, kuten tutkimuksen lopullisista tuloksista eliminoidut Puolan alueet osoittavat.

Innovaatioiden osalta myös innovaatioverkostoilla voi olla suuri merkitys alueen innovaatiotoiminnassa, joka kytkee institutionaaliset tekijät resilienssiä selittävinä tekijöinä innovaatioihin. Innovointiverkostoja ja niiden tehokkaan toiminnan edellytyksiä tarkastellaan vielä tarkemmin seuraavassa luvussa.

#### 3.2.4 Instituutioiden vaikutus aluetalouden resilienssiin

Instituutioilla tarkoitetaan yksilöiden luomia raameja, jotka sääntelevät yksilöiden välisiä vuorovaikutuksia ja niiden seurauksia. Säännöt voivat koskea esimerkiksi taloutta, politiikkaa tai sosiaalisia olosuhteita. (North, 1990.) Alueellista näkökulmaa

tarkasteltaessa on huomioitava, että alueellisten instituutioiden lisäksi alueisiin vaikuttavat myös kansallisella, kansainvälisellä tai esimerkiksi EU-tasolla tehdyt päätökset, riippuen alueesta. On selvää, että nämä eri tasoilla tehdyt päätökset voivat toisaalta merkittävästi erota alueellisista intresseistä, sillä ne on tehty kansallista tai suurempaa kokonaiskuvaa arvioiden.

Keskitettyt hallinnolliset päätökset voivat rajoittaa ja toisaalta myös mahdollistaa aluetaloudellisten rakenteiden uudistumista ja vaikuttavat sitä kautta aluetalouden resilienssiin. Kakerdin Ja Tasopouloun (2017) tapaustutkimus Kreikan Länsi-Makedonian alueelta osoittaa, että kansallisella tasolla tehdyt poliittiset päätökset voivat vaikuttaa merkittävästi, positiivisesti aluetalouden resilienssin rakentumiseen ainakin hetkellisesti, mutta aluetason poliittista päätäntää tarvitaan kansallisen poliittisen päätännän ohella tukemaan aluetalouden kehitystä ja kykyä vastustaa ja toipua häiriöistä. Tutkimus osoittaa, kuinka merkittävä vaikutus eri tason hallinnollisten instituutioiden, sekä alueellisten toimijoiden yhteistyöllä ja vuorovaikutuksella voi olla alueellisessa päätöksenteossa, joka samalla tukee alueen kehitystä sekä resilienssiä. Täten voidaan todeta, että myös alueellisilla instituutioilla voi olla merkittävä rooli aluetalouden reaktiokykyyn ja palautumiseen häiriöistä.

Instituutioiden merkitystä aluetalouden resilienssin prosessissa voidaan pitää huomioitavana etenkin innovaatioiden näkökulmasta. Alueet, joiden asema innovaatioiden suhteen on vahva, ovat usein niitä, joiden instituutiotekijät tukevat innovaatioprosesseja esimerkiksi hallinnollisin keinoin tai innovaatioverkostojen välityksellä. Tällaisia hallinnollisia keinoja voivat olla esimerkiksi erilaisten tuote- ja innovaatiokehityshankkeiden rahoitus sekä koulutusmahdollisuudet, jotka tukevat innovointia ja kehitystä. (Bristow & Healy, 2018; Simonen ym, 2020). Hallinnollisiin keinoihin voidaan ajatella lukeutuvan myös erilaiset lainsäädännölliset elementit, jotka esimerkiksi rajoittavat tai mahdollistavat tietynlaisten materiaalien tai teknologioiden käytön ja sitä kautta voivat vaikuttaa uudenlaisten innovaatioiden ja liiketoiminnan syntyyn.

Innovaatioverkostot tarjoavat alueen toimijoille ja yrityksille mahdollisuuksia jakaa resurssejaan verkoston jäsenten kesken. Resurssit voivat olla erilaisia eri verkostoissa, mutta innovaatioiden tapauksessa niiden voidaan ajatella olevan esimerkiksi erilaisia

teknologioita, tietoa tai osaamista. (Sotarauta, 2010.) Jakamalla olemassa olevia resurssejaan verkoston yritykset voivat kiihdyttää omia innovaatio- tai tuotekehitysprojektejaan, jonka aikana kerätty tietotaito sekä valmistuneet lopputuotteet voivat taas hyödyttää verkostoa entisestään.

Innovaatioverkoston jäsenillä voi olla hallussaan hyvinkin eri määrä resursseja. Täten verkoston toiminnassa voi korostua yhden yksittäisen tai muutaman toimijan merkitys. On selvää, että mikäli yksittäinen tai muutama toimija on liian suuressa roolissa innovaatioverkostojen toiminnassa, voi tämän yksittäisen tai näiden muutamien toimijoiden kaatuminen aiheuttaa vakavia seurauksia verkoston muille toimijoille, tai koko alueelle (Simonen ym., 2020; Martin & Sunley, 2015). Voitaisiinkin siis todeta, että vaikka innovaatioverkostojen toimintaa luonnollisesti määrittävät usein ne yritykset, joilla on esimerkiksi kehittynein teknologia tai uusin tieto, voi esimerkiksi aluehallinnon olla mahdollista vahvistaa ja suojata innovaatioverkostojen toimintaa institutionaalisin keinoin pyrkimällä tasapainottamaan verkoston vuorovaikutussuhteita ja vahvistamaan myös muiden innovaatioverkoston toimijoiden asemaa verkostossa.

Simonen ja kollegat (2020) esittävät, että aluehallinnollisilla toimilla ja päätöksillä voi olla suuri merkitys alueiden häiriöistä toipumisessa sekä palautumisesta. Esimerkiksi uudet rahoitusmallit sekä koulutusprojektit voivat parantaa alueen vastustuskykyä vastaaville talouden häiriöille sekä niistä toipumiselle. Näiden aluehallinnollisten päätösten ja suunnitelmien realisoitumiseen vaikuttaa toki alueen toimijoiden aktiivisuus sekä esimerkiksi heidän innokkuutensa ja oma motivaationsa tarttua näihin päätöksien aikaansaamiin mahdollisuuksiin. (Simonen ym., 2020.) Voidaankin siis todeta, että instituutiot pystyvät mahdollistamaan esimerkiksi erilaisia resursseja, joita innovaatiot ja uudet liiketoimintamallit voivat edellyttää, kuten taloudellisia resursseja sekä osaamisen kehittämistä, mutta näiden instituutioiden tarjoamien mahdollisuuksien vaikutukset aluetalouden resilienssiin ovat kiinni siitä, miten talouden toimijat niitä hyödyntävät, ja seuraako niistä täten vaikutuksia edelleen alueen innovaatioihin ja toimialarakenteeseen.

Instituutioiden merkitys aluetalouden näkökulmasta kiteytyy ennen kaikkea siihen, miten ne kykenevät tarjoamaan alueen toimijoille mahdollisuuksia rakentaa

vuorovaikutussuhteita muiden alueen toimijoiden kanssa sekä hyötyä näistä vuorovaikutussuhteista ja muiden toimijoiden resursseista. Instituutionalliset toimijat voidaan nähdä erilaisten verkostojen mahdollistajina, joiden tuloksena voi olla esimerkiksi uusia innovaatioita tai uusia toimialoja alueelle. Instituutionaalisten toimijoiden tehtävänä on tunnistaa alueen tarpeet, aktivoida tarpeen kannalta olennaisia toimijoita, kuten yrityksiä ja päättäjiä, ja tutkia, missä määrin tähän tarpeeseen voidaan ja ollaan valmiita reagoimaan, sekä lopulta koordinoida erilaisia toimia, joita tarvitaan jaettujen intressien saavuttamiseksi. (Sotarauta, 2010.)

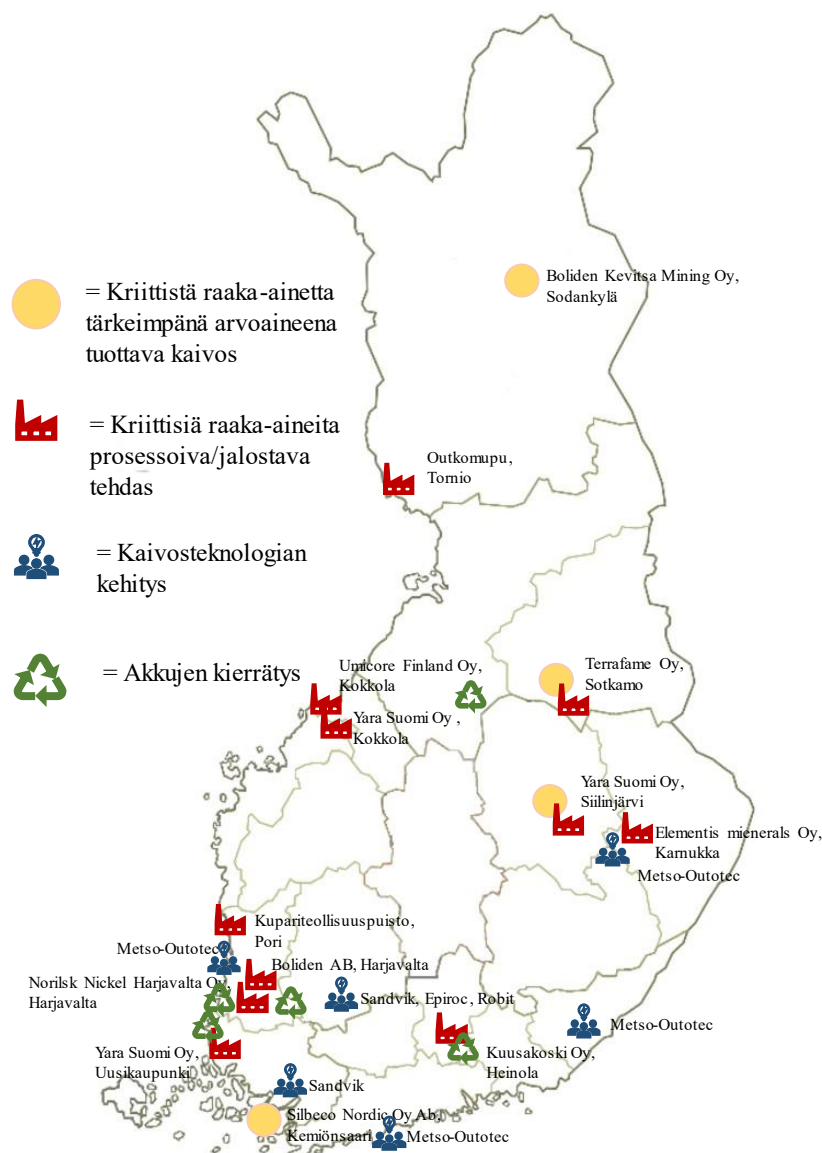
## **4 KRIITTISTEN RAAKA-AINEIDEN KIERTOTALOUS JA ALUETALouden RESILIENSSI SUOMESSA**

Tässä luvussa tarkastellaan kriittisten raaka-aineiden tuotannon, hyödyntämisen ja kiertotalouden tilaa Suomessa. Luvussa tarkastellaan kiertotalousmahdollisuuksia, edellytyksiä sekä haasteita, sekä sitä, millaisia vaikutuksia kriittisten raaka-aineiden kiertotaloudella voi tutkielmassa aikaisemmin esiteltyihin aluetalouden resilienssiin vaikuttaviin rakenteisiin Suomessa.

### **4.1 Kriittisten raaka-aineiden tuotanto Suomessa**

Suomi on EU-tasolla merkittävä kriittisten raaka-aineiden tuottajamaa (Vasara ym., 2023, s.65). Suomessa on useita kriittisten raaka-aineiden esiintymiä ympäri maata (Geologian tutkimuskeskus, N.d.b). Suomesta on löydetty EU:n määrittelemistä kriittisistä raaka-aineista seuraavia: antimoni, beryllium, fosfaatti, grafiitti, koboltti, kupari, litium, maasälpä, nikkeli, niubium, platina/palladium, harvinainen maametalli, skandium, titaani, vanadiini sekä volframi (Geologian tutkimuskeskus, N.d.b). Käytännössä siis lähes kaikkia EU:n tunnistamia raaka-aineita eli Suomella on Euroopan mittakaavassa erittäin merkittävä potentiaali. Näiden kriittisten raaka-aineiden esiintymien lisäksi Suomessa on muitakin mineraaliesiintymiä, jotka sisältävät kriittisiä raaka-aineita, mutta joissa kriittiset raaka-aineet eivät ole esiintymän tärkein arvoaine (Geologian tutkimuskeskus, N.d.b).

Suomessa olevista kriittisten raaka-aineiden esiintymistä neljässä toimii aktiivinen kaivos. Siilinjärven kaivoksella tuotetaan fosfaattia, Sodankylässä tuotetaan kobolttia, kuparia, nikkeliä sekä platinaa ja palladiumia, Sotkamossa tuotetaan kobolttia, kuparia ja nikkeliä, ja Kemiönsaarella tuotetaan maasälpää. Nämä kaivokset on esitelty kartalla kuviossa 5. Näiden tuottavien kaivosten lisäksi Suomessa on vireillä useita kaivoshankkeita, jotka eivät kuitenkaan ole vielä tuotantovaiheessa, mutta joissa on meneillään ympäristövaikutusten arviointi- tai ympäristölupaprosessi. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto [Tukes], N.d.; Geologian tutkimuskeskus, N.d.b.)



**Kuvio 4: Kriittisten raaka-aineiden tuotannon kannalta olennaiset louhokset, sekä kaivosteknologiaa kehittävät, jatkojalostavat tai kierrättävät tahot (mukailien Tukes, N.d.; Geologian tutkimuskeskus, N.d.a.) (alkuperäinen kuva Paasikivi, 2017, Wikimedia Commons)**

Kuviossa 5 (Kartta) on esitelty ne kaivokset ja tehtaot, joissa yksi tai useampi kriittisistä raaka-aineista on tärkeimpänä arvoaineena, tai muutoin tuotannon kannalta merkittävässä roolissa. Tehtailla tarkoitetaan tässä yhteydessä niitä tuotantolaitoksia, joissa valmistetaan kriittisistä raaka-aineista valmista, jatkojalostuskelpoista materiaalia, joka voidaan edelleen jatkojalostaa osiksi tai lopputuotteiksi.

Kartasta voidaan nähdä, että kriittisiä raaka-aineita tärkeimpänä arvoaineena tuottavat kaivokset sijaisevat Lapissa, Sodankylässä (Boliden Kevitsa Mining Oy) sekä Itä-Suomessa Sotkamossa (Terrafame Oy) ja Siilinjärvellä (Yara Suomi Oy). Myös Etelä-Suomessa Uudessakaupungissa (Silbeco Nordic Oy Ab) sijaitsee yksi louhos. Kuten on jo aiemmin tässä tutkimuksessa mainittu, kriittisten raaka-aineiden alkutuotannon määrittelee pitkälti se, mistä kriittisten raaka-aineiden esiintymiä löytyy. Täten minne tahansa ei ole mahdollista perustaa kaivosta, vaan luonnonvarat määrittelevät louhoksien sijainnin.

Kuviosta 5 voidaan myös nähdä tehtaat, joissa valmistetaan kriittisistä raaka-aineista jatkojalostuskelpoista materiaalia. Esitellyistä tehtaista valmistuu lopputuotteena esimerkiksi ruostumatonta terästä (nikkeli) Outokummun tehtaalta Torniossa, lannoitetta (fosfori) Yaran tehtailta Siilinjärveltä ja Uudestakaupungista sekä kobolttia Umicoren tehtaalta Kokkolasta. Kartalla on myös esitelty Suomessa toimiva Kuusakoski Oy:n Heinolassa sijaitseva alumiinin kierrätys tehdas. Myös akkujen kierrätyspaikat on merkitty karttaan, sillä kuten jo tutkielmassa aiemmin todettua, akkuteollisuudessa käytetään merkittäviä kriittisiä raaka-aineita (Hagelüken & Goldmann, 2022). Kuviosta voidaan nähdä, että tehtaat sijaitsevat joko kaivosten välittömässä läheisyydessä, tai rannikolla. Karttaan on myös merkitty merkittävää kaivosteknologiaa kehittelevät tahot, jotka sijaitsevat pääsääntöisesti Etelä-Suomessa.

Näiden havaintojen perusteella voidaan todeta, että kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden kannalta Suomen alueet voidaan jaotella karkeasti neljään eri aluetyyppiin. Ensimmäinen aluetyyppi on alueet, joilla on kriittisten raaka-aineiden alkutuotantoa, eli metallimalmien louhintaan sekä rikastusta. Toinen aluetyyppi on alueet, joilla käsitellään kriittisiä metallimalmeja jatkojalostuksen näkökulmasta. Yleensä tämä tarkoittaa metallimalmirikasteiden muuttamista metalliksi. Osassa näistä alueista on myös kriittisten raaka-aineiden alkutuotantoa eli louhintaa ja rikastusta. Kolmas aluetyyppi on alueet, joilla ei ole minkäänlaista suoraa tuotantoa liittyen kriittisten raaka-aineiden tuotantoon. Neljäs aluetyyppi on alueet, joilla tehdään merkittävää tutkimusta kaivosteknologian alalla.

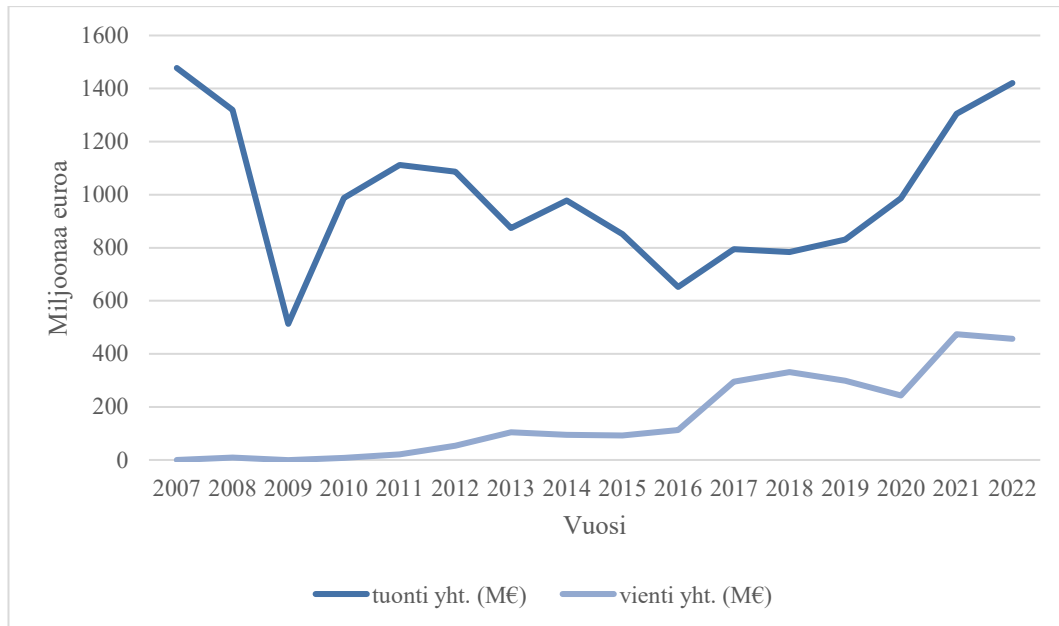
Suomessa tuotettavista kriittisistä raaka-aineista (nikkeli, kupari, koboltti, platinaryhmän metallit, fosfaatti ja maasälpä) enemmistön osalta Suomi oli joko EU

asetelmasta katsottuna kärkituottaja tai ainut EU tuottajamaa (Vasara ym., 2023, s.65). Nikkeliä tuottavista EU-maista Suomi oli vuonna 2021 ylivoimaisesti suurin nikkelin louhija. Suomi oli myös EU-maiden johtava nikkelin jatkojalostaja. Suomessa louhitaan myös kohtalaisen paljon kuparia, mutta kuparin suhteen Suomen merkitys kuparin jalostajana (rikastus ja metallin valmistus) on merkityksellisempi. Koboltin osalta Suomen asema on uniikki, sillä Suomi on ainoa EU-maa, jossa louhitaan kobolttia. Suomen louhinnan osuus koboltin globaalista louhinnasta vastaa kuitenkin vain noin yhtä prosenttia kaikesta louhinnasta. Suomi jatkojalostaa merkittävän osan kaikesta globaalisti tuotetusta koboltista, joskin Kiinan asema koboltin jalostajana on ylivoimainen. (Idoine ym., 2023.)

Platinaryhmän metalleista Suomessa louhitaan platinaa ja palladiumia. Vuonna 2021 Suomen merkitys näiden platinaryhmän metallien tuottajana oli EU-tasolla merkittävä, sillä Puolan ohella se on ainut platinaryhmän metalleja tuottava EU-maa. Suomessa louhitut määrät eivät kuitenkaan ole merkittäviä globaalisti tarkasteltuna. Fosfaatin osalta tarkasteltuna vuonna 2021, Suomi oli ainut fosfaattia tuottava EU-maa. Maasälvän osalta Suomen osuus vuonna 2021 tarkasteltuna ei ollut EU-tasolla mitenkään erityinen. (Idoine ym., 2023.)

Suomen asema kriittisten raaka-aineiden alkutuotannon osalta on siis merkittävä EU:n näkökulmasta katsottuna. Suomessa kuitenkin myös jalostetaan mittavia määriä metalleja. Vasara ja kollegat (2023, s.65) toteavat vuoden 2023 kaivosalan toimialaraportissa, että ”Suomi profiloituu selkeästi myös metallien jatkojalostuksen maana.....Suomessa metallinjalostajat tuottavat useita metalleja enemmän, kuin mitä niiden raaka-aineita tuotetaan Suomen kaivoksissa”. Kuviossa 5 on esitelty kuparin, nikkelin ja koboltin metallimalmien ja -rikasteiden vienti- ja tuontitilastoja vuosilta 2007–2022 (Tulli, Uljas-tietokanta). Kuviosta voidaan nähdä, että näiden raaka-aineiden tuontimäärä Suomeen euromääräisesti on moninkertainen verrattuna kyseisten raaka-aineiden vientiin. Suomi ei kykenisi jalostamaan sitä määrää metalleja, mitä se jalostaa, ilman rikasteiden tuontia ulkomailta (Vasara ym., 2023, s.65).



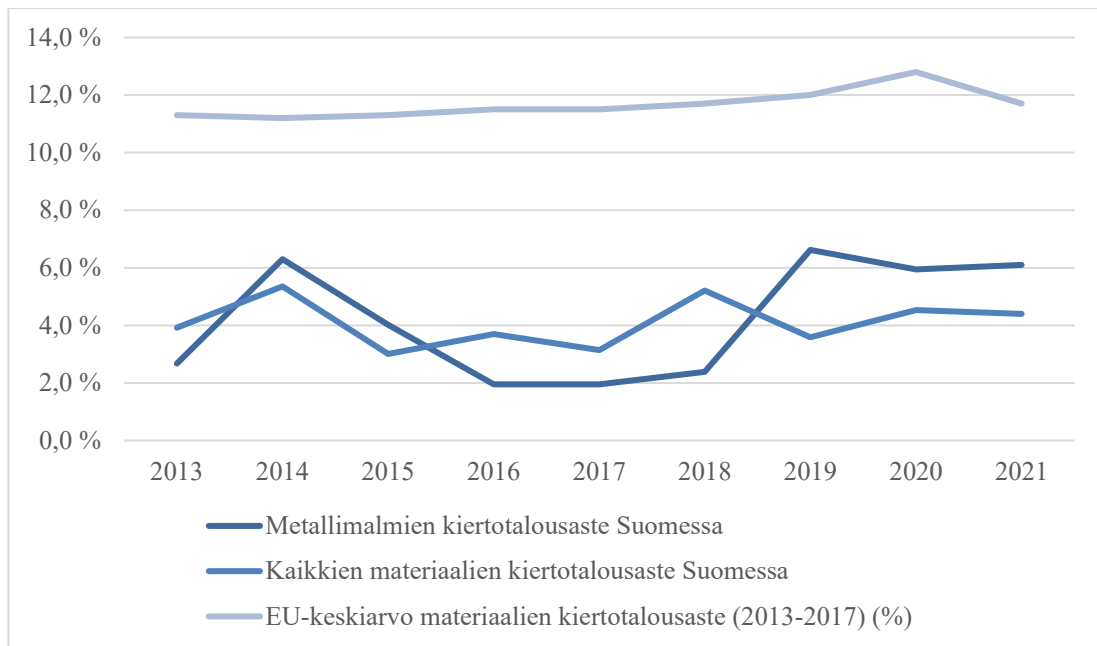


**Kuvio 5: Kuparin, nikkelin ja koboltin tuonti ja vienti vuosina 2007–2022 (Lähde: Tulli, Uljas-tietokanta)**

Suomeen tuodaan eniten metallimalmirikasteita Ruotsista, Brasiliasta sekä Kanadasta Suomesta taas viedään metallimalmeja eniten Kiinaan, Ruotsiin, Sveitsiin ja Belgiaan, tässä järjestyksessä. (Vasara ym., 2023, s.72–73). Suomeen suuntautuva tuonti tapahtuu siis pääasiassa EU:n ulkopuolelta ja samoin raaka-aineiden vienti kohdistuu eniten EU:n ulkopuoliseen maahan Kiinaan.

#### **4.2 Kriittisten raaka-aineiden kiertotalousliiketoiminnan potentiaali Suomessa ja sen vaikutukset aluetaloudelliseen resilienssiin**

Suomessa kriittisten raaka-aineiden nykyinen kiertotalous on vielä hyvin alkuvaiheissa. Kuviossa 6 on esitelty metallimalmien, sekä muiden materiaalien kiertotalousaste Suomessa. Kuviossa on myös EU-keskiarvo kaikkien materiaalien kiertotalousasteista. Kiertotalousasteella mitataan, kuinka paljon kaikesta käytetystä materiaalista on kierrätettyä (Suomen virallinen tilasto, N.d). On huomioitava, että kriittiset raaka-aineet sisältyvät pääasiassa metallimalmien kategoriaan, mutta tähän kategoriaan sisältyy myös muita metallimalmeja, jotka eivät ole kriittisiä. Tilastojen perusteella voidaan todeta, että Suomessa metallimalmien kiertotalousaste, kuten myös muiden materiaalien kiertotalousaste, on huomattavasti EU:n materiaalien keskimääräistä kiertotalousastetta matalampi.



**Kuvio 6: Metallimalmien sekä kaikkien materiaalien kiertotalousaste Suomessa verrattuna kaikkien materiaalien kiertotalousasteen EU-keskiarvoon vuosina 2013–2021 (Lähde: Suomen virallinen tilasto)**

Kriittisten raaka-aineiden kiertotalousliiketoimintaan liittyvää potentiaalia, sekä kiertotalousliiketoiminnan mahdollisia vaikutuksia aluetalouden resilienssitekijöihin voidaan tarkastella Suomen nykyisen kriittisten raaka-aineiden liiketoiminnan, niiden kiertotalouden sekä rakenteellisten tekijöiden tuomien mahdollisuuksien kautta. Kuten edellisessä luvussa todettiin, Suomi on kriittisten raaka-aineiden osalta jalostuspainotteinen alue, ja alkutuotantoa, eli louhintaa ja rikastusta on vain osassa maata. Suomessa toteutuvan primääristen kriittisten raaka-aineiden louhinnan ja jatkojalostuksen määrästä voitaisiin päätellä, että Suomessa voisi olla hyvät edellytykset sekundääristen kriittisten raaka-aineiden jatkojalostukseen (tieto-taitoa, infrastruktuuri ja teknologiaa).

On kuitenkin huomioitava, että mikäli jo primääristen raaka-aineiden osalta ongelmaksi muodostuu materiaaliksi jatkojalostamiseen tarvittavien metallimalmien ja -rikasteiden volyymien puute, voi tämä osoittautua ongelmaksi myös sekundääristen kriittisten raaka-aineiden hyödyntämisessä. Suomen alkutuotannosta saatavat primääri raaka-aineet vastaa jatkojalostuskapasiteetin tarpeita, vaan jalostustoiminta on riippuvaista Suomen ulkopuolelta tuoduista kriittisistä raaka-aineista. Myös kansainväliset kiristyneet, jätteeksi luokiteltujen raaka-aineiden kaupankäyntiä

koskevat rajoitukset (Korinek, 2019), sekä käytöstä poistuneiden lopputuotteiden laaja hajonta voivat ennestään hankaloittaa sekundääristen kriittisten raaka-aineiden jatkojalostusta, sekä tehdä siitä taloudellisesti kannattamatonta, huolimatta siitä, että Suomessa mahdollisesti olisikin tuotannon mahdollistavat puitteet.

Sekundääristen materiaalien jalostus voi näyttäytyä erityisen kiinnostavana niille maille, tai alueille, joiden kaivostoiminta on vähäistä tai sitä ei ole lainkaan (McLellan ym., 2016). Jätteestä erotettujen raaka-aineiden palauttaminen takaisin materiaalituotantoon voisi parhaimmassa tapauksessa edesauttaa Suomen raaka-aine omavaraisuutta, ja vähentää Suomen ulkopuolelta tuotavien raaka-aineiden ja valmiiden materiaalien määrää, sekä vahvistaa Suomen asemaa raaka-aineiden ja materiaalien viejänä. Raaka-aineiden kiertotalous voikin siis edesauttaa tuotantoketjujen paikallistumista, ja irtaantumista monitahoisista, globaaleista toimitusketjuista, mikä taas omalta osaltaan lisää toimialakohtaista ja täten myös aluetalouden resilienssiä (McLellan ym., 2016; Cainelli ym., 2019).

Kuten jo aiemmin tutkimuksessa on mainittu, kriittisten raaka-aineiden tarve ulottuu myös epäsuorasti lähes kaikkiin toimialoihin energiahyödyntämisen näkökulmasta myös Suomessa. Laajat energiatuotantoon liittyvät häiriöt, kuten vuoden 2022 energiakriisi, osoittavat, että energiasektoriin kohdistuvien häiriöiden vaikutukset ovat kauaskantoisia. Energiaa liiketoiminnassaan hyödyntävät toimialat kokevat energiasektoriin kohdistuvat häiriöt välillisesti esimerkiksi nousseiden kustannusten ja energian saatavuusongelmien kautta (Eurooppa-neuvosto. N.d.). Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous voi osaltaan ennaltaehkäistä vastaavien kriisien vaikutusta Suomen näkökulmasta, ja vahvistaa myös tällä tavalla toimialojen ja alueen resilienssiä.

Suomessa tuotettujen kriittisten raaka-aineiden ja niiden sekundääristen vastikkeiden vetovoimaa voi myös osaltaan lisätä niiden tuotannon vastuullisuus. Esimerkiksi konfliktimineraalien, kuten koboltin, käyttöä varjostavat ihmisoikeusloukkaukset koituvat niiden mainehaitaksi (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2017/821). Täten Suomella on kriittisten raaka-aineiden tuotannon ja niiden kiertotalouden perusteella mahdollisuus profiloitua ”vastuulliseksi” tuottajaksi, joka

taas voi edistää näiden Suomalaisen materiaalien kysyntää vastuullisuuslainsäädännön ja -valvonnan tiukentuessa. (katso Passoja, 2019.)

Kiertotalousliiketoiminnan näkökulmasta arvoaineiden kierrätyksen ohella myös louhimisesta ja jalostamisesta syntyvät mahdolliset sivuvirrat, entiset kaivosalueet ja kaivannaisjätteiden hyötykäyttö voivat näyttäytyä mielenkiintoisina kiertotalousliiketoimintamahdollisuuksina. Louhinnasta ja jalostuksesta syntyviä erilaisia materiaalisivuvirtoja tai kaivannaisjätteiksi luokiteltuja materiaaleja voisi olla mahdollista hyödyntää esimerkiksi muilla toimialoilla, kuten kemian- tai rakennusteollisuudessa. Käytöstä poistuneet kaivosalueet näyttäytyvät mielenkiintoisina kohteina esimerkiksi energiatuotannon näkökulmasta (esimerkiksi aurinkopuistot) (Vasara ym., 2023, s.61–62).

Sivu- ja jätevirrat voivat tarjota mielenkiintoisia mahdollisuuksia esimerkiksi kriittisten raaka-aineiden substituution ja tehokkaamman hyödyntämisen näkökulmasta. Mahdollisten sivu- ja jätevirtojen tekninen hyödyntäminen tulee vaatimaan innovaatioita, jotka voivat taas toisaalta edesauttaa toimialarakenteen monipuolistumista niillä alueilla, joilla kaivos- tai jalostustoiminta määrittävät alueen toimialarakennetta. Toisaalta kriittisiin raaka-aineisiin ja niiden kiertotalouteen liittyvät innovaatiot tarjoavat liiketoimintamahdollisuuksia myös edellisessä luvussa tunnistetuille toisen, kolmannen ja neljännen tyypin alueille Suomessa, joissa ei ole kriittisten raaka-aineiden alkutuotantoa, mutta joista löytyy esimerkiksi muita kiertotalouden innovaatioiden kehittymistä tukevia toimialoja, tietotaitoa tai muita resursseja.

Raaka-aineiden ja materiaalien kiertotalous eivät ole kuitenkaan ainoita tekijöitä, joiden osalta kiertotalous voi edesauttaa toimialarakenteen monipuolistumisen sekä uusien innovaatioiden syntymistä. Etenkin kriittisten raaka-aineiden jätevirtojen hyödyntämiseen tulee liittymään olennaisesti tehokas jätehuolto. Jätehuolto taas tulee kytkeämään useita palveluntuottajia, kuten jätteen keräilijöitä ja käsittelijöitä sekundääristen materiaalien toimitus- ja tuotantoketjuun (Myllymaa, 2017). Myös erinäiset palvelut kytkeytyvät osaksi kiertotaloutta (Myllymaa, 2017).

Kriittisten raaka-aineiden parempaan kiertotalouteen liittyvien teknisten innovaatioiden toteutumista tulevat määrittelemään ensisijaisesti se tekniikan ja teknologian asettamat rajoitteet, eli onko tällaisia innovaatioita ylipäätään mahdollista kehitellä. Toisaalta vaikka tekniset ja teknologiset esteet olisikin poistettu, on seuraavana haasteena taloudelliset rajoitteet, eli millaisia kokonaiskustannuksia tällaisista innovaatioista aiheutuu. On toisaalta myös huomioitava, että innovaatioiden taloudellisia kustannuksia on myös ajateltava siitä näkökulmasta, että ne mahdollisesti vähentävät kustannuksia pitkällä tähtäimellä. (Ayres, Holmberg & Andersson, 2001.)

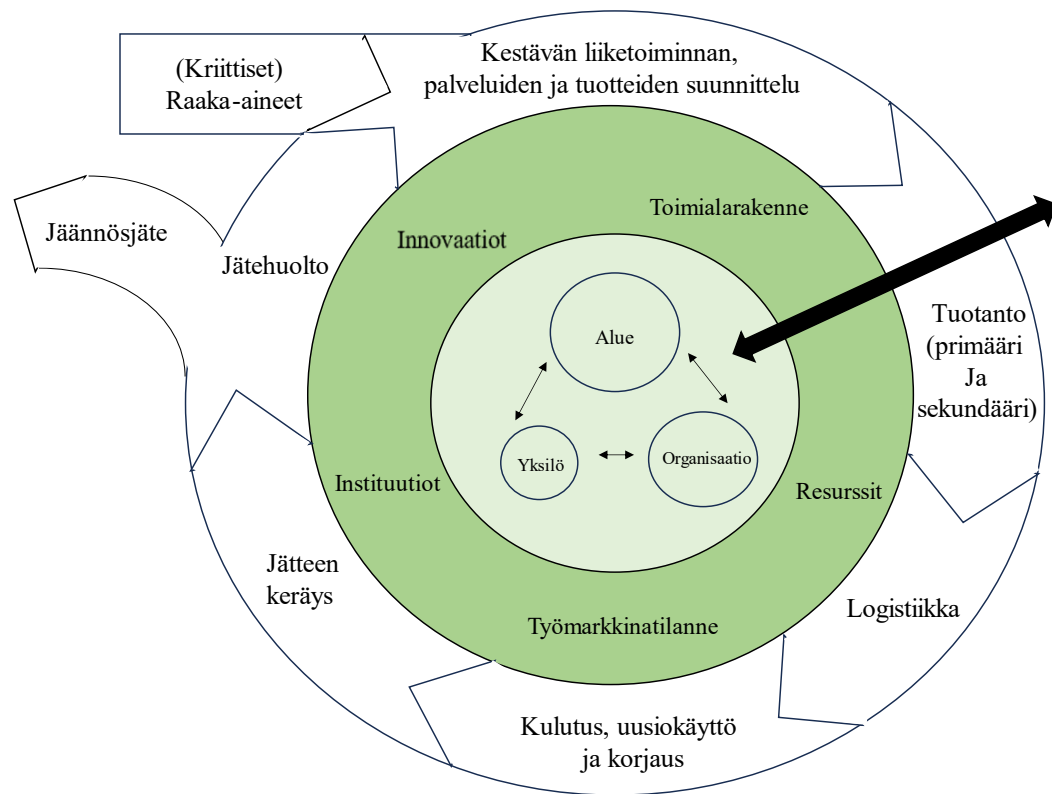
Sekundääristen tai sivuvirtoihin perustuvien materiaalien kaupallisessa hyödyntämisessä rajoittavaksi tekijäksi nousevat ennen kaikkea taloudellinen kannattavuus, ottaen huomioon etenkin jäte- ja sivuvirtamateriaalien mahdolliset korkeat kuljetuskustannukset, sekundäärisiä materiaaleja koskeva sääntely ja byrokratia, sekä mahdolliset ongelmat sekundäärimateriaalien kysynnän ja tarjonnan kohtaamisessa. (Vasara ym., 2023, 62–63)

Kaivosalan, ja täten myös kriittisten raaka-aineiden, kiertotalouden edistämässä julkishallinnon tahtotilan ja toiminnan merkitys on mittava. Työ- ja elinkeinoministeriön selvityksen mukaan alan toimijoiden keskuudessa tunnustetaan useita taloudellisia ja lainsäädännöllisiä toimia, joiden avulla pystyttäisiin mahdollisesti vauhdittamaan kaivosalan kiertotaloutta. Taloudellisista keinoista esille nousee muun muassa sivu- ja jätevirtojen mahdollista hyödyntämistä edesauttava tieteellinen tutkimus, joka vaatii rahoitusta. Myös taloudellinen tuki materiaalien hyödyntämistä sekä vähäpäästöistä materiaalien kuljetusta edesauttaviin investointeihin nousee esiin taloudellisina keinoina. Lainsäädännöllisissä keinoissa nousevat esille esimerkiksi lupaprosessien nopeuttaminen ja helpottaminen, kierrätysmateriaalien hyödyntämiseen kannustaminen verotuksen avulla sekä kierrätysmateriaalien aseman tukeminen julkisissa hankinoissa. (Vesa, 2021, s.70–71.)

Instituutioiden näkökulma korostuu resurssien ja lainsäädännön ohella myös niiden merkitys inhimillisen pääoman näkökulmasta. Esimerkiksi toimijoiden välisen yhteistyön ja vuorovaikutuksen mahdollistaminen, sekä innovaatioita edistävän koulutuksen tarjoaminen ovat tärkeitä teknologisen kehityksen näkökulmasta. Aluetasolla toimivat instituutiot, kuten esimerkiksi kaupunkien ja kuntien yrityspalveluja tarjoavat tahot voivat omalta osaltaan edistää kehitystä esimerkiksi

erilaisten hankkeiden kautta. Esimerkiksi BusinessOulun pyörittämä kiertotalousklusteri pyrkii vauhdittamaan Oulun alueen kiertotalousliiketoimintaa, tarjoamalla yrityksille esimerkiksi erilaisia yhteistyömahdollisuuksia muiden verkoston jäsenien kanssa (Oulun kaupunki, N.d.). Myös yliopistojen merkitys hanketyöskentelyssä ja tutkimuksessa on huomioitava. Esimerkiksi Jyväskylän yliopiston Kriittiset raaka-aineet tietoon, talteen ja kiertoon (KRIIT) -hanke pyrkii kehittämään kriittisten raaka-aineiden kiertotaloutta Keski-Suomessa (Jyväskylän yliopisto, N.d.).

Voidaankin siis todeta, että teknisten, taloudellisten sekä lainsäädännöllisten rajoitteiden ollessa läsnä, korostuu instituutioiden merkitys kiertotalouden, ja täten innovaatioiden ja toimialarakenteen monipuolistamisen mahdollistajana. Etenkin aluetalouden instituutioiden, sekä sen eri toimijoiden saumaton vuorovaikutus intressien kohtaamiseksi ja kehityksen aikaansaamiseksi on tärkeää. Toimijoiden rooli aktiivisina innovoijina ja sekä innovointien mahdollistajina niin institutionaalisesta kuin johtajuuden näkökulmasta korostuvat. Kuten aiemmin tutkimuksessa mainittua, kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden toteutuminen tulee vaatimaan innovaatioita, joiden tutkiminen ja toteuttaminen taas tulee vaatimaan esimerkiksi uusia liiketoimintamalleja mahdollistavaa lainsäädäntöä sekä taloudellisia resursseja. Institutionaaliset toimijat pystyvät allokoimaan näitä resursseja innovaatioita kehitteleville toimijoille, ja paikallisjohtajat auttavat näiden kahden toimijatyypin intressejä kohtaamaan.



**Kuvio 7: Aluetalouden resilienssiin vaikuttavat tekijät kiertotalouden raameissa (mukailien Martin & Sunley, 2015; Euroopan parlamentti, 30.6.2023)**

Kriittisten raaka-aineiden tuomat mahdollisuudet aluetalouden rakenteiden ja täten resilienssin mahdollistajana kiteytyvät kuviossa 7. Kuviossa on mallinnettu aluetalouden resilienssin rakentumista (kriittisten raaka-aineiden) kiertotalouden raameissa. Kuvion keskellä on kuvattu alueen toimijoiden (yksilöt ja organisaatiot) ja aluetalouden resilienssin vuorovaikutussuhdetta. Tumman vihreä rengas sen ympärillä kuvastaa talouden rakenteellisia tekijöitä, jotka ovat keskenään vuorovaikutuksessa, ja jotka vaikuttavat aluetalouden resilienssin muodostumiseen. Alueen toimijat omalta osaltaan vaikuttavat näihin rakenteisiin ja rakenteet myös vaikuttavat alueen toimijoihin. On kuitenkin huomioitava, että tässä tutkimuksessa ja kuviossa ei ole esitelty kaikkia rakenteellisia tekijöitä, jotka vaikuttavat aluetalouden resilienssiin. Valkoinen kehä, joka rajaa rakenteellisten tekijöiden kehää, kuvastaa kiertotaloutta. Mikäli kiertotaloutta toteutetaan täydellisesti, se on talouden järjestelmä, joka omalta osaltaan talouden rakenteita. Toisaalta myös talouden rakenteet sekä toimijat voivat vaikuttaa kiertotalouden toteutumiseen.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarkastella, millaisia mahdollisia vaikutuksia kriittisten raaka-aineiden kiertotaloudella voi olla aluetaloudelliseen resilienssiin Suomessa. Tämän selvittämiseksi tutkimuksessa esitellään kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden liiketoimintaympäristöä, sekä millaisia mahdollisuuksia ja haasteita näihin kiertotalousliiketoimintoihin voi liittyä talouden ja talousalueiden näkökulmasta. Tutkimuksessa tarkastellaan myös, miten aluetalouden resilienssiä voidaan tutkia etenkin alueiden rakenteellisten tekijöiden näkökulmasta. Viimeisenä tutkimuksessa yhdistetään nämä edellä mainitut tutkimusosiot yhteen, ja tarkastellaan kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden mahdollisia vaikutuksia aluetaloudelliseen resilienssiin Suomessa.

Tutkimuksen alkuosassa perehdytään kriittisten raaka-aineiden kiertotalouteen ja siihen liittyvän liiketoiminnan mahdollisuuksiin ja haasteisiin. Kriittisten raaka-aineet ovat tärkeässä asemassa vihreän siirtymän toteutumisessa. Täten niiden tarve ulottuu yli toimialarajojen uusiutuvan energian hyödyntämisen näkökulmasta. Käy ilmi, että kriittisten raaka-aineiden louhinta ja tuotanto ovat pitkälti maantieteellisistä ja taloudellisista syistä keskittyneet tietyille alueille. Tuotannon keskittyneisyys sekä tuotantoa varjostavat epävarmuustekijät nostavat kriittisten raaka-aineiden saatavuusriskiä. Kiertotalous näyttäytyy mahdollisuutena tämän saatavuusriskin hallitsemiselle. Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous on kuitenkin vielä hyvin alkuvaiheissa, sillä sitä varjostavat niin taloudelliset kuin tekniset haasteet.

Voidaankin siis todeta, että erityisesti kierrätystä teknisesti ja taloudellisesti edesauttavissa innovaatioissa piilee merkittävä liiketoimintapotentiaali. Kiertotalous voi kuitenkin tarjota uusia liiketoimintamahdollisuuksia liittyen myös muihin tuotantoketjun operatiivisiin vaiheisiin ja yrityksen tukitoimintoihin aina suunnittelusta tuotteiden myyntiin. Kiertotalous voi tarjota myös mahdollisuuksia uusille liiketoimintamalleille, etenkin palveluperusteisille liiketoiminnoille, jotka edesauttavat materiaalien kulutuksen vähentämistä.



Tutkimuksen toinen tarkasteltava osa-alue on aluetaloudellinen resilienssi. Tutkimuksessa avataan erinäisiä rakenteellisia tekijöitä, joilla voi olla vaikutusta alueen kyvyille suojautua häiriöiltä, toipua häiriöistä ja uudistua häiriöiden seurauksena. Aluetalouden resilienssiin vaikuttavien rakenteellisten tekijöiden lisäksi voidaan myös tunnistaa, että alueen toimijat voivat omalla toiminnallaan muovata näitä talouden rakenteita, ja sitä kautta vaikuttaa alueelliseen resilienssiin. Tässä tutkimuksessa esitellään tästä syystä erilaisia rakenteellisia tekijöitä, mutta myös toimijoiden mahdollista vaikutusta.

Käy ilmi, ettei minkään yksittäisen talouden rakenteen voida todeta yksinään selittävän alueellisen resilienssin muodostumista. Näihin rakenteellisiin tekijöihin taas vaikuttavat useat eri muuttujat, ja toisaalta näiden rakenteiden voidaan myös nähdä olevan vuorovaikutuksessa toisiinsa, sekä alueen toimijoihin. Alueen reaktio häiriöön riippuu myös pitkälti siitä, missä kontekstissa reaktiota tarkastellaan, eli millaisesta häiriöstä on kyse ja millä aikavälillä tarkastelu tapahtuu. Esiteltyjen tutkimusten perusteella voidaan todeta, että toimialarakenteen monipuolisuus voi suojata aluetta sen kohtaamilta häiriöiltä, mutta paljon riippuu myös häiriön tyypistä ja alueen muista rakenteellisista tekijöistä. Esimerkiksi eri toimialojen vertikaaliset riippuvuussuhteet voivat altistaa monia eri toimialoja yhden toimialan kohtaamalle häiriölle. Toisaalta häiriö voi olla myös niin laaja, että sen vaikutukset ulottuvat useammalle toimialalle. Tällainen vaikutus oli esimerkiksi vuoden 2022 energiakriisillä (Eurooppa-neuvosto. N.d.). Innovaatiot osaltaan monipuolistavat alueen toimialarakennetta ja voivat vahvistaa yritysten ja toimialojen omavaraisuutta, vähentäen vertikaalisia riippuvuussuhteita. Instituutiot taas mahdollistavat innovaatioiden ja toimialarakenteen monipuolistumisen tarjoamalla innovaatioille ja uusille liiketoimintamahdollisuuksille taloudelliset, tekniset ja lainsäädännölliset puitteet.

Tutkimuksessa perehdytään tapaustutkimuksena myös kriittisten raaka-aineiden tuotantoon, kiertotalouteen ja liiketoimintapotentiaaliin Suomessa, sekä millaisia vaikutuksia näillä voi olla aluetalouden resilienssiin Suomessa. Käy ilmi, että Suomessa on jonkin verran kriittisten raaka-aineiden alkutuotantoa, mutta Suomi on ennen kaikkea kriittisten raaka-aineiden jatkojalostaja. Suomen kaivokset sijaitsevat pääosin Lapissa ja Itä-Suomessa, kun taas jatkojalostus keskittyy rannikkoseudulle.

Suomi ei ole kriittisten raaka-aineiden tuotannon suhteen omavarainen, vaan Suomeen tuodaan enemmän metallimalmeja (mukaan lukien kriittiset raaka-aineet) kuin mitä Suomesta viedään muihin maihin. Voidaankin siis todeta, että kriittisten raaka-aineiden kiertotalous voisi mahdollisesti omavaraistaa Suomea raaka-aineiden suhteen, sekä vahvistaa Suomen profilia kriittisten raaka-aineiden viejänä. Suomen jatkojalostuskapasiteetti myös indikoi, että Suomella voisi olla potentiaalia sekundääristen kriittisten raaka-aineiden jalostukseen.

Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous tarjoaa Suomelle monipuolisia mahdollisuuksia innovaatioiden saralla, joka taas puolestaan voi monipuolistaa alueellista toimialarakennetta. Kiertotalouden edistyminen voi myös vähentää globaaleja sekä alueellisia yritysten välisiä vertikaalisia riippuvuussuhteita niin materiaalien kuin energiahyödyntämisen näkökulmasta, vahvistaen näin alueen kykyä reagoida häiriöihin. Kriittisten raaka-aineiden kierrätys, sivuvirtojen hyödyntäminen, korvaavien materiaalien ja teknologioiden kehitys ovat mielenkiintoisia teemoja, joiden ympärille voi kehittyä erilaisia innovaatioita. Innovaatiot kuitenkin vaativat institutionaalisten tahojen koordinoitua. Institutionaaliset toimijat voivat mahdollistaa innovoijille esimerkiksi taloudellisia mahdollisuuksia tai edesauttaa innovaatioiden kehittymistä lainsäädännöllisesti.

Tutkimuksen perusteella voidaankin siis todeta, että kriittisten raaka-aineiden kiertotalous kytkeytyy aluetaloudelliseen resilienssiin innovaatioiden ja toimialarakenteen vahvistumisen ja monipuolistumisen kautta. On nähtävissä, että erityisesti institutionaalisilla tekijöillä ja rakenteilla on suuri merkitys kiertotalouden toteutumisen kannalta. Institutionaaliset tekijät voivat muovata alueen olosuhteita siten, että kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden edistäminen on ylipäätään mahdollista. Tämä voi tapahtua varmistamalla, että alueen taloudelliset, tekniset ja lainsäädännölliset puitteet mahdollistavat uusia kiertotalouteen liittyviä innovaatioita ja toimintoja. Voidaankin siis todeta, että institutionaaliset tekijät luovat pohjan innovaatioille ja edelleen alueen otolliselle toimialarakenteelle.

Kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden toteutuminen tulee vaatimaan harppauksia erityisesti tekniikan ja innovaatioiden saralla. Näiden harppauksien toteutuminen taas tulee vaatimaan erityisesti taloudellisia ja lainsäädännöllisiä kannustimia, sillä ilman

niitä, nykyisessä sekundääristen raaka-aineiden liiketoimintaympäristössä, kiertotalouden toteutuminen tulee olemaan hidasta tai jopa mahdotonta. Voidaankin siis todeta, että kiertotalouden toteutuminen voi olla aluksi jopa taloudellisesti kannattamatonta, kun ympäristöön liittyvät hyödyt ja sosiaaliset hyödyt asetetaan taloudellisten hyötyjen yläpuolelle. Kriittisten raaka-aineiden kiertotaloutta edistävien toimien toteuttaminen tulee kuitenkin olemaan välttämätöntä ympäristön kantokyvyn turvaamiseksi (Ympäristöministeriö, N.d.). Täten voidaan olettaa, että näiden eri kustannusten ja hyötyjen tasapainottamisella voidaan ennaltaehkäistä tulevia sosiaalisia ja ympäristöön liittyviä kustannuksia, jotka taas voivat aiheuttaa lisää taloudellisia kustannuksia.

Tämän tutkimuksen tuloksia tarkastellessa on tärkeä huomata, että tutkimus on ennen kaikkea teoreettinen ja siinä on käsitelty vain osaa aluetalouden resilienssin rakenteellisista tekijöistä. Aluetalouden rakenteita muovaavat toimialarakenteen, innovaatioiden ja instituutioiden ohella myös muut rakenteelliset tekijät, jotka voivat olla vuorovaikutuksessa näiden kolmen edellä mainitun rakenteellisen tekijän kanssa. Mahdollisten muiden rakenteellisten tekijöiden vaikutusten sekä niiden vuorovaikutussuhteiden ja niiden kiertotalousyhteyksien tutkiminen näyttäytyy mielenkiintoisena jatkotutkimusmahdollisuutena.

Tässä tutkimuksessa rakennettu teoreettinen kehys, joka yhdistää kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden sekä aluetaloudellisen resilienssin tutkimuksen, tarjoaa hyvät lähtökohdat myös mahdolliselle tarkemmalle, empiiriselle jatkotutkimukselle. Tarkempi tutkimus kiertotalouden todellisista vaikutuksista Suomen aluetalouksiin edellyttää, että kriittisten raaka-aineiden kiertotalous ottaa harppauksia eteenpäin, jolloin tarjolla on tarkempaa, havainnoitua tietoa, jota voidaan hyödyntää tutkimuksessa. Tällainen tutkimus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi alueellisena tapaustutkimuksena, jossa tarkasteltaisiin aluetaloudellista resilienssiä kvantitatiivisten, tilastollisten menetelmien ohella esimerkiksi haastattelun keinoin, jonka avulla pystyttäisiin nostamaan paremmin esiin myös toimijoiden vaikutusta aluetalouden resilienssiin.

## 6 LÄHTEET

- Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., & Thomas, L. D. (2021). Circular economy ecosystems: A typology, definitions, and implications. *Research handbook of sustainability agency*, 260-276.
- Ayres, R. U., Holmberg, J., & Andersson, B. (2001). Materials and the global environment: Waste mining in the 21st century. *MRS Bulletin*, 26(6), 477-480. <https://doi.org/10.1557/mrs2001.119>
- Bernini, C., Cracolici, M. F., & Nijkamp, P. (2020). Micro and macro resilience measures of an economic crisis. *Networks and Spatial Economics*, 20, 47-71. <https://doi.org/10.1007/s11067-019-09470-9>
- Bocken, N. M., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of industrial and production engineering*, 33(5), 308-320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Boschma, R. (2017). Towards an evolutionary perspective on regional resilience. In *Evolutionary Economic Geography* (pp. 29-47). Routledge. <https://doi.org/10.1080/00343404.2014.959481>
- Bristow, G., & Healy, A. (2014). Regional Resilience: An Agency Perspective. *Regional studies*, 48(5), 923-935. <https://doi.org/10.1080/00343404.2013.854879>
- Bristow, G., & Healy, A. (2018). Innovation and regional economic resilience: an exploratory analysis. *The annals of regional science*, 60(2), 265-284. <https://doi.org/10.1007/s00168-017-0841-6>
- Broadbent, C. (2016). Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 1658-1665. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1081-1>
- Brown, K., & Westaway, E. (2011). Agency, Capacity, and Resilience to Environmental Change: Lessons from Human Development, Well-Being, and Disasters. *Annual review of environment and resources*, 36(1), 321-342. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-052610-092905>
- Brown, L., & Greenbaum, R. T. (2017). The role of industrial diversity in economic resilience: An empirical examination across 35 years. *Urban studies (Edinburgh, Scotland)*, 54(6), 1347-1366. <https://doi.org/10.1177/0042098015624870>

- Cainelli, G., Ganau, R., & Modica, M. (2019). Industrial relatedness and regional resilience in the European Union. *Papers in Regional Science*, 98(2), 755-779. <https://doi.org/10.1111/pirs.12377>
- Clark, J., Huang, H., & Walsh, J. P. (2010). A typology of 'innovation districts': What it means for regional resilience. *Cambridge journal of regions, economy and society*, 3(1), 121-137. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsp034>
- Cong, X., Wang, L., Ma, L., & Skibnewski, M. (2021). Exploring critical influencing factors for the site selection failure of waste-to-energy projects in China caused by the “not in my back yard” effect. *Engineering, construction, and architectural management*, 28(6), 1561-1592. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2019-0709>
- David, L. (2018). Agency and resilience in the time of regional economic crisis. *European Planning Studies*, 26(5), 1041-1059. <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1448754>
- Davoudi, S. (2012). Resilience: A Bridging Concept or a Dead End? *Planning theory & practice*, 13(2), 299. <https://doi.org/10.1080/14649357.2012.677124> ‘
- Ellen MacArthur Foundation (2013) Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition Haettu 20.2.2024 osoitteesta <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe*. Ellen MacArthur Foundation. Haettu 12.2.2024 osoitteesta [https://emf.thirdlight.com/file/24/A-BkCs\\_h7gRYB\\_Am9L\\_JfbYWF/Growth%20within%3A%20a%20circular%20economy%20vision%20for%20a%20competitive%20Europe.pdf](https://emf.thirdlight.com/file/24/A-BkCs_h7gRYB_Am9L_JfbYWF/Growth%20within%3A%20a%20circular%20economy%20vision%20for%20a%20competitive%20Europe.pdf)
- Euroopan komissio. (2011). *Tackling the challenges in commodity markets and on raw materials*. COM(2011) 25 final. European Commission. Brussels.
- Euroopan komissio. (2012). *Regional Innovation Scoreboard 2012*. European Commission. Brussels. <https://data.europa.eu/doi/10.2769/55659>
- Euroopan komissio. (2014). *Regional Innovation Scoreboard 2014*. European Commission. <https://data.europa.eu/doi/10.2769/88893>
- Euroopan komissio. (2023). *Study on the critical raw materials for the EU 2023 : final report*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>

Euroopan komissio. (N.d.). *Critical raw materials*. Haettu 8.3.2024 osoitteesta: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en)

Eurooppa-neuvosto. (N.d.). *Energian hinnat ja toimitusvarmuus*. Haettu 22.4.2024 osoitteesta: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/energy-prices-and-security-of-supply/>

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2017/821. *Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2017/821, annettu 17 päivänä toukokuuta 2017, unionin tuojiin, jotka tuovat konfliktialueilta ja korkean riskin alueilta peräisin olevia tinaa, tantaalia ja volframia, niiden malmeja sekä kultaa, sovellettavien toimitusketjun due diligence -velvoitteiden vahvistamisesta*. Euroopan unionin virallinen lehti 19.5.2017. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32017R0821>

Euroopan parlamentin ja neuvoston ehdotus (EU) COM/2023/160. *Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus puitteiden vahvistamisesta kriittisten raaka-aineiden turvatun ja kestävän tarjonnan varmistamiseksi ja asetusten (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020 muuttamisesta*. Haettu 7.4.2024 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52023PC0160>

Euroopan parlamentti. (2023). *Circular economy: definition, importance and benefits*. Haettu 12.2.2024 osoitteesta: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>

Euroopan unionin neuvosto. (18.3.2024). *Strateginen riippumattomuus: neuvosto hyväksyi lopullisesti kriittisiä raaka-aineita koskevan säädöksen* (lehdistötiedote). Haettu 7.4.2024 osoitteesta: <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2024/03/18/strategic-autonomy-council-gives-its-final-approval-on-the-critical-raw-materials-act/>

Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of cleaner production*, 190, 712-721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Geologian tutkimuskeskus. (N.d.a). *Kaivos- ja esiintymäkartat*. Haettu 7.3.2024 osoitteesta: <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/kaivos-ja-esiintymakartat/>

- Geologian tutkimuskeskus. (N.d.b). *Kriittiset ja strategiset raaka-aineet*. Haettu 7.3.2024 osoitteesta <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/kriittiset-ja-strategiset-raaka-aineet/>
- Giannakis, E., & Bruggeman, A. (2017). Economic crisis and regional resilience: Evidence from Greece. *Papers in regional science*, 96(3), 451-476. <https://doi.org/10.1111/pirs.12206>
- Giddens, A. (1984). *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*. Univ of California Press.
- Grilli, M. L., Bellezze, T., Gamsjäger, E., Rinaldi, A., Novak, P., Balos, S., Piticescu, R., & Ruello, M. L. (2017). Solutions for critical raw materials under extreme conditions: A review. *Materials*, 10(3), 285. <https://doi.org/10.3390/ma10030285>
- Grillitsch, M., & Sotarauta, M. (2020). Trinity of change agency, regional development paths and opportunity spaces. *Progress in human geography*, 44(4), 704-723. <https://doi.org/10.1177/0309132519853870>
- Guzik, K., Galos, K., Kot-Niewiadomska, A., Eerola, T., Eilu, P., Carvalho, J., Fernandez-Naranjo, F. J., Arvidsson, R., Arvanitidis, N., & Raaness, A. (2021). Potential benefits and constraints of development of critical raw materials' production in the EU: Analysis of selected case studies. *Resources*, 10(7), 67. <https://doi.org/10.3390/resources10070067>
- Hagelüken, C., & Goldmann, D. (2022). Recycling and circular economy—towards a closed loop for metals in emerging clean technologies. *Mineral Economics*, 35(3), 539-562. <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00319-1>
- Hill, E., Wial, H., & Wolman, H. (2008). *Exploring regional economic resilience* (No. 2008, 04). Working paper. UC Berkeley: Institute of Urban and Regional Development. Haettu osoitteesta <https://escholarship.org/uc/item/7fq4n2cv>
- Hofmann, M., Hofmann, H., Hagelüken, C., & Hool, A. (2018). Critical raw materials: A perspective from the materials science community. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, e00074.
- Holland, J. H. (1995). *Hidden order*. Business Week-Domestic Edition, 21.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>

- Idoine, N.E., Raycraft, E.R., Price, F., Hobbs., S.F., Deady, E.A., Everett, P., Shaw, R.A., Evans, E.J. & Mills, A.J. (2023). *World mineral production 2017-21*. Nottingham, UK, British Geological Survey, 98pp. Haettu osoitteesta [https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/534316/1/WMP\\_2017\\_2021\\_FINAL.pdf](https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/534316/1/WMP_2017_2021_FINAL.pdf)
- International Energy Agency [IEA]. (2022). *World Energy Outlook 2022*. International Energy Agency. Paris. Haettu osoitteesta <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- Jevons, W.S. (2009). *The Coal Question: An inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines by William Stanley Jevons* (Ed. Draper, P.). Haettu 5.2.2024 osoitteesta [http://www.inist.org/library/1865.Jevons.The\\_Coal\\_Question.Macmillan.pdf](http://www.inist.org/library/1865.Jevons.The_Coal_Question.Macmillan.pdf) (Alkuperäinen teos julkaistu vuonna 1866)
- Jyväskylän yliopisto. (N.d.). Kriittiset raaka-aineet tietoon, talteen ja kiertoon (KRIIT). Haettu 9.4.2024 osoitteesta <https://www.jyu.fi/fi/hankkeet/kriittiset-raaka-aineet-tietoon-talteen-ja-kiertoon-kriit>
- Kakderi, C., & Tasopoulou, A. (2017). Regional economic resilience: The role of national and regional policies. *European Planning Studies*, 25(8), 1435-1453. <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1322041>
- Karali, N., & Shah, N. (2022). Bolstering supplies of critical raw materials for low-carbon technologies through circular economy strategies. *Energy Research & Social Science*, 88, 102534. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102534>
- Kennedy, S., & Linnenluecke, M. K. (2022). Circular economy and resilience: A research agenda. *Business strategy and the environment*, 31(6), 2754-2765. <https://doi.org/10.1002/bse.3004>
- Kim, J., Panton, A. J., & Schwerhoff, G. (2024). Energy Security and The Green Transition. *IMF Working Papers*, 2024(006), A001. <https://doi.org/10.5089/9798400263743.001.A001>
- Korinek, J. (2019). Trade restrictions on minerals and metals. *Mineral economics: raw materials report*, 32(2), 171-185. <https://doi.org/10.1007/s13563-018-0161-z>
- Kowalski, P. & C. Legendre. (2023). Raw materials critical for the green transition: Production, international trade and export restrictions. *OECD Trade Policy Papers*, No. 269. OECD Publishing. Paris. <https://doi.org/10.1787/c6bb598b-en>.
- Kurikka, H. (2021). Globaali talouskriisi ja Suomen alueiden resilienssi. *Terra: Maantieteellinen Aikakauskirja*, 133(1), 3-16. <https://doi.org/10.30677/terra.96014>



- Kurikka, H., Grillitsch, M. (2021). Resilience in the Periphery: What an Agency Perspective Can Bring to the Table. In: Wink, R. (eds) *Economic Resilience in Regions and Organisations*. Studien zur Resilienzforschung. Springer, Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-33079-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-658-33079-8_6)
- Lansing, J. S. (2003). Complex adaptive systems. *Annual review of anthropology*, 32(1), 183-204. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.32.061002.093440>
- Martin, R. (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of economic geography*, 12(1), 1-32. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbr019>
- Martin, R., & Sunley, P. (2015). On the notion of regional economic resilience: Conceptualization and explanation. *Journal of economic geography*, 15(1), 1-42. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbu015>
- Martin, R., & Sunley, P. (2020). Regional economic resilience: Evolution and evaluation. In *Handbook on regional economic resilience* (pp. 10-35). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781785360862.00007>
- Martin, R., Sunley, P., Gardiner, B., & Tyler, P. (2016). How regions react to recessions: Resilience and the role of economic structure. *Regional studies*, 50(4), 561-585.
- Mathieux, F., Ardente, F., Bobba, S., Nuss, P., Blengini, G. A., Dias, P. A., Blagoeva, D., De Matos, C. T., Wittmer, D., Pavel, C., Hámor, T., Saveyn, H., Gawlik, B., Orveillon, G., Huygens, D., Garbarino, E., Tzimas, E., Bouraoui, F., & Solar, S. (2017). Critical raw materials and the circular economy. *Publications Office of the European Union*. Bruxelles. Belgium. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/378123>
- McLellan, B. C., Yamasue, E., Tezuka, T., Corder, G., Golev, A., & Giurco, D. (2016). Critical minerals and energy—impacts and limitations of moving to unconventional resources. *Resources*, 5(2), 19. <https://doi.org/10.3390/resources5020019>
- Mulvaney, D., Richards, R. M., Bazilian, M. D., Hensley, E., Clough, G., & Sridhar, S. (2021). Progress towards a circular economy in materials to decarbonize electricity and mobility. *Renewable & sustainable energy reviews*, 137, 110604. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110604>
- Myllymaa, T. (2017). CIRCWASTE - Kohti kiertotaloutta. Tehokasta materiaalivirtojen käyttöä ja jätteen synnyn ehkäisyä. Ympäristö ja terveys: elintarvike- ja ympäristöhygienian sekä työsuojelun erikoislehti, 48(7), 6–11.
- North, D. C. a. (1990). *Institutions, institutional change, and economic performance*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678>

- OECD. (2019). *Innovation and Business / Market Opportunities associated with Energy Transitions and a Cleaner Global Environment*. Haettu 22.4.2024 osoitteesta: <https://www.oecd.org/g20/summits/osaka/OECD-G20-Paper-Innovation-and-Green-Transition.pdf>
- OECD. (2023). "Circular economy - waste and materials", in *Environment at a Glance Indicators*. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/f5670a8d-en>. Haettu 10.1.2024 osoitteesta <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/ac4b8b89-en/1/3/4/index.html?itemId=/content/publication/ac4b8b89-en&csp=87902827c775ab2e647000889063ed4c&itemIGO=oecd&itemContentType=book#chapter-d1e4089-f5da0e6a71>
- Oulun kaupunki. (N.d.). *Kiertotalousklusteri*. BusinessOulu. Haettu 9.4.2024 osoitteesta <https://oulu.com/kiertotalousklusteri/>
- Paasikivi. (2017). Nykyiset Suomen maakunnat. Wikimedia.org. Wikimedia Commons. Haettu 28.3.2024 osoitteesta [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nykyiset\\_Suomen\\_maakunnat\\_\(Tyhj%C3%A4\).png?uselang=fi#filelinks](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nykyiset_Suomen_maakunnat_(Tyhj%C3%A4).png?uselang=fi#filelinks)
- Pantzar, M. (2023). *Ratkesiko sähköautojen akkujen ehkä suurin ongelma nyt? Kiinalaisvalmistaja laittoi suola-akun sähköautoon*. Yle Uutiset 25.4.2023. Haettu 12.2.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20027889>
- Passoja, A. (2019). Koolttikuume nousee Lapissa – Suomesta löytyy harvinaista akkumetallia, jota ilman sähköautojen valmistus ei onnistu. Yle Uutiset 3.9.2019. Haettu 9.4.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-10945360>
- Polimeni, J. M., Mayumi, K., Giampietro, M., & Alcott, B. (2009). *The Myth of Resource Efficiency: The Jevons Paradox*. Taylor and Francis.
- Reggiani, A., De Graaff, T., & Nijkamp, P. (2002). Resilience: an evolutionary approach to spatial economic systems. *Networks and Spatial Economics*, 2, 211-229. <https://doi.org/10.1023/A:1015377515690>
- Riepponen, T., Moilanen, M., & Simonen, J. (2023). Themes of resilience in the economics literature: A topic modeling approach. *Regional science policy & practice*, 15(2), 326-356. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12612>
- 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. Haettu osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-205-1>

- Ruuskanen, E., Schönach, P., Väyrynen, K., Enbuske, M., Kaarkoski, M., Kylli, R., Riekkinen, T., Räsänen, T., Salo, M., & Valkonen, J. (2021). *Suomen ympäristöhistoria 1700-luvulta nykyaikaan*. Vastapaino.
- Schumpeter, J. A. (1994). *Capitalism, socialism and democracy* (New paperback ed.). Routledge.
- Sensier, M., Bristow, G., & Healy, A. (2016). Measuring Regional Economic Resilience across Europe: Operationalizing a complex concept. *Spatial economic analysis*, 11(2), 128-151. <https://doi.org/10.1080/17421772.2016.1129435>
- Shapira, P., & Youtie, J. (2008). Learning to innovate: building regional technology development learning networks in mid-sized cities. *European Planning Studies*, 16(9), 1207-1228. <https://doi.org/10.1080/09654310802401631>
- Silberston, A. (1972). Economies of Scale in Theory and Practice. *The Economic Journal (London)*, 82(325), 369-391. <https://doi.org/10.2307/2229943>
- Simmie, J., & Martin, R. (2010). The economic resilience of regions: towards an evolutionary approach. *Cambridge journal of regions, economy and society*, 3(1), 27-43. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsp029>
- Simonen, J., Herala, J., & Svento, R. (2020). Creative destruction and creative resilience: Restructuring of the Nokia dominated high-tech sector in the Oulu region. *Regional Science Policy & Practice*, 12(5), 931-954. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12267>
- Song, L., Sun, Y., Song, J., Feng, Z., Gao, J., & Yao, Q. (2024). From “not in my backyard” to “please in my backyard”: Transforming the local responses toward a waste-to-energy incineration project in China. *Sustainable Production and Consumption*, 45, 104-114. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.12.019>
- Sotarauta, M. (2010). Regional development and regional networks: The role of regional development officers in Finland. *European Urban and Regional Studies*, 17(4), 387-400. <https://doi.org/10.1177/0969776409352581>
- Suomen virallinen tilasto. (N.d.) Kiertotalousliiketoiminnan indikaattorit 2020. Helsinki: Tilastokeskus. Haettu 12.2.2024 osoitteesta <https://www.stat.fi/tup/kiertotalous/kiertotalousliiketoiminnan-indikaattorit-2020.html>
- Thoben, K. D., & Jagdev, H. S. (2001). Typological issues in enterprise networks. *Production Planning & Control*, 12(5), 421-436. <https://doi.org/10.1080/09537280110042666>

- Tulli. Uljas – Tavaroiden ulkomaankauppatilastot. Digitaalinen tietokanta. Haettu osoitteesta <https://uljas.tulli.fi/>
- Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2013). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi* (11., uud. laitos.). Tammi.
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto [Tukes]. (N.d.). *Tilastoteitoja vuoriteollisuudesta 2023*. Haettu 7.3.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/6373016/Tilastotietoja+vuoriteollisuudesta+2023.pdf/9bc86acd-3ad0-656c-b480-175a930afe48/Tilastotietoja+vuoriteollisuudesta+2023.pdf?t=1711016809840>
- Valtiovarainministeriö. (N.d.). *Vihreä siirtymä*. Haettu 16.1.2024 osoitteesta: <https://vm.fi/vihrea-siirtyma>
- Vasara, H., Pokki, J., Långbacka, B., & Kivinen, M. (2023). *Kaivosalan toimialaraportti*. Työ- ja elinkeinoministeriö. Haettu osoitteesta <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165277>
- Vesa, J. (2021). *Kaivosten sivukivien ja rikastushiekan hyödyntämismahdollisuudet: Esiselvitys*. Työ- ja elinkeinoministeriö. Haettu osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-713-7>
- Visala, H. (2022). Kiinalla on uusi taktiikka Afrikassa: Lainoja annetaan anteeksi 17 maalle ja velkoja kuitataan tietulleilla. Yle Uutiset 31.8.2022. Haettu 12.3.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-12597013>
- Xiao, J., Boschma, R., & Andersson, M. (2018). Resilience in the European Union: The effect of the 2008 crisis on the ability of regions in Europe to develop new industrial specializations. *Industrial and Corporate Change*, 27(1), 15-47. <https://doi.org/10.1093/icc/dtx023>
- Ympäristöministeriö. (N.d.). *Mitä on vihreä siirtymä?* Haettu 16.1.2024 osoitteesta: <https://ym.fi/mita-on-vihrea-siirtyma>
- Zink, T., & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound. *Journal of industrial ecology*, 21(3), 593-602. <https://doi.org/10.1111/jiec.12545>